

TNO-rapport

www.tno.nl

TNO 2021 R10784V2 - 21

T +31 88 866 50 10

**Factsheet vergelijking vrachtwagens op
verschillende energiedragers**

Datum	25 november 2021
Auteur(s)	Maarten Verbeek (TNO) Arjan Eijk (TNO) Anouk van Grinsven (CE Delft)
Exemplaarnummer	2021-STL-RAP-100332807u_V2
Aantal pagina's	20 (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.

Inhoudsopgave

1	Inleiding	3
1.1	Doelstelling	3
1.2	Wijzigingen ten opzichte van de Factsheets 2020	4
1.3	Voertuig-energiedrager combinaties	5
1.4	Toelichting op de gerapporteerde emissies	5
1.5	Voertuigcategorieën per emissietype	7
1.6	Informatiebronnen.....	7
1.7	Leeswijzer.....	8
2	Energiedrager gerelateerde emissies	10
2.1	Broeikasgas (CO ₂).....	10
2.2	Luchtkwaliteit	12
3	Infrastructuur	14
4	Vervoermiddel.....	15
4.1	Aantallen voertuigen en beschikbaarheid modellen in Nederland	15
4.2	Betaalbaarheid.....	16
4.3	Voertuigkenmerken.....	18
5	Ondertekening	20

1 Inleiding

1.1 Doelstelling

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

Scope

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

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

Aanpak

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

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

Versie uit 2020

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

Voertuig praktijkemissies

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

Praktijkemissiefactoren

Praktijkemissiefactoren geven weer hoeveel voertuigen binnen een bepaalde categorie onder bepaalde omstandigheden gemiddeld uitstoten van verschillende emissiecomponenten, zoals NO_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").

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

1.2 Wijzigingen ten opzichte van de Factsheets 2020

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

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

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

1.3 Voertuig-energiedrager combinaties

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

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

	Diesel	Dieselvevangers uit biomassa	Benzine	Benzineevangers 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 Broeikasgas (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 uitlaatmissies, 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.

1.5 Voertuigcategorieën per emissietype

1.5.1 *Klimaat (CO₂)*

In tegenstelling tot de luchtverontreinigende emissies geldt voor de CO₂-emissies dat deze sterk worden beïnvloed door de massa van het voertuig. Om die reden wordt er voor de CO₂-emissies onderscheid gemaakt naar verschillende grootteklassen. Voor vrachtwagens wordt hiervoor o.a. gekeken naar het maximale tonnage.

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.

1.5.2 *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 aan moest voldoen. De emissiestandaard zijn verschillend voor personenauto's, bestelauto's, vrachtwagens en bussen en worden elke één tot vijf jaar aangescherpt.

De emissies die worden gerapporteerd in deze factsheets zijn representatief voor het gemiddelde van de voertuigcategorie. De werkelijke uitstoot van individuele voertuigen kan hier aanzienlijk van afwijken. Redenen voor afwijkingen ten aanzien van luchtvervuilende stoffen zoals NO_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.

1.6 Informatiebronnen

De emissies die direct afkomstig zijn van het voertuig zijn zoveel mogelijk afgeleid uit metingen van TNO. Vanwege de grote hoeveelheid verschillende voertuigen

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

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

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

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

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

1.7 Leeswijzer

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

- **Hoofdstuk 2 - Emissies per energiedrager**
Hier worden de klimaatbelastende (CO₂) en de luchtverontreinigende emissies (zoals NO_x en PM₁₀) voor verschillende energiedragers beschreven.
- **Hoofdstuk 3 - Kenmerken van de infrastructuur** voor de verschillende energiedragers.
- **Hoofdstuk 4 – Voertuigen**
 - a) Aantallen voertuigen in het Nederlandse wagenpark
 - b) Beschikbaarheid qua modellen
 - c) Betaalbaarheid in de vorm van Total Cost of Ownership (TCO)
 - d) Voertuigkenmerken
 - a. Actieradius
 - b. Laad- en vultijd

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

2 Energiedrager gerelateerde emissies

2.1 Broeikasgas (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 vrachtwagens en trekker-opleggers van elkaar te onderscheiden.

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.

2.2 Uitlaatemissies (TTW)

LNG kan worden gebruikt in twee typen motoren, met vonkontsteking of zelfontbranding. De motoren op basis van het zelfontbrandingsprincipe hebben een hoger rendement en daardoor lagere CO₂-uitlaatemissies dan motoren die gebruik maken van vonkontsteking.

Naast CO₂ komt er bij LNG-trucks ook het broeikasgas methaan (CH₄) uit de uitlaat. Een gram methaan heeft een 28 keer¹ 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)². De CO_{2,eq} van een LNG-truck met een motor op basis van het zelfontbrandingsprincipe waren bij TNO-metingen ongeveer 19% lager³.

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

- N₂O-uitlaatemissies (een derde broeikasgas, 265 sterker¹ dan CO₂) geproduceerd in de katalysator;
- 'boil-off': het afblazen van de brandstoftank wanneer de druk daarin te hoog wordt;

¹ 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

² TNO 2019 R10193 Emissions testing of a Euro VI LNG-diesel dual fuel truck in the Netherlands

³ 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.

Elektrische en waterstofauto's hebben geen CO₂-uitlaatemissies.

Bij het gebruik van pure biobrandstoffen zijn de CO₂-uitlaatemissies nul volgens internationale rekenregels (IPCC).

2.3 Ketenemissies (WTW)

Wanneer ook de broeikasgasemissies als gevolg van productie en distributie van energiedragers in ogenschouw wordt genomen, ontstaat een ander beeld. Voor diesel geldt dat de CO₂-emissies ten gevolge van productie en distributie ruim 31% bedragen van de totale ketenemissies⁴. Voor LNG is dat ongeveer 32%⁴. Voor elektrische en waterstoftrucks geldt dat alle ketenemissies vrijkomen bij productie en distributie.

Het gebruik van biobrandstoffen kan leiden tot lagere CO₂-ketenemissies. 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-uitlaatemissies. 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 FAME of HVO (op basis van de momenteel in Nederland gebruikte productieketens) leidt tot respectievelijk 87% en 92% minder CO₂-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-LNG in plaats van fossiele LNG kan de ketenemissies verlagen. De mate waarin dat gebeurt is afhankelijk van de grondstof en de productiemethode. Bij gebruik van GFT-afval, zouden de CO₂-ketenemissies ongeveer 69% lager zijn dan van de fossiele equivalent⁵. Momenteel is er nog weinig of geen bio-LNG in Nederland beschikbaar. Doordat er bij de diesel die in Nederland wordt getankt wél dieselvervangers uit biomassa zijn bijgemengd, wordt een deel van het CO₂-voordeel van LNG-voertuigen hebben bij de uitlaatemissies, teniet gedaan wanneer de hele energieketen wordt beschouwd. Daarom geldt dat, wanneer de uitstoot van methaan wordt meegenomen in CO₂-equivalente emissies, LNG-trucks met vonkontsteking ongeveer evenveel CO₂-ketenemissies uitstoten als dieseltrucks. Voor de door TNO gemeten LNG-truck met een motor op basis van het zelfontbrandingsprincipe zijn het CO₂-ketenemissies nog ongeveer 12% lager.

⁴ Rapportage Energie voor Vervoer in Nederland 2019. Naleving verplichtingen wet- en regelgeving Energie voor Vervoer.

⁵ CO₂-balansen groengasketens Vergisting en vergassing. Delft, CE Delft, juni 2019

De ketenemissies van elektrische voertuigen is afhankelijk van het energiegebruik van het voertuig en de wijze waarop de elektriciteit wordt opgewekt. Doordat er momenteel maar zeer beperkt elektrische vrachtwagens op de weg zijn, is het nog niet mogelijk om een eerlijke en exacte vergelijking te maken van de ketenemissies van broeikasgassen. In een recent Nederlands pilotproject waarin de inzet van elektrische vrachtvoertuigen is geëvalueerd, waren de CO₂-ketenemissies van elektrische vrachtwagens bijna 60% lager bij de huidige Nederlandse energiemix. Voor de geëvalueerde trekker-oplegger was dat ruim 30%. Een andere studie waarin het energiegebruik van trucks op verschillende energiedragers is vergeleken laat een CO₂-ketenemissiereductie zien van ongeveer 40% bij de huidige Nederlandse elektriciteitsmix⁶. Gegeven het beperkte aantal voertuigen waaraan is gemeten en het feit dat de gemeten voertuigen niet equivalent zijn aan de gemiddelde dieselveertuigen in termen van laadcapaciteit en actieradius, kunnen er nog geen algemene conclusies aan worden verbonden.

Gegeven het beperkte aantal voertuigen waaraan is gemeten en het feit dat de gemeten voertuigen niet equivalent zijn aan de gemiddelde dieselveertuigen in termen van laadcapaciteit en actieradius, kunnen er nog geen algemene conclusies aan worden verbonden.

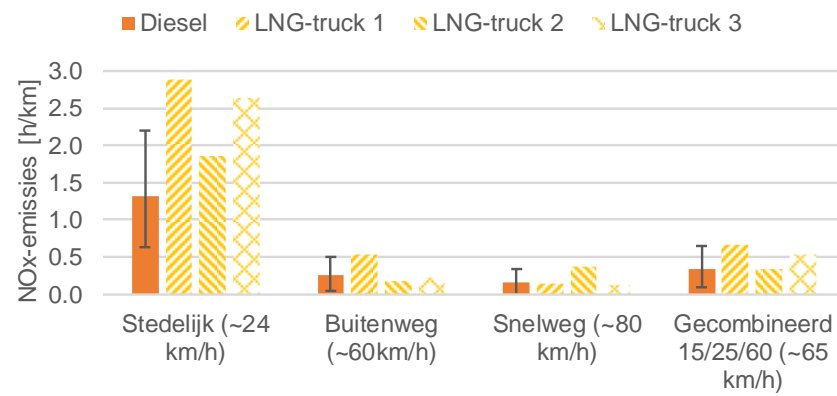
Ook voor waterstoftrucks geldt dat er nog in Nederland nog geen uitgebreid onafhankelijk onderzoek is gedaan naar het energiegebruik. Op basis van het energiegebruik uit een studie waarin trucks op verschillende energiedragers worden vergeleken, zijn de CO₂-ketenemissies van waterstoftrucks vergelijkbaar met die van dieseltrucks wanneer de waterstof wordt gehaald uit aardgas. Wanneer de waterstof echter wordt geproduceerd door middel van windenergie, zijn de CO₂-ketenemissies ongeveer 93% lager dan van fossiele benzine of diesel.

2.4 Luchtkwaliteit

Vanwege de dominantie van diesel in de Nederlandse vrachtautovloot, zijn er in het recente verleden maar beperkt NO_x- en PM₁₀-emissiemetingen verricht aan vrachtwagens op andere brandstoffen. Wel zijn er recent drie LNG-trucks gemeten. Voor deze gemeten LNG-trucks geldt dat de NO_x-emissieniveaus tijdens langeafstandsritten vergelijkbaar zijn met die van dieselveertuigen (zie Figuur 1). Ook bij gebruik in de stad is dat het geval, echter het verschil tussen de verschillende gemeten LNG-voertuigen is bij deze toepassing aanzienlijk. 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 (bv. ozonconcentratie) lager zijn dan van een equivalente dieseltruck.

De uitstoot van fijnstofdeeltjes van de gemeten LNG-trucks is vergelijkbaar met die van dieseltrucks.

⁶ FCH 2, 2017. Fuel Cells and Hydrogen Applications for Regions and Cities Vol. 2. Development of Business Cases for Fuel Cells and Hydrogen Applications for European Regions and Cities. Reference Number FCH JU 2017 D4259



Figuur 1: Gemeten NO_x-emissies van drie gemeten moderne Euro VI LNG trucks in vergelijking met gemeten NO_x-emissies van dieseltrucks. De 'error bars' representeren de minimale en maximale waarden van de gemeten dieselveertuigen².

Vrachtwagens en trekker-oplegger op elektriciteit en waterstof stoten geen NO_x uit en ook geen fijnstof uit de uitlaat. Bij slijtage van banden en remmen komt wel fijnstof vrij. Die is van dezelfde orde als die van voertuigen op diesel of LNG.

3 Infrastructuur

Nederland kent een dicht netwerk van tankstations. Bijna alle tankstations bieden zowel benzine al diesel aan. Er zijn 30 locaties waar LNG kan worden getankt. In sommige gevallen is dit bij een tankstation dat ook andere energiedragers aanbiedt. In andere gevallen zijn het stations die enkel LNG aanbieden. Het aantal laadpalen voor elektrische voertuigen groeit snel en bedraagt al ruim vijftien duizend. Deze zijn gericht op personen- en bestelauto's. Voor elektrische vrachtwagens en trekker-opleggers is nog geen openbaar oplaadnetwerk beschikbaar.

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 voor diverse energiedragers (Bron: Routeradar 2020)

	Aantal infrastructuur
Benzine-/Dieseltankstations	4.143
LNG-tankstations	30
(Snel)-laadpalen personenwagens	65.604
Waterstoftankstations	7

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

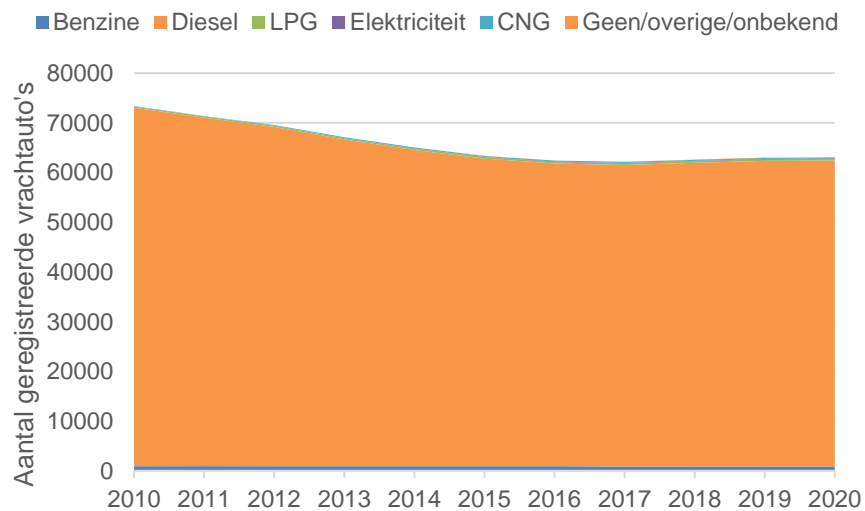
4 Vervoermiddel

4.1 Aantallen voertuigen en beschikbaarheid modellen in Nederland

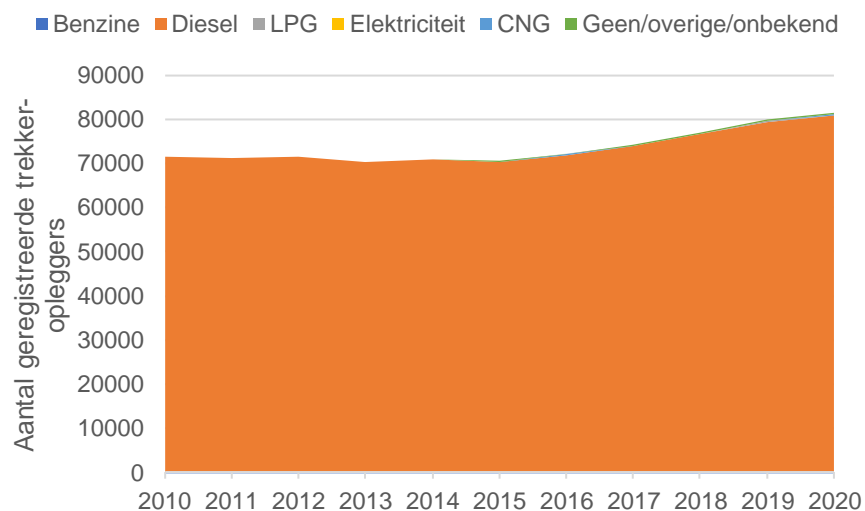
4.1.1 Aantallen voertuigen per energiedrager

De historische samenstelling van de vloot vrachtwagens en trekker-opleggers laat zien dat diesel sinds lange tijd de dominante brandstof is voor vrachtauto's en trekker-opleggers met respectievelijk 98% en 99% van de geregistreerde voertuigen. Onderstaande figuren geven de samenstelling van vrachtauto's en trekkers (van trekker-oplegger combinaties) naar verschillende energiedragers weer.

Figuur 2: Historische samenstelling van het Nederlandse **vrachtauto's** naar energiedragers.



Figuur 3: Historische samenstelling van het Nederlandse trekker-opleggers naar energiedragers.



4.1.2 Beschikbaarheid voertuigmodellen

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

Tabel 3: Aantal beschikbare modellen vrachtwagens op de Nederlandse markt

Energiedrager	Aantal modellen
EV	Ca. 16 modellen
Waterstof	Ca. 6 modellen
CNG	Ca. 9 modellen
LNG	Ca. 7 modellen

4.2 Betaalbaarheid

4.2.1 Betaalbaarheid vrachtwagens: rekenmethodiek en aannames

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

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

De TCO voor vrachtauto's is bepaald vanuit het perspectief van een vlootbeheerder. Per energiedrager wordt een representatieve -vrachtauto gekozen. In Nederland is de trekker (met trailer) het meest verkochte type vrachtauto. In 2020 stonden er in Nederland 80.000 trekkers en 63.000 andere vrachtauto's geregistreerd boven 3,5 / 7,5 ton (TNO, 2020). De 4x2 trekker (een trekker met vier wielen, waarvan twee wielen – achteras – worden aangedreven) is daarbij verreweg het meest populair. Het representatieve -voertuig zal daarom voor alle beschouwde energiedragers van het type 4x2 trekker zijn.

4.2.2 Representatieve voertuigen voor TCO berekeningen

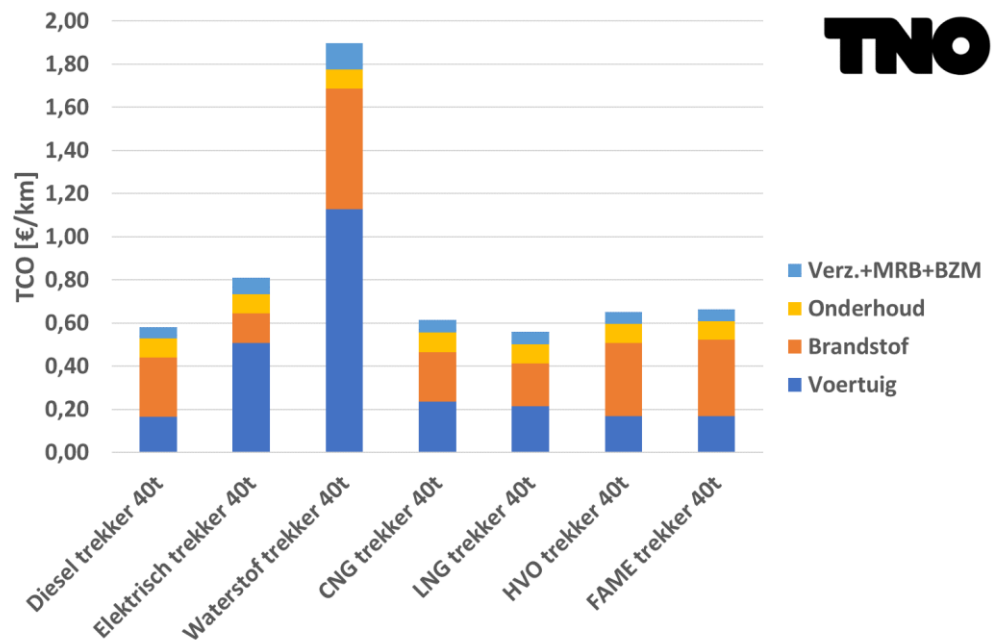
Tabel 4: Representatieve-trekkers

	Eenheid	Diesel	Elektrisch	Waterstof*	LNG	CNG
Merk & Model		DAF CF 440 FT 40 ton	DAF CF Electric	Niet verkrijgbaar, maar VDL 4x2 is als rekenkundige basis gekozen	Iveco Stralis NP 460 LNG 4x2 trekker	Iveco Stralis NP 460 CNG 4x2 trekker
Uitvoering	kW	320	210	210	338	338
Batterijpakket	kW		350 (315 eff.)	72		
Brandstofcel	kW			88		
Belading (gem.)	ton	Veronderstelde massa trailer: 13400 kg	Veronderstelde massa trailer: 13400 kg	Veronderstelde massa trailer: 13400 kg	Veronderstelde massa trailer: 13400 kg	Veronderstelde massa trailer: 13400 kg
Jaarkilometrage	Km/jaar	80000	80000	80000	80000	80000
Afschrijvingsperiode	jaar	5	5	5	5	5
Restwaarde na afschrijvingsperiode	%	20	10	10	20	20

Noot: Er zijn inmiddels diverse ombouw firma's en fabrikanten die eerste waterstof trucks leveren (eigenlijk elektrische truck met waterstof range-extender). Hiervan zijn nog geen openbare verbruiksgegevens beschikbaar.

4.2.3 TCO vrachtwagens

De TCO is berekend voor de in 4.2.2 genoemde representatieve trekkers voor de energiedragers diesel, elektrisch, waterstof, CNG, LNG, HVO en FAME. De resultaten worden in onderstaande figuur weergegeven. De belangrijke kostencomponenten waaruit de TCO is opgebouwd, te weten voertuig(afschrijving), BTW, BPM, brandstof, MRB, onderhoud en verzekeringen zijn met aparte kleuren weergegeven.



Bovenstaande Figuur toont de TCO van een 4*2 trekker op diverse energiedragers. De waterstof trekker is (nog) relatief duur in vergelijking met de andere energiedragers. De totale kosten per kilometer van een waterstofvrachtauto zijn ruim driemaal zo hoog die van een dieselvrachtauto. Dit heeft twee belangrijke redenen: (1) de hoge aanschafkosten (bijna vijf tot ruim zes keer duurder dan diesel) en (2) de hoge brandstofkosten (ongeveer tweemaal duurder dan diesel). De overige kosten voor onderhoud, verzekering en motorrijtuigbelasting zijn vergelijkbaar met die van een elektrische vrachtwagen. Het is wel te verwachten dat de aanschafkosten van waterstof vrachtwagens in de komende jaren zullen dalen.

4.3 Voertuigenmerken

4.3.1 Actieradius

Voertuigen op LNG hebben typisch een lagere actieradius dan voertuigen op diesel. Echter door het toepassen van een extra brandstoftank, kan deze actieradius worden vergroot.

De actieradius van elektrische vrachtwagens en trekker-opleggers is afhankelijk van de grootte van het geïnstalleerde accupakket. Hoe groot de accupakketten van serie-geproduceerde elektrische vrachtwagens en trekker-opleggers zal zijn en of afnemers hierin een keuze hebben is nog niet bekend. Desalniettemin zullen elektrische vrachtwagens de komende jaren gemiddeld een lagere actieradius hebben dan dieselveertuigen. De actieradius van waterstofvrachtwagens zal waarschijnlijk aanzienlijk groter zijn dan die van elektrische voertuigen, maar kleiner dan die van dieselveertuigen.

De actieradius van de in momenteel in serie geproduceerde elektrische vrachtwagens ligt tussen 100 tot 280 kilometer en is daarmee ruim kleiner dan die van benzine- of diesel vrachtwagens.

4.3.2 Laad- en vultijd

De laad- en vultijd voor de meeste energiedragers is globaal enkele minuten. Voor batterij elektrisch is de laadtijd aanzienlijk langer. Door het grotere accupakket van vrachtwagens in vergelijking met personenauto's zijn laadtijden ook proportioneel groter. Echter, in de praktijk kan onderweg vaak volstaan worden met het deels laden van een accu én kan ook gebruik gemaakt worden van snellaadstations waardoor de laadtijd beperkt blijft. De ontwikkelingen van laadstations gaan naar steeds hogere laadvermogens waardoor de laadtijd in de toekomst waarschijnlijk nog zal afnemen.

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

Functionele specificatie	Conventioneel diesel	Elektrisch	Waterstof	CNG*	LNG
Actieradius	Ca. 1500 km	100-400 km	500 km	- / 0	-
Laad- /vulsnelheid	Ca. 5 minuten	30-300 min	4-40 min	Ca. 5 min	Ca. 15 min

Noot: CNG voertuigen hebben in principe een kleinere range, montage van extra tanks kan de range echter richting diesel ophogen.

5 Ondertekening

Den Haag, 25 November 2021

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