

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 - 11

Factsheet vrachtwagens en trekker opleggers op LNG en bioLNG

Datum	3 juli 2020
Auteur(s)	Maarten Verbeek (TNO) Anouk van Grinsven (CE Delft)
Exemplaarnummer	2020-STL-RAP-100332807k
Aantal pagina's	18 (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	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 LNG kenmerken.....	10
3	Emissies	11
3.1	Klimaat (CO ₂).....	11
3.2	Luchtkwaliteit	12
4	Infrastructuur	14
5	Vervoermiddel	16
5.1	Beschikbaarheid in Nederland.....	16
5.2	Betaalbaarheid.....	16
5.3	Voertuigkenmerken.....	16
6	Ondertekening	18

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	Dieselvevangers uit biomassa	Benzine	Benzinevevangers 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 LNG kenmerken

Aardgas wordt gebruikt als fossiele brandstof in zowel gasvormige toestand (CNG, ofwel '*compressed natural gas*') als vloeibare toestand (LNG, ofwel '*liquid/liquefied natural gas*'). De LNG die in Nederland kan worden getankt, wordt uit het buitenland geïmporteerd en is hoogcalorisch.

De hernieuwbare tegenhanger van aardgas is groengas dat wordt geproduceerd uit biogas of syngas. Biogas wordt geproduceerd uit vergisting van biomassa. Meestal bestaat deze plantaardig afval of mest. Naast biogas kan groengas ook uit syngas gemaakt worden. Syngas ontstaat bijvoorbeeld na vergassing van biomassa, zoals hout en is in dat geval ook biogeen.

In gecomprimeerde vorm wordt groengas aangeduid als bio-CNG of CBG (Compressed Biogas) en in vloeibare vorm als bio-LNG of LBG (Liquefied Biogas).

Tabel 2 toont de energiedichtheid en specifieke energie van CNG en LNG. De energiedichtheid van LNG is ongeveer 35% lager dan van diesel. Als gevolg hiervan is de actieradius van een LNG-voertuigen een ongeveer 35% tot 45% lager bij een brandstoftank van dezelfde grootte afhankelijk van de gebruikte motorentechnologie: zelfontbranding of vonkontsteking (zie paragraaf **Error! Reference source not found.**).

Bio-CNG en bio-LNG hebben na bewerking een vergelijkbare dichtheid als de fossiele varianten en kunnen deze één op één vervangen.

Tabel 2: Energiedichtheid en specifieke energie CNG en LNG (Kampman, et al., 2013)

Brandstof	Specifieke energie (MJ/kg)	Energiedichtheid (MJ/L)
Referentie diesel (B7)	42,3	35,6
Referentie benzine (E10)	41,3	30,7
CNG (G25)	38	-
LNG (G20)	49	21-24

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.

3.1 Klimaat (CO₂)

Uitlaatemissies (TTW)

Naast CO₂ komt er bij LNG-trucks ook het broeikasgas methaan (CH₄) uit de uitlaat. Een gram methaan heeft een 28 keer⁵ sterker broeikaseffect dan CO₂. De methaanemissies kunnen worden uitgedrukt in CO₂-equivalente emissies door ze te vermenigvuldigen met 28. Doordat trucks veel minder methaan uitstoten dan CO₂, is het broeikaseffect van methaan per gereden kilometer veel lager dan van CO₂.

Wanneer de uitstoot van methaan wordt meegenomen in CO₂-equivalente emissies, stoten LNG-trucks met vonkontsteking 5% tot 10% minder CO_{2,eq} uit dan dieseltrucks (op basis van twee door TNO gemeten LNG trucks)⁶. De CO_{2,eq} van een LNG-truck met een motor op basis van het zelfontbrandingsprincipe waren bij TNO-metingen ongeveer 19% lager⁷.

Naast uitlaatemissies kunnen LNG-voertuigen op andere manieren broeikasgasemissies veroorzaken, namelijk:

- N₂O-uitlaatemissies (een derde broeikasgas, 265 sterker⁵ dan CO₂) geproduceerd in de katalysator;
- 'boil-off': het afblazen van de brandstoftank wanneer de druk daarin te hoog wordt;

⁵ IPCC, 2014: Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp

⁶ TNO 2019 R10193 Emissions testing of a Euro VI LNG-diesel dual fuel truck in the Netherlands

⁷ TNO 2017 R11336 Emissions testing of two Euro VI LNG heavy-duty vehicles in the Netherlands: tank-to-wheel emissions

- Afblazen, bewust ontluchten van gas om de druk in de tank te verlagen, de tank te legen voor reparatie, om restgas uit de tank te laten ontsnappen of om het voertuig aan het einde van de levensduur te demonteren.
- Lekkage van methaan uit buizen die niet (meer) gasdicht zijn

Over de uitstoot van broeikasgassen als gevolg van lekkage, afblazen en boil-off zijn slechts beperkt gegevens beschikbaar. Om die reden is het niet mogelijk om met voldoende zekerheid te stellen wat het effect ervan is op de totale broeikasgasemissies van LNG-trucks.

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.

In tegenstelling tot CNG, dat wordt gedistribueerd via het aardgasnetwerk, wordt LNG (aardgas in vloeibare vorm) vervoerd per truck. De LNG die momenteel in Nederland wordt gebruikt is nog bijna volledig van fossiele oorsprong. De CO₂-ketenemissies van fossiele LNG zijn ongeveer 32% hoger dan de uitlaatemissies^{8,9}. De sector zet in op een groei van het aandeel bio-LNG. Bij het gebruik van de juiste grondstoffen en productiemethoden, leidt het gebruik van dergelijke bio-LNG tot aanzienlijk lagere CO₂-ketenemissies dan het gebruik van fossiele LNG. In een recente studie van CE Delft is deze CO₂-ketenemissiereductie voor een aantal routes bepaald¹⁰. Wanneer gebruik wordt gemaakt van GFT-afval, zal deze reductie ongeveer 65% zijn ten opzichte van fossiele LNG.

3.2 Luchtkwaliteit

Recent heeft TNO emissietests uitgevoerd op een aantal moderne (Euro VI) LNG-vrachtwagens^{11,12}. De gemeten NO_x-emissieniveaus van deze LNG-voertuigen zijn tijdens langeafstandsritten vergelijkbaar met die van diesellootvoertuigen. Bij gebruik in de stad is het verschil tussen de verschillende LNG-voertuigen aanzienlijk en liggen in de buurt van de NO_x-emissies van vergelijkbare diesellootvoertuigen. Het aandeel NO₂ in de totale NO_x-uitstoot is voor de geteste LNG-vrachtauto's veel lager dan voor vergelijkbare dieseltrucks. Als gevolg hiervan kan de lokale bijdrage van een LNG-truck aan de NO₂-concentratie in de buitenlucht onder bepaalde omstandigheden lager zijn dan van een equivalente dieseltruck. Voor een gemiddelde lange-afstandsrit liggen de gemeten emissies van NO_x en deeltjesaantallen op een vergelijkbaar niveau als van een groep van reeds geteste Euro VI trucks met een dieselmotor.

⁸ Nederlandse lijst van energiedragers en standaard CO₂ emissiefactoren, versie januari 2020.

⁹ Rapportage Energie voor Vervoer in Nederland 2019. Naleving verplichtingen wet- en regelgeving Energie voor Vervoer.

¹⁰ CO₂-balansen groengasketens Vergisting en vergassing. Delft, CE Delft, juni 2019.

¹¹ TNO 2019. Emissions testing of a Euro VI LNG-diesel dual fuel truck in the Netherlands. TNO 2019 R10193. 8 April 2019

¹² TNO 2017 R11336. Emissions testing of two Euro VI LNG heavy-duty vehicles in the Netherlands: tank-to-wheel emissions. 10 November 2017

De effecten zijn voor bio-LNG hetzelfde aangezien het opgewerkt is tot minimaal dezelfde aardgaskwaliteit.

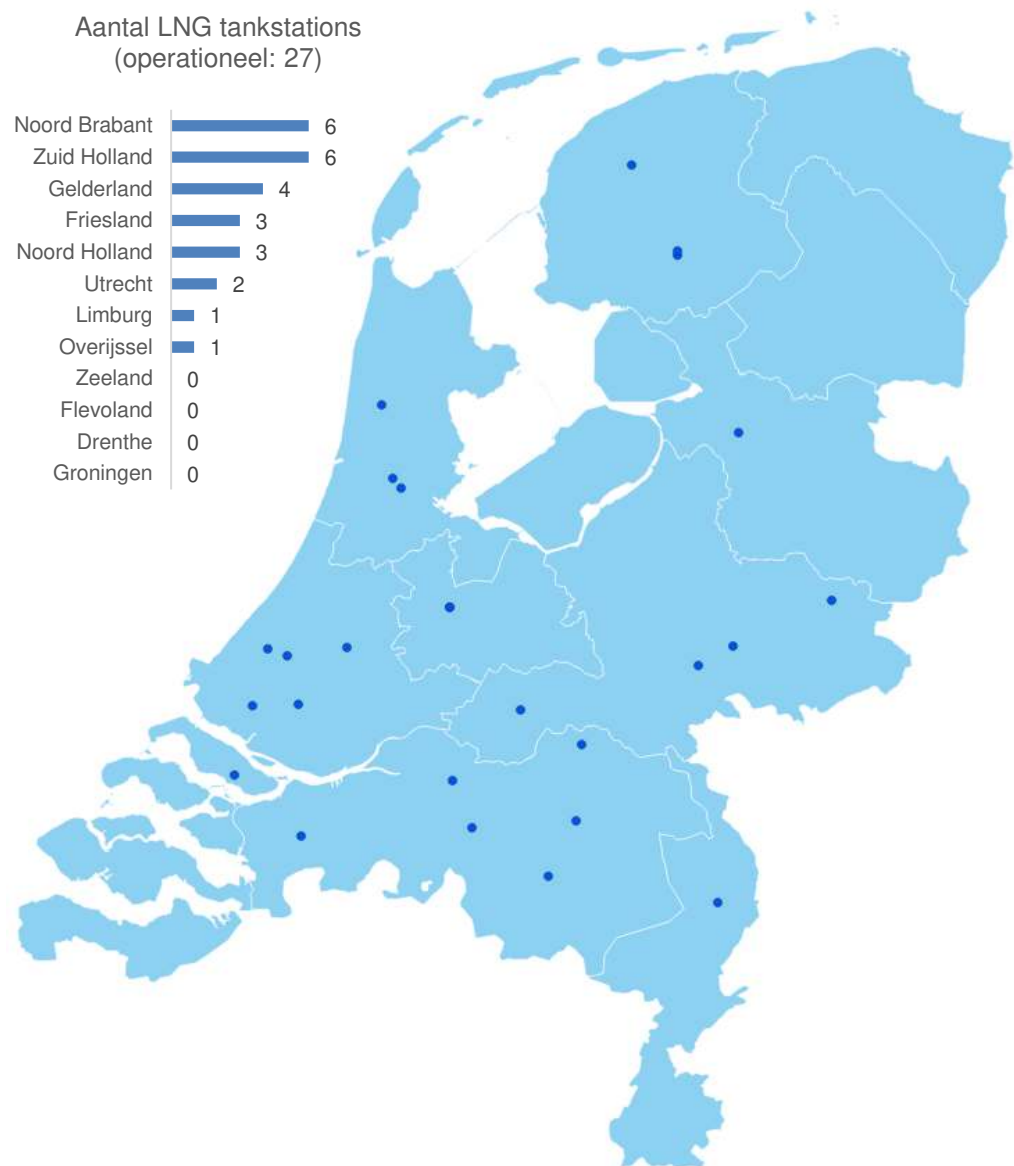
4 Infrastructuur

Voor biogas geldt dat het kan worden opgewaardeerd tot groengas en via het aardgasnet aan verkeer worden geleverd en op de plek van bestemming worden omgezet in CNG dan wel LNG. Garanties van oorsprong (gvo's) voor groen gas, ofwel groengascertificaten, bewijzen dat het gas is geproduceerd uit biomassa en dat het dezelfde kwaliteit heeft als Gronings aardgas. De groengascertificaten worden uitgegeven door Vertogas. Eén groengascertificaat staat voor 1 MWh energie uit groen gas. Als de groengas geproduceerd in een bepaalde installatie voldoet aan de gestelde eisen, wordt de productie gecertificeerd en ontvangt de partij die het groen gas koopt de certificaten. Op het moment dat aardgas wordt geleverd als transportbrandstof, kunnen groengascertificaten worden 'verbruikt' om Hernieuwbare Brandstofeenheden (HBE's) te creëren.¹³ Dit kan echter niet met certificaten die zijn verstrekt voor groengas waarvoor SDE+-subsidie is ontvangen.

LNG vereist gespecialiseerde opslag- en transportmiddelen om het in vloeibare staat te houden. Voor het tanken van LNG is enige training nodig en er dient gebruik te worden gemaakt van beschermende uitrusting zoals handschoenen en oogbescherming.

In Nederland zijn er 27 LNG-tanklocaties (EAFO, 2019). Buiten Nederland kan LNG op slechts een beperkt aantal locaties worden getankt. In het SER-Energieakkoord hebben enkele grote energieleveranciers een doelstelling geuit voor het realiseren van enkele tientallen LNG-stations in de komende jaren (SER, 2014). Vopak en Gasunie werken aan de realisatie van een LNG-laadstation voor LNG-tankauto's en LNG bunker schepen bij de LNG-terminal in Rotterdam. Dit is belangrijk voor de distributie van LNG als transportbrandstof in Nederland.

¹³ Hernieuwbare Brandstofeenheden vormen de eenheid, die gebruikt wordt voor de Nederlandse Jaarverplichting Hernieuwbare Energie Vervoer. Brandstofleveranciers krijgen HBE's bij het inboeken van hernieuwbare energie en kunnen er ook in handelen.



Figuur 1: Aantal LNG tankstations in Nederland [Groen Gas NL, 2019]

5 Vervoermiddel

5.1 Beschikbaarheid in Nederland

Het aanbod LNG-vrachtauto's is beperkt in Nederland met op dit moment meerdere EURO VI trucks van de fabrikanten Volvo, IVECO en SCANIA beschikbaar (NGVA Europe, 2015).

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

Voertuigen op aardgas verschillen vooral op twee gebieden van conventionele voertuigen: de motortechnologie en de manier waarop brandstof wordt opgeslagen.

Motortechnologie

Voertuigen die op LNG kunnen rijden bestaan in vier hoofdvormen, te weten: *monofuel*, *bifuel*-, *dual*- en *tri-fuel*voertuigen. *Monofuel* motoren gebruiken aardgas als enige brandstof en kunnen niet op een andere brandstof rijden. *Bifuel*-motoren lopen op benzine (of ethanol) of aardgas. *Trifuel*-voertuigen kunnen zowel op benzine, ethanol als aardgas rijden. *Dualfuel*-voertuigen maken gebruik van een mengsel van aardgas en diesel.

Bestaande benzine- en dieselveertuigen kunnen worden omgebouwd om op aardgas te rijden als *bifuel*- of *dualfuel*-voertuigen. Voertuigen kunnen ook door een OEM worden geproduceerd om op aardgas te werken als een *monofuel* voertuig of *bifuel*-voertuig.

Brandstofopslag

In een CNG-tank wordt brandstof opgeslagen bij 200 - 250 bar. Een LNG-voertuig heeft een speciale geïsoleerde brandstoftank nodig die de brandstof onder de -162 °C houdt. Doordat het gas in vloeibare vorm is, is de druk aanzienlijk lager dan die van een CNG-tank. Het is echter mogelijk dat de brandstof na verloop van tijd begint te verdampen door het inleken van warmte, waardoor het nodig is om de brandstoftank af te blazen. Dit gebeurt meestal pas na twee weken zonder gebruik.

LNG kan op twee manieren worden toegepast in vrachtauto's. Er wordt onderscheid gemaakt tussen *mono-fuel* en *dual-fuel* motoren:

- *Mono-fuel* motoren werken met vonkontsteking volgens de Otto-cyclus (vonkontsteking) en gebruiken uitsluitend LNG als brandstof.
- *Dual-fuel* motoren werken volgens het dieselpincipe (zelfontbranding) en gebruiken een mix van diesel en LNG als brandstof. Door gebruik van het diesel principe is het motorrendement hoger. Retrofit dual fuel systemen kunnen ook op diesel rijden, in dat geval is er geen CO₂-voordeel ten opzichte van

‘standaard’ dieselloertuigen. Daarnaast zijn er affabriek HPDI systemen beschikbaar. Deze zijn niet geschikt om op 100% diesel rijden, waardoor het CO₂-voordeel van LNG wel altijd wordt benut.

Vrachtauto's die op LNG kunnen rijden met mono- of dual-fuel motoren hebben een aanvullende brandstofvoorzieningssysteem met een LNG-brandstoftank. Ten opzichte van een CNG-tank heeft een LNG-tank meer energie inhoud bij hetzelfde gewicht. Als gevolg daarvan kunnen langere afstanden worden afgelegd op één tankinhoud. Een LNG-tank is zeer goed geïsoleerd om ervoor te zorgen dat de brandstof zo min mogelijk verdampt. Het is echter mogelijk dat de brandstof na verloop van tijd begint te verdampen door het inleken van warmte.

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