

Traffic & Transport

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

www.tno.nl

T +31 88 866 00 00

TNO-rapport

TNO 2020 R10784 - 21

**Factsheet vergelijking bussen op
verschillende energiedragers**

Datum	20 mei 2020
Auteur(s)	Maarten Verbeek (TNO) Anouk van Grinsven (CE Delft)
Exemplaarnummer	
Aantal pagina's	15 (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

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	7
1.7	Leeswijzer.....	9
2	Emissies	10
2.1	Klimaat (CO ₂).....	10
2.2	Luchtkwaliteit	11
3	Infrastructuur	12
4	Vervoermiddel.....	13
4.1	Beschikbaarheid in Nederland.....	13
4.2	Betaalbaarheid.....	13
4.3	Voertuigkenmerken.....	13
5	Ondertekening	15

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 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 (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 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”.

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 zwaardere voertuigen stoot meer CO₂ uit dan een lichtere 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 emissiestandaard 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. 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.

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.

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 bussen 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) beschikbaarheid, betaalbaarheid. De betaalbaarheid en voertuigkenmerken worden na de zomer van 2020 meer uitvoerig beschreven in een publicatie van RouteRadar Innovatie monitoring.

2 Emissies

2.1 Klimaat (CO₂)

CO₂ komt vrij uit de uitlaat door de verbranding van koolstofhoudende brandstoffen. Daarnaast komt er ook CO₂ vrij bij het winnen, produceren en distribueren van energiedragers. Zo hebben elektrische en waterstofvoertuigen 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)

Het energiegebruik van bussen is in de loop der jaren maar beperkt afgenomen. Uit een recente studie⁵ volgt een efficiencyverbetering van ongeveer 8% in 20 jaar. Dit betekent een even grote afname van de CO₂-emissies. Moderne standaard bussen hebben volgens deze studie een CO₂-uitstoot ruim 1100 g/km. Voor gelede bussen (met drie assen) is dat ongeveer 1400 g/km.

Aardgas heeft een relatief lage koolstofinhoud. Dit betekent dat het opwekken van een bepaalde hoeveelheid energie tot ongeveer 23% minder CO₂-emissies leidt dan wanneer dezelfde hoeveelheid energie was opgewekt door het gebruik van diesel. Uit dezelfde publicatie⁵ blijkt dat de CO₂-emissies van CNG-bussen tot ongeveer 5% lager kunnen zijn dan die van moderne dieselbussen. Het CO₂-voordeel is daarmee aanzienlijk kleiner dan de hierboven genoemde 23%. Dit komt doordat het voordeel van lagere koolstofinhoud van CNG ten opzichte van diesel grotendeels teniet wordt gedaan door de hogere energiegebruik van CNG-bussen.

Bussen op elektriciteit of waterstof hebben geen CO₂-uitlaatemissies.

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-emissies ten gevolge van productie en distributie ruim 31% bedragen van de totale ketenemissies⁶. Voor fossiele CNG is dat ongeveer 23%⁶. Voor elektrische en waterstofbussen geldt dat alle ketenemissies vrijkomen bij productie en distributie.

Ervan uitgaande dat de CO₂-uitlaatemissies van CNG-bussen 5% lager zijn, geldt dat de totale CO₂-ketenemissies van CNG-bussen 11% lager zijn op basis van fossiele brandstoffen.

Het gebruik van biobrandstoffen kan leiden tot lagere CO₂-ketenemissies. Zo leidt het gebruik van pure FAME of HVO (op basis van de momenteel in Nederland gebruikte productieketens) tot respectievelijk 87% en 92% minder CO₂-

⁵ City bus performance evaluation. Söderena, Petri; Nylund, Nils-Olof; Mäkinen, Reijo. Published: 27/12/2019

⁶ Rapportage Energie voor Vervoer in Nederland 2019. Naleving verplichtingen wet- en regelgeving Energie voor Vervoer.

ketenemissies dan fossiele diesel. Het gebruik van B7, waarbij dergelijke biobrandstoffen beperkt worden bijgemengd bij fossiele diesel, leidt tot ongeveer 7,3% CO₂-emissiereductie.

Ook het gebruik van bio-CNG in plaats van fossiele CNG kan de ketenemissies verlagen. De mate waarin dat gebeurt is afhankelijk van de grondstof en de productiemethode. De CO₂-ketenemissies van in Nederland geproduceerd gas liggen 65% lager dan dat van fossiel gas.

De ketenemissies van elektrische voertuigen is afhankelijk van het energiegebruik van het voertuig en de wijze waarop de elektriciteit wordt opgewekt. Op basis van de huidige gemiddelde elektriciteitsmix, zijn de CO₂-ketenemissies vergelijkbaar met die van bussen op fossiele CNG. Wanneer bussen echter op volledig hernieuwbare elektriciteit rijden, bijvoorbeeld uit windenergie, kunnen de CO₂-ketenemissies tot bijna nul dalen.

Momenteel wordt waterstof in de meeste gevallen gemaakt via het 'steam methane reforming' productiemethode met aardgas als grondstof. Op deze manier wordt ongeveer 25% CO₂-ketenemissiereductie behaald ten opzichte van rijden op fossiele diesel. De emissiereductie kan hoger uitvallen indien de CO₂ wordt afgevangen en opgeslagen (CCS).

Wanneer waterstof wordt geproduceerd via elektrolyse, kan de benodigde elektriciteit op vele verschillende manieren worden opgewekt. Dit kan zowel met fossiele brandstoffen (zoals aardgas en kolen) of met duurzame energiedragers (zoals windturbines en zonnepanelen). Elektrolyse met behulp van elektriciteit uit kolen zonder CCS leidt tot veel hogere CO₂-ketenemissies dan rijden op diesel. Wanneer de elektriciteit wordt verkregen uit duurzame bronnen, kunnen de CO₂-ketenemissies wel 95% lager zijn dan van dieselveertuigen.

2.2 Luchtkwaliteit

Uit een recente publicatie^{Error! Bookmark not defined.} blijkt dat de NO_x-emissies van moderne CNG-bussen vergelijkbaar zijn met die van moderne dieselbussen, bij een lage kilometerstand. Hoe een hogere kilometerstand de prestaties van CNG-bussen beïnvloedt, is onduidelijk.

De fijnstof-emissies van CNG-bussen zijn al decennia lang relatief laag. Echter met de introductie van de Euro VI emissienormen, zijn fijnstofemissies van bussen op andere brandstoffen zoals diesel, aanzienlijk gedaald. Voor moderne CNG-bussen geldt daarom dat de fijnstof emissies vergelijkbaar zijn met die van moderne dieselbussen. De effecten zijn voor bioCNG hetzelfde aangezien het opgewerkt is tot dezelfde aardgaskwaliteit.

Bussen die rijden op elektrisch of waterstof hebben geen emissies tijdens het rijden, afgezien van de fijnstofemissies als gevolg van slijtage van banden en remmen. Dit laatste is vergelijkbaar met dat van bussen op andere energiedragers.

3 Infrastructuur

Dieselvoertuigen, waaronder ook de dieselmotoren zijn al zeer lang in grote hoeveelheden aanwezig. Diesel is bij bijna elk tankstation te verkrijgen. Eigenaren van grotere wagenpark, bijvoorbeeld concessiehouders van gemeenten maken ook gebruik van niet-openbare vulstations in eigen beheer.

CNG kan worden gedistribueerd door de bestaande gasinfrastructuur die ook wordt gebruikt om bijvoorbeeld woningen te voorzien van aardgas, maar vereist verdere compressie tot 200 of 250 bar bij levering aan het voertuig. In Nederland zijn momenteel 178 CNG-tanklocaties (EAFO, 2019).

Bussen kunnen 's nachts op de remise en overdag op knooppunten en eindhaltes worden opgeladen. 's Nachts kan er gebruik gemaakt worden van normale laders met een vermogen tussen de 30 en 75 kW, overdag kunnen er snelladers ingezet worden met een vermogen tussen de 150 en 450 kW. Laden kan via de stekker, via een pantograaf of via inductieplaten. Door gemeentes, concessieverleners en netbeheerders wordt gezamenlijk onderzoek gedaan naar uitbreiding van laadlocaties.

Waterstof wordt over het algemeen bij een lage druk opgeslagen bij tankstations en wordt geleverd aan personenauto's en vrachtwagens/bussen met 350 of 700 bar. Dit betekent dat het gas bij de tankstations moet worden gecompriëerd.

In Nederland zijn er vier openbare waterstoftanklocaties (EAFO, 2019) operationeel. Het Klimaatakkoord heeft als doel vijftig waterstof tankstations te realiseren tot en met 2025.

4 Vervoermiddel

4.1 Beschikbaarheid in Nederland

Er zijn eind 2019 ongeveer 8000 dieselbussen in Nederland, die 85% van de totale bussenvloot uitmaken. Dieselbussen zijn op grote schaal beschikbaar in Nederland en er is geen beperking op de levering van deze voertuigen.

Er zijn momenteel ongeveer 593 CNG-bussen in Nederland, die 6,5% van de totale vloot uitmaken. De beschikbare modellen worden door IVECO, MAN, Mercedes, Scania, Solaris en Castrosua gebouwd. LNG-bussen rijden momenteel niet rond in Nederland en zijn maar zeer beperkt beschikbaar.

Eind 2019 waren er in bijna 800 elektrische bussen geregistreerd. Het gaat hierbij uitsluitend om OV-bussen. Het aantal stijgt snel onder meer door invloed van het Bestuursakkoord Zero emissie bussen. Hierin zijn de betrokken partijen overeengekomen dat zij gezamenlijk streven naar een volledig emissievrij regionaal busvervoer in 2030. Vanaf 2025 moeten alle nieuwe OV-bussen zero emissie zijn.

Bussen met brandstofcellen op waterstof zijn nog niet op grote schaal verkrijgbaar op de markt. Wel hebben verschillende merken prototypen brandstofcelvoertuigen beschikbaar. Eind 2019 reden er acht waterstofbussen in Nederland. In 2021 komen er vijftig nieuwe waterstofbussen bij in het openbaar vervoer in Groningen, Drenthe en Zuid-Holland. De eerste 20 van deze bussen zijn al besteld en vervoeren komend jaar de eerste reizigers [Rijksoverheid, 2019].

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

De actieradius van bussen op diesel is groot ten opzichte van de meeste andere energiedragers en kan wel 1500 km bedragen.

CNG-bussen hebben typisch een actieradius van 500 – 600 km. De CNG-bussen die momenteel beschikbaar zijn, werken als *mono-fuel* voertuigen die alleen op CNG kunnen rijden. *Dual-fuel* varianten zijn echter ook mogelijk maar momenteel niet beschikbaar.

De aandrijving van een volledig elektrische bus bestaat uit een elektromotor, vermogenselektronica, een regelunit en elektrische energieopslag door middel van accu's. Gemiddeld heeft een bus een laadbehoefte van 200 kWh. De actieradius is onder gunstige omstandigheden ongeveer 200 km, maar afhankelijk van de inzet en bijvoorbeeld lage buitentemperatuur kan dit makkelijk halveren. Batterijen worden wel steeds beter waardoor de verwachting is dat de actieradius zal toenemen in de toekomst.

Waterstof kan op twee manieren worden gebruikt om een voertuig aan te drijven. De meest gebruikte methode op dit moment is de omzetting van waterstof naar elektrische energie in een brandstofcel. De actieradius van waterstofbussen is ongeveer 300-400 km en daarmee groter dan die van elektrische voertuigen, maar kleiner dan die van dieselbussen.

5 Ondertekening

Den Haag, 20 mei 2020

TNO

Arjan Eijk
Projectleider

Maarten Verbeek
Auteur