

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 - 18****Factsheet bussen op waterstof**

Datum	3 juli 2020
Auteur(s)	Maarten Verbeek (TNO) Anouk van Grinsven (CE Delft)
Exemplaarnummer	2020-STL-RAP-100332807r
Aantal pagina's	15 (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.

© 2020 TNO

Inhoudsopgave

1	Inleiding	3
1.1	Inleiding	Error! Bookmark not defined.
1.2	Wijzigingen ten opzichte van de Factsheets 2014	Error! Bookmark not defined.
1.3	Behandelde voertuigen, energiedragers en emissies	Error! Bookmark not defined.
1.4	Toelichting op de gerapporteerde emissies	Error! Bookmark not defined.
1.5	Informatiebronnen.....	Error! Bookmark not defined.
1.6	Toelichting op onderscheiden voertuigcategorieën...	Error! Bookmark not defined.
1.7	Leeswijzer.....	Error! Bookmark not defined.
2	Energiedrager	10
2.1	Energiedrager Waterstof kenmerken.....	10
3	Emissies	11
3.1	Klimaat (CO ₂).....	11
3.2	Luchtkwaliteit	12
4	Infrastructuur	13
5	Vervoermiddel	14
5.1	Beschikbaarheid in Nederland.....	14
5.2	Betaalbaarheid.....	14
5.3	Voertuigkenmerken.....	14
6	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 categorieën wegvoertuigen die op dit moment in Nederland op de weg rijden en energiedragers die 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. Ook bij de verbranding van pure biobrandstof geldt dat er CO₂ uit de uitlaat komt. Aangezien de biomassa die is gebruikt voor brandstofproductie in de groeifase de CO₂ heeft opgenomen (korte koolstofkringloop), is er geen sprake van een toename van de CO₂-concentratie in de atmosfeer. Om die reden rekent de IPCC geen CO₂-emissies toe aan de uitstoot van voertuigen. 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, kunnen deze luchtverontreinigende stoffen leiden tot schade aan de menselijke gezondheid en, in het geval van NO_x, ook aan 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 wordt 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 voertuig stoot per kilometer 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 (A, B, C, D en E+)^{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 (Klasse I < 1305 kg, Klasse II > 1305 kg en < 1760 kg en Klasse III > 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 wordt, net als in alle andere Factsheets voor combinaties van voertuigcategorie en energiedragers (zie paragraaf 1.3) aandacht besteed aan:

- **Hoofdstuk 2** - Energiedrager: De algemene karakteristieken van de energiedrager, het gaat bijvoorbeeld om de energiedichtheid en de kwaliteitsrichtlijn
- **Hoofdstuk 3** - Emissies van de voertuigtypen / energiedrager combinatie. Hier worden de klimaatbelastende (CO₂ en waar relevant andere emissies) en de luchtverontreinigende emissies (zoals NO_x en PM₁₀) beschreven.
- **Hoofdstuk 4** - Kenmerken van de infrastructuur voor de betreffende energiedrager.
- **Hoofdstuk 5** - 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.

Naast de Factsheets per voertuigtype – energiedrager zijn ook vier documenten geschreven: Factsheet vergelijking bestelwagens, Factsheet vergelijking personenwagens, Factsheet vergelijking vrachtwagens en Factsheets vergelijking bussen waarin per voertuigtype, personen-, bestel-, vrachtwagens en bussen de kenmerken op de verschillende energiedragers onderling worden vergeleken. Om de leesbaarheid te vergoten is de opbouw van alle Factsheets identiek. Tot slot is ook een document, waarin de gebruikte bronnen en achtergrond informatie toegelicht wordt, opgesteld.

2 Energiedrager

2.1 Energiedrager Waterstof kenmerken

Waterstof (H_2) als voertuigbrandstof wordt over het algemeen verkocht met een zeer hoge zuiverheidsgraad van meer dan 99% van de molaire massa. Deze brandstof is nog niet gereguleerd in de Europese Unie.

De meeste waterstof wordt momenteel geproduceerd door chemische omzetting vanuit methaan (*steam methane reforming* - SMR) met fossiel aardgas en stoom als input (Mulder, Perey, & Moraga, 2019). Bij deze productiemethode komt een aanzienlijke hoeveelheid CO_2 vrij. Wanneer deze CO_2 wordt afgevangen en opgeslagen (CCS, Carbon Capture & Storage) wordt de energiedrager aangeduid als blauwe waterstof. Indien de CO_2 niet wordt afgevangen en opgeslagen wordt gesproken over grijze waterstof. Een andere productiemethode is elektrolyse van water. De CO_2 -uitstoot van het elektrolyseproces is in dat geval afhankelijk van de bron van de elektrische energie die wordt gebruikt. Door duurzame energie te gebruiken voor de elektrolyse kan zogenaamde groene waterstof worden geproduceerd. De productie van waterstof leidt op die manier niet tot CO_2 -emissies.

Het grootste deel van de waterstof in Nederland wordt momenteel geproduceerd op basis van fossiel aardgas en niet-hernieuwbare elektriciteit uit het net (Mulder et al., 2019). Echter, de huidige tankstations leveren overwegend groene waterstof middels groencertificaten

Tabel 2 hieronder toont de energiedichtheid en specifieke energie van waterstof. Waterstof heeft een zeer lage energiedichtheid. Om voldoende energie in een brandstoftank te krijgen voor een acceptabele actieradius, dient waterstof daarom onder hoge druk te worden opgeslagen in een speciale brandstoftank. Hierbij dient een afweging te worden gemaakt tussen het volume dat kan worden gebruikt voor de brandstoftank en de actieradius. Zo is er voor een vergelijkbare actieradius als dieselveertuigen een ongeveer vijf keer grotere tank nodig bij 700 bar.

Tabel 2: Energiedichtheid en specifieke energie waterstof

Brandstof	Specifieke energie (MJ/kg)	Energiedichtheid (MJ/L)
Referentie diesel (B7)	42,3	35,6
Referentie benzine (E10)	41,3	30,7
Waterstof (H_2) @350 bar	120,1	2,8
Waterstof (H_2) @700 bar	120,1	12,7

3 Emissies

CO₂-equivalente emissies kunnen op verschillende manieren worden berekend:

- Well-to-tank (WTT) - de emissies van de bron tot aan het vervoermiddel. Dit zijn bijvoorbeeld de emissies die ontstaan bij de exploitatie van olievelden en het transport tot aan de tankstation;
- Tank-to-wheel (TTW) - de emissies van het vervoermiddel zelf. Dit zijn bijvoorbeeld de emissies van een diesel- of een elektrische auto op de weg. Voor scheepvaart is ook de term TTP gangbaar: tank-to-propellor emissies;
- Well-to-Wheel (WTW) - de som van WTT en TTW. Dit beschrijft dus de emissies van de hele keten. Voor scheepvaart is ook de term WTP gangbaar: well-to-propellor emissies.

Zoals beschreven in paragraaf 1.4.1, zijn de CO₂-uitlaatemissies bij het gebruik van pure biobrandstoffen nul volgens internationale rekenregels (IPCC).

In onderstaande paragraaf zijn uitlaatemissies gedefinieerd als de werkelijke CO₂-emissies uit de uitlaat. De uitlaatemissies als gevolg van biobrandstoffen worden hierin ook meegenomen. Er wordt dus niet de definitie van de IPCC gedefinieerd. In de paragraaf over ketenemissies tellen de biobrandstoffen wel als nul.

Bussen worden gebruikt voor verschillende doeleinden. De belangrijkste doeleinden die kunnen worden onderscheiden zijn lijnbussen (openbaar vervoer) en touringcars. Omdat voor deze verschillende typen inzet geen verschillende emissiewetgeving bestaat, worden beide categorieën in dit document niet onderscheiden.

3.1 Klimaat (CO₂)

Uitlaatemissies (TTW)

Tijdens het rijden stoot een waterstofvoertuig geen broeikasgassen uit. Tijdens de productie van waterstof kan dit wel het geval zijn (zie paragraaf 2.1).

Ketenemissies (WTW)

Ook bij de productie en distributie van energiedragers komen broeikasgassen vrij; we noemen dit de zogenaamde Well-to-Tank emissies (WTT). Alle emissies over de gehele brandstofketen zijn de Well-to-Wheel (WTW) emissies. Om een basisinzicht in de ontwikkeling van de WTW emissies te krijgen, brengen we hier de mate van hernieuwbaarheid van de diverse energiedragers over de gehele keten in beeld.

Voor waterstof-elektrisch geldt:

- De industriële productie van waterstof vindt voornamelijk plaats op basis van fossiele brandstoffen. Echter, de huidige tankstations leveren overwegend groene waterstof middels groencertificaten;
- Over de wenselijkheid van het vergroenen van energiedragers middels groencertificaten loopt een maatschappelijke discussie;

- Daarnaast zal onderzocht moeten worden op welke wijze het gebruik van 'groene waterstof' de TCO voor gebruikers beïnvloedt. Hetzelfde geldt uiteraard voor groene elektriciteit en hernieuwbaar gas;
- In de markt komen we de zogenaamde blauwe waterstof in Nederland niet tegen;

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 dieselloertuigen.

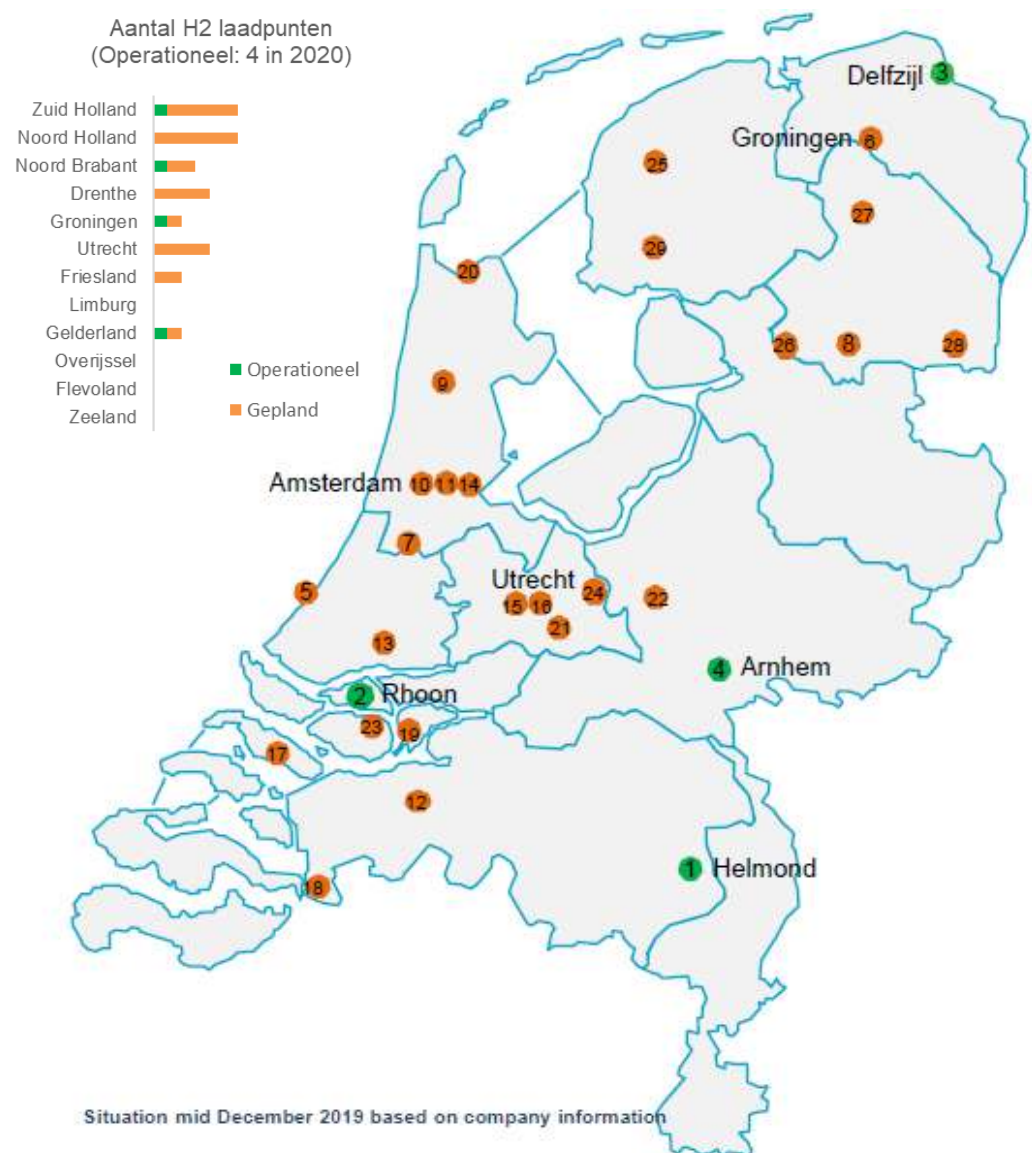
3.2 Luchtkwaliteit

Waterstofvoertuigen stoten geen luchtverontreinigende emissies uit de uitlaat. Net als voor andere voertuigtypen geldt ook voor waterstofbussen dat er wel slijtage aan banden en remmen plaatsvindt. Als gevolg hiervan is de fijnstofuitstoot van waterstofbussen niet veel lager dan die op andere energiedragers.

4 Infrastructuur

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 gecomprimeerd.

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



Figuur 1: Aantal waterstof tankstations in Nederland [H2platform, 2019]

5 Vervoermiddel

5.1 Beschikbaarheid in Nederland

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].

5.2 Betaalbaarheid

De betaalbaarheid is geen onderdeel geweest van het project waaruit deze publicatie is voortgekomen. De kosten van de verschillende combinaties van energiedragers en voertuigcategorieën worden in de nabije toekomst nader onderzocht en na de zomer van 2020 gepubliceerd.

5.3 Voertuigkenmerken

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. Dit betekent dat de aandrijflijnen van deze waterstofvoertuigen bestaat uit een brandstofcel, omvormer, elektromotor, accu voor energierugwinning en waterstoftank bestaan. Een andere wijze waarop waterstof kan worden gebruikt is in een verbrandingsmotor. Dit kan zowel door pure waterstof te verbranden als door waterstof bij te mengen met een andere brandstof. Voertuigen met deze technologie zijn momenteel niet beschikbaar.

De technologie die in de bestaande waterstofbussen wordt toegepast, is dezelfde als in andere waterstofvoertuigtypen, te weten 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.

6 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