

TNO-rapport

TNO 2020 R10784 - 19

Traffic & Transport
Anna van Buurenplein 1
2595 DA Den Haag
Postbus 96800
2509 JE Den Haag

www.tno.nl
T +31 88 866 00 00

Factsheet: vergelijking personenwagens op verschillende energiedragers

Datum	3 juni 2020 (layout: 3 november 2020)
Auteurs	Maarten Verbeek (TNO) Anouk van Grinsven (CE Delft)
Exemplaarnummer	2020-STL-RAP-100332807s
Aantal pagina's	20 (incl. bijlagen)
Opdrachtgever	Ministerie van Infrastructuur & Waterstaat Postbus 20901 2500 EX DEN HAAG
Projectnaam	lenW 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.

Inhoudsopgave

1	Inleiding	3
1.1	Inleiding	3
1.2	Wijzigingen ten opzichte van de Factsheets 2014	4
1.3	Behandelde voertuigen, energiedragers en emissies	5
1.4	Toelichting op de gerapporteerde emissies	5
1.5	Informatiebronnen	7
1.6	Toelichting op onderscheiden voertuigcategorieën.....	8
1.7	Leeswijzer.....	9
2	Emissies	10
2.1	Klimaat (CO2).....	10
2.2	Luchtkwaliteit	13
3	Infrastructuur	15
4	Vervoermiddel.....	16
4.1	Beschikbaarheid in Nederland	16
4.2	Betaalbaarheid	16
4.3	Voertuigkenmerken	16
5	Ondertekening	18
	Bijlage(n)	
	A Historisch verloop van NOx en PM10 emissies van personenvoertuigen	
	B WTW CO2-emissies per energiedrager	

1 Inleiding

1.1 Inleiding

Dit document is een vervolg op “Factsheets Brandstoffen voor het wegverkeer: Kenmerken en Perspectief”¹ dat in 2014 is gepubliceerd. Deze Factsheets uit 2014 zijn inmiddels door alle ontwikkelingen op het gebied van brandstoffen en voertuigtechnologie verouderd. Net als in 2014 is deze update bedoeld om inzicht te geven in de CO₂, fijnstof (PM₁₀) en NO_x emissies van voertuigen in combinatie met verschillende energiedragers onder praktijkomstandigheden. Daarnaast worden ook andere relevante kenmerken beschreven van de behandelde brandstoffen en voertuigen, zoals de CO₂-emissies in de brandstofketen en de actieradius. Er is een selectie gemaakt van een aantal voertuig-energiedrager combinaties, zie ook de overzichtstabel in paragraaf 1.3.

De genoemde voertuig-energiedrager combinaties worden in afzonderlijke Factsheets behandeld. Naast de afzonderlijke Factsheets zijn ook vier overzichtsdOCUMENTEN gemaakt voor de voertuigtypen personenauto's, bestelauto's, vrachtwagens en bussen. Daar kan de lezer de kenmerken van voertuigen op verschillende energiedragers met elkaar vergelijken. De informatie uit de individuele Factsheets kan worden gebruikt wanneer vlooteigenaren voertuigen gaan aanschaffen en de milieueffecten van het gebruik van deze voertuigen wil meewegen in hun beslissing. Daarnaast kan het beleidsmakers een eerste inzicht geven in de effecten van brandstof-gerelateerde maatregelen ter vermindering van de voertuigemissies.

¹ <http://publications.tno.nl/publication/34617087/RsQEQv/verbeek-2014-brandstoffen.pdf>

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_x, PM₁₀ of CO₂. 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 typekeuren 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 (zie ook het document "TNO 2020 R10784 - Bronnen en Achtergrondinformatie").

1.2 Wijzigingen ten opzichte van de Factsheets 2014

Sinds 2014 zijn er veel ontwikkelingen geweest ten aanzien van brandstoffen en voertuigemissies. Inzicht in deze ontwikkelingen is verkregen middels nieuwe (emissie)metingen door TNO, nieuwe kennis ontwikkeld binnen TNO en CE Delft en nieuwe publicaties door derden. Als gevolg hiervan is de publicatie van 2014 op een aantal aspecten niet meer actueel en daarom is besloten om na zes jaar een nieuwe versie van de 'Factsheets brandstoffen' te publiceren.

Ten opzichte van de vorige publicatie zijn de volgende wijzigingen doorgevoerd:

- Nieuwe ontwikkelingen verwerkt voor de onderwerpen die in 2014 zijn behandeld;
- Nieuwe energiedragers toegevoegd die in 2014 nog minder relevant waren;
- De gepresenteerde informatie is (waar mogelijk) beter onderbouwd;
- Stakeholders zijn nadrukkelijker betrokken;
- Om het overzicht voor de lezer te bevorderen is gekozen om afzonderlijke Factsheets per voertuig-energiedragercombinatie te schrijven én aanvullend overzichtsdocumenten waarin per voertuigtype de kenmerken op diverse energiedragers worden vergeleken.

1.3 Behandelde voertuigen, energiedragers en emissies

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	Dieselvervangers uit biomassa	Benzine	Benzinevervangers 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 en op luchtkwaliteit.

1.4.1 Klimaat (CO₂)

In de uitstoot van voertuigen heeft CO₂ 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 CO₂ 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)

CO₂-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 CO₂ uit de uitlaat komt. Echter, volgens de rekenregels van het IPCC worden de CO₂-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 CO₂ uit.

Ketenemissies (WTW)

Naast CO₂-emissies uit de uitlaat, wordt er ook CO₂ 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 CO₂ 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 CO₂-ketenemissies van de voertuigen nul.

1.4.2 Luchtkwaliteit

Naast klimaatschade, leidt het gebruik van voertuigen ook tot luchtverontreiniging. In tegenstelling tot CO₂, leiden deze luchtverontreinigende stoffen tot schade aan de menselijke gezondheid en, in het geval van NO_x, ook de natuur.

Voertuigemissies bestaan uit verschillende componenten. De meest relevante luchtverontreinigende componenten zijn stikstofoxiden (NO_x) en fijnstof (PM₁₀). 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.

In tegenstelling tot klimaatbelastende stoffen, geldt voor luchtverontreinigende emissies dat de locatie waar ze worden uitgestoten van groot belang is. Bijvoorbeeld, luchtverontreinigende emissies die worden uitgestoten buiten de nabijheid van mensen, hebben slechts in beperkte mate effect op de volksgezondheid. Om die reden worden van deze stoffen niet de hele keten meegenomen in deze Factsheets.

1.5 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 diesellootvoertuigen. Doordat voor diesellootvoertuigen 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”.

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”.

1.6 Toelichting op onderscheiden voertuigcategorieën

1.6.1 *Klimaat (CO₂)*

In tegenstelling tot de luchtverontreinigende emissies geldt voor de CO₂-emissies wel dat deze sterk worden beïnvloed door de massa van het voertuig. Een zwaarder voertuigen stoot meer CO₂ uit dan een lichter voertuig met dezelfde brandstof en emissiereducerende technologieën. Om die reden wordt er voor de CO₂-emissies onderscheid gemaakt naar verschillende grootteklassen. Voor personenauto's is dit onderscheid gemaakt op basis van marktsegmenten^{2,3}. 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 CO₂-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.

Een groot deel van de emissiefactoren die in dit rapport worden weergegeven, worden ook gebruikt in landelijke rekenmodellen van RIVM en PBL. Er bestaat een landelijke werkgroep waarin de ontwikkeling van emissiefactoren en de gevolgen ervan worden besproken. Ten behoeve van het gebruik van de emissiefactoren in deze doorrekeningen is ook een technisch rapport beschikbaar waarin de robuustheid van de emissiefactoren wordt uiteengezet⁴.

1.6.2 *Luchtkwaliteit*

Ten aanzien van de luchtverontreinigende emissies (NO_x en PM₁₀) 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 moest voldoen. De emissiestandaarden zijn verschillend voor personenauto's, bestelauto's, vrachtwagens en bussen en worden elke één tot vijf jaar aangescherpt. Dit betekent dat nieuwere voertuigen aan een strengere norm hebben moeten voldoen. Voertuigen die nu op de markt komen, moeten voldoen aan de geldende standaard, te weten Euro 6 voor personen- en bestelauto's en Euro VI voor vrachtwagens en bussen.

² <https://raivereniging.nl/artikel/marktinformatie/branche-analyses/marktinformatie-personenautos.html>

³ <https://www.rdc.nl/wp-content/uploads/2019/01/Verklaring-RDC-segmenten-2-personenautos-201803.pdf>

⁴ TNO 2017. Uncertainty of the NO_x, SO_x, NH₃, PM₁₀, PM_{2,5}, EC_{2,5} and NMVOC emissions from transport. TNO 2017 R10854. 7 Augustus 2017.

Doordat de emissies van voertuigen van verschillende euroklassen sterk van elkaar verschillen, worden voertuigen van verschillende euroklassen van elkaar onderscheiden.

De massa van voertuigen binnen dezelfde voertuigcategorie, op dezelfde brandstof en binnen dezelfde euroklasse hebben geen aantoonbaar effect hebben op de luchtverontreinigende stoffen. Om die reden wordt er geen onderscheid gemaakt naar de grootte of massa van voertuigen.

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_x en fijnstof (PM₁₀) 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;
- Het verwijderen van nabehandelingstechnologieën, zoals katalysatoren of roetfilters.

1.7 Leeswijzer

In deze Factsheet worden personenauto's op verschillende energiedragers met elkaar vergeleken. Net als in de andere factsheets waarin voertuigen op verschillende energiedragers met elkaar worden vergeleken, wordt er aandacht besteed aan:

- **Hoofdstuk 2** - Emissies van de voertuigtypen / energiedrager combinatie. Hier worden de klimaatbelastende (CO₂ en waar relevant) en de luchtverontreinigende emissies (zoals NO_x en PM₁₀) beschreven;
- **Hoofdstuk 3** - Kenmerken van de infrastructuur voor de betreffende energiedrager;
- **Hoofdstuk 4** - Voertuigkenmerken (techniek, actieradius, vultijd) en beschikbaarheid op de Nederlandse markt. In 2021 wordt dit aangevuld met informatie over de betaalbaarheid, in de vorm van een inschatting van de totale kosten van het voertuigbezit voor de eindgebruiker.

2 Emissies

2.1 Klimaat (CO₂)

Het belangrijkste broeikasgas dat wordt uitgestoten door motorvoertuigen is CO₂. De hoogte van de CO₂-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 CO₂ uit. Om die reden is ervoor gekozen om de CO₂-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 CO₂ 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 CO₂ uitgestoten. Voor de volledigheid worden zowel de uitlaatemissies als de totale ketenemissies gepresenteerd.

Uitlaatemissies (TTW)

Gemiddeld stoten dieselpersonenauto's per kilometer ongeveer 15% minder CO₂ uit dan equivalente benzineauto's. Dit komt doordat dieselauto's gemiddeld een hoger rendement hebben dan benzineauto's.

Plug-in hybride auto's hebben lagere CO₂-uitlaatemissies doordat ze deels elektrisch rijden. Doordat het gewicht van plug-in hybride auto's in de segmenten B en E+ aanzienlijk hoger is dan van reguliere benzineauto's, zijn de CO₂-emissies maar beperkt lager.

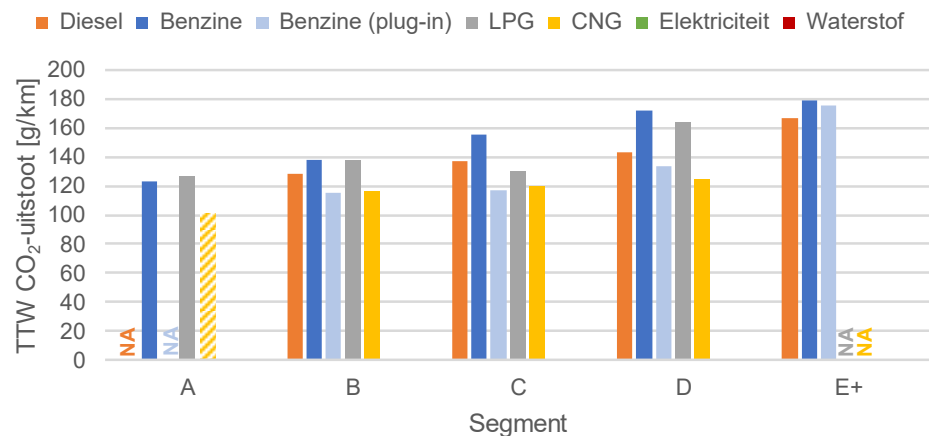
De koolstofinhoud van CNG is ongeveer 23% lager dan die van benzine. Dit betekent dat er 23% minder CO₂-emissies vrijkomen bij dezelfde hoeveelheid geleverde energie. Echter, CNG voertuigen zijn 10% tot 15% zwaarder dan vergelijkbare benzinevoertuigen, voornamelijk door de zwaardere brandstoftank. Hierdoor gebruikt een CNG-voertuig meer energie dan een equivalent benzinevoertuig. Deze hogere massa beperkt het CO₂-voordeel van CNG-auto's ten opzichte van equivalente benzineauto's 16% tot 19% afhankelijk van het gewicht van brandstoftank. Voor voertuigen die zijn omgebouwd om op CNG te kunnen rijden geldt dat het rendement wat lager kan liggen waardoor de CO₂-emissie een aantal procenten hoger kan zijn dan die van af-fabriek CNG-voertuigen.

Ook LPG heeft een lagere koolstofinhoud die ongeveer 12% lager is dan van benzine. Net als voor CNG-voertuigen, geldt ook voor LPG-voertuigen dat het gewicht hoger is dan van equivalente benzinevoertuigen. Dit leidt ertoe dat het CO₂-voordeel van LPG-voertuigen kleiner is dan 12%. Afhankelijk van het gewicht van de LPG-brandstoftank zijn de CO₂-uitlaatemissies van LPG voertuigen 6% tot 9% lager dan van equivalente benzinevoertuigen. Een (zeer) beperkt gedeelte van de kilometers die worden gereden met LPG-bi-fuel-voertuigen worden gereden op benzine. In dat geval geldt dat de CO₂-emissies ongeveer gelijk zijn aan die van benzinevoertuigen.

Elektrische en waterstofauto's hebben geen CO₂-uitlaatemissies.

De CO₂-emissies weergegeven in Figuur 1 tonen de gemiddelde CO₂-emissies van de best verkochte voertuigen in de periode 2016 – 2019⁵. In bepaalde marktsegmenten zijn geen voertuigen beschikbaar van een bepaalde energiedrager, deze zijn aangeduid als 'NA'.

Zoals te zien in Figuur 1, kunnen de verschillen tussen CO₂-emissies van voertuigen op verschillende energiedragers afwijken van de hierboven beschreven waarden. Dit komt voornamelijk doordat de voertuigen op de ene energiedrager gemiddeld wat groter en zwaarder zijn dan de voertuigen op een andere energiedrager (in hetzelfde segment). Zo geldt bijvoorbeeld voor de best verkochte dieselauto's in segment B en segment E+ dat ze gemiddeld aanzienlijk zwaarder dan de best verkochte benzineauto's. Om die reden zijn de CO₂-uitlaatemissies van dieselauto's in deze segmenten minder dan 15% lager dan die van benzineauto's.



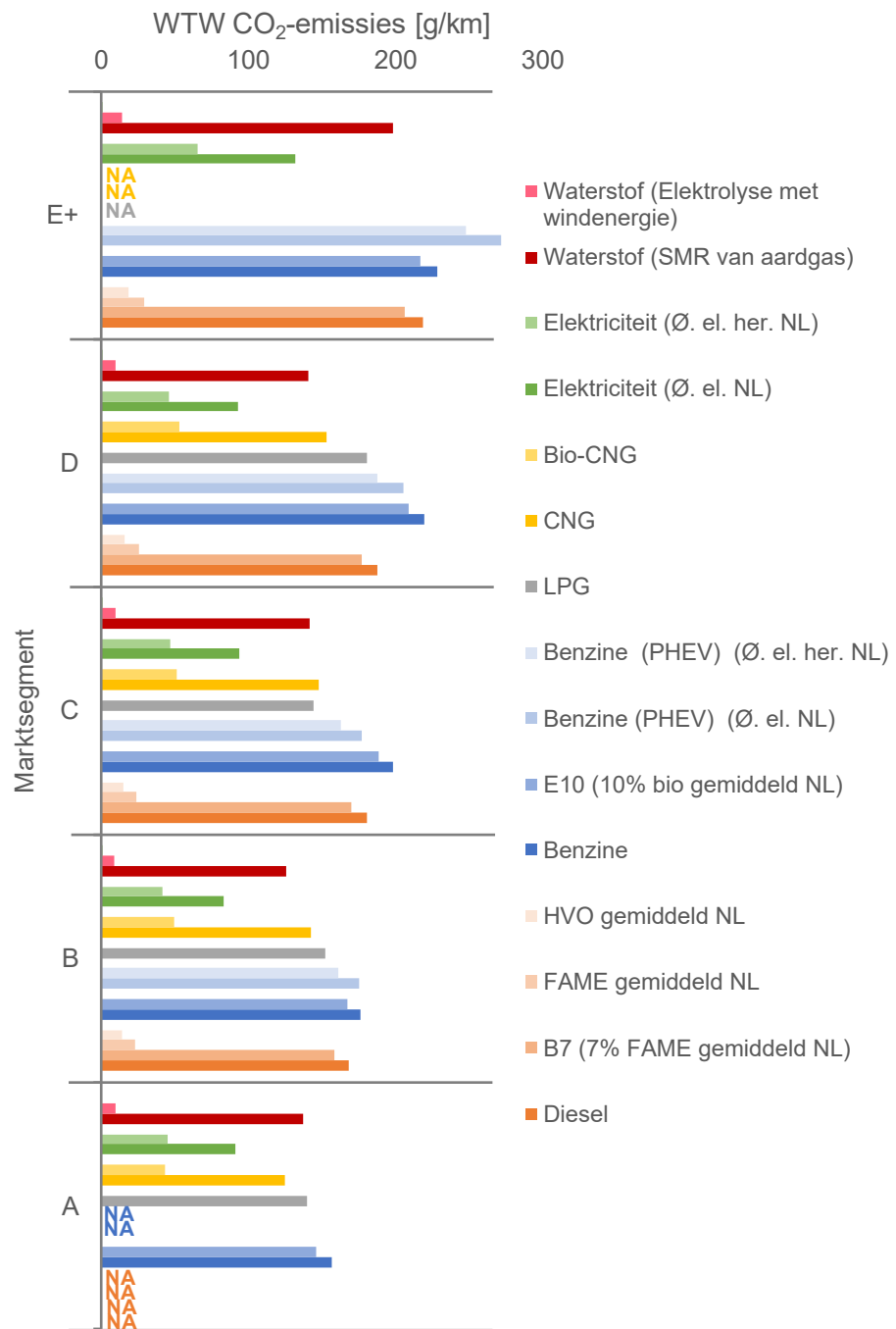
Figuur 1: Gemiddelde CO₂-uitlaatemissies van moderne personenauto's (2016-2019) op verschillende energiedragers. Het gearceerde kolommen geven waarden aan die zijn afgeleid van benzinevoertuigen vanwege gebrek aan voldoende data. In bepaalde marktsegmenten zijn geen voertuigen beschikbaar van een bepaalde energiedrager, deze zijn aangeduid als 'NA'.

Bij het gebruik van pure biobrandstoffen zijn de CO₂-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 CO₂-ketenemissies 31% hoger zijn dan de uitlaatemissies. Voor fossiele benzine, CNG en LPG is dat respectievelijk 28%, 23% en 10% (zie Figuur 2).

⁵ 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.



Figuur 2: Gemiddelde CO₂-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 CO₂-emissies zijn weergegeven in bijlage B.

Het gebruik van biobrandstoffen leidt tot lagere CO₂-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 CO₂ heeft opgenomen als door het voertuig wordt uitgestoten, zijn er netto geen CO₂-uitlatemissies.

Echter, de productie en distributie van biobrandstoffen veroorzaken wel CO₂-emissies. De totale CO₂-ketenemissies zijn daarom wel hoger dan nul. Het gebruik van pure HVO of FAME leidt tot aanzienlijk minder CO₂-ketenemissies dan fossiele diesel.

Het gebruik van B7, waarbij dergelijke biobrandstoffen beperkt worden bijgemengd bij fossiele diesel, leidt tot beperkte CO₂-emissiereductie. Voor het gebruik van benzine met een beperkte hoeveelheid bio-ethanol (E10) geldt hetzelfde.

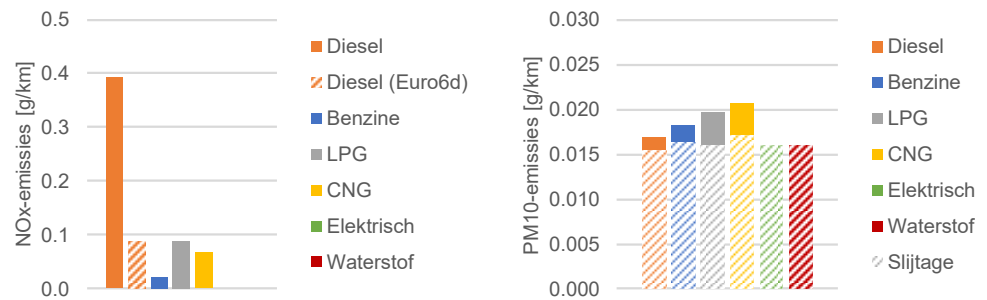
De ketenemissies van elektrische voertuigen is afhankelijk van de wijze waarop de elektriciteit wordt opgewekt. Het gebruik van elektriciteit op basis van de gemiddelde Nederlandse elektriciteitsmix leidt al tot ongeveer 50% lagere CO₂-ketenemissies dan het gebruik van fossiele diesel of benzine. Het 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 CO₂ vrij dan bij elektriciteit. Momenteel wordt het leeuwendeel van de waterstof geproduceerd uit aardgas. Deze wijze van productie leidt tot een aanzienlijke hoeveelheid CO₂-emissies waardoor de CO₂-ketenemissies van dezelfde orde zijn als die van fossiele brandstoffen. Wanneer de waterstof echter wordt geproduceerd door middel van windenergie, zijn de CO₂-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_x-emissies in de loop der jaren zijn gedaald (zie bijlage). Tot zeer recent waren de NO_x-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_x-emissies van nieuwe dieselauto's vanaf 2021 meer in lijn zullen zijn met die van benzine-, LPG- en CNG-auto's. De NO_x-emissies van benzineauto's zullen nog wat lager blijven dan die van de andere energiedragers. Elektrische en waterstofpersonenauto's stoten helemaal geen NO_x-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_x-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_x-emissies voor de verschillende typen energiedragers.



Figuur 3: NO_x-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 vijftigduizend. 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.

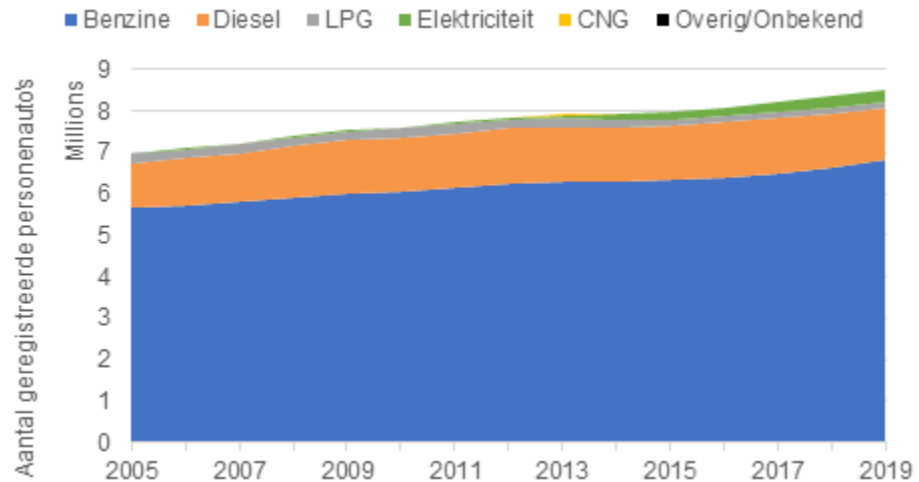
Het aantal waterstoftankstations groeit ook, maar is nog beperkt. Dit komt doordat het aantal voertuigen op waterstof nog beperkt is.

Tabel 2: Aantallen vul en laadpunten per energiedrager

	Aantal infrastructuur
Benzine-/Dieseltankstations	4.145
LPG-tankstations	1.351
(Snel)-laadpalen	50.774
Waterstoftankstations	4
CNG-tankstations	170

4 Vervoermiddel

4.1 Beschikbaarheid in Nederland



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

De historische samenstelling van het personenautowagenpark laat zien dat benzine sinds lange tijd 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.

4.2 Betaalbaarheid

De betaalbaarheid is geen onderdeel geweest van het project waaruit deze publicatie is voortgekomen. Waarschijnlijk zullen de kosten van de verschillende combinaties van energiedragers en voertuigcategorieën in de nabije toekomst nader worden onderzocht en toegevoegd aan deze publicatie.

4.3 Voertuigkenmerken

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.

5 Ondertekening

Den Haag, 3 november 2020



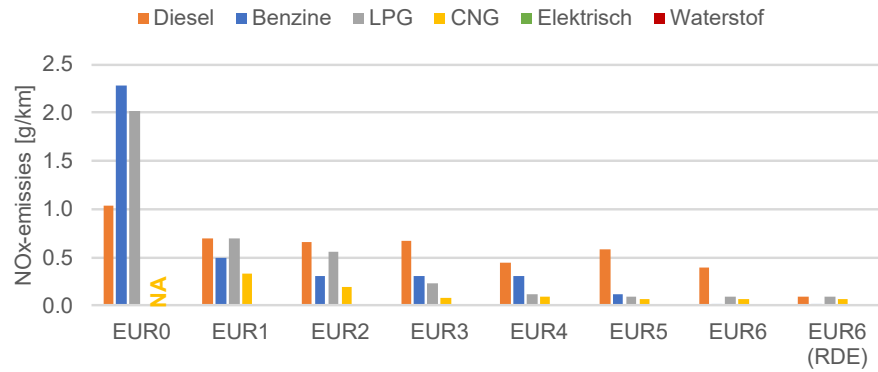
Arjan Eijk
Projectleider

TNO

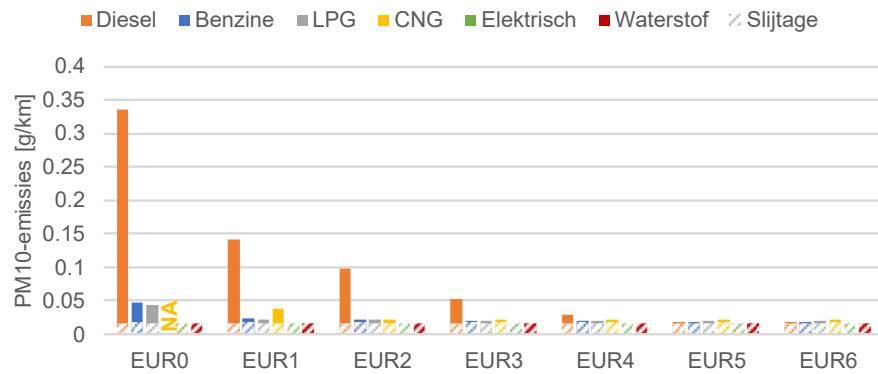


Maarten Verbeek
Auteur

A Historisch verloop van NO_x en PM₁₀ emissies van personenvoertuigen



Figuur 5: Historisch verloop van NO_x-emissies van personenauto's op verschillende energiedragers.



Figuur 6: Historisch verloop van PM₁₀-emissies van personenauto's op verschillende energiedragers. Emissies als gevolg van slijtage van banden en remmen is gearceerd.

B WTW CO₂-emissies per energiedrager

In deze bijlage is een overzicht te vinden van de gehanteerde WTW CO₂-emissies per energiedrager. Deze waarden zijn gebruikt voor Figuur 2.

Energiedragers	Diesel (100%)	FAME gemiddeld NL	HVO gemiddeld NL	Dieselvervangers gemiddeld NL	Benzine (100%)	Bio-ethanol	Bio gemiddeld NL	LPG	CNG	Bio-CNG (GFT-afval)	Elektriciteit NEa (gemiddeld van hernieuwbaar)	Elektriciteit (wind)	Waterstof (aardgas)	Waterstof (wind)
WTW CO ₂ -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