

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 - 17****Factsheet bussen op elektriciteit uit batterijen**

Datum	3 juli 2020
Auteur(s)	Maarten Verbeek (TNO) Anouk van Grinsven (CE Delft)
Exemplaarnummer	2020-STL-RAP-100332807q
Aantal pagina's	17 (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 Elektriciteit kenmerken.....	10
3	Emissies	12
3.1	Klimaat (CO ₂).....	12
3.2	Luchtkwaliteit	13
4	Infrastructuur	14
5	Vervoermiddel	15
5.1	Beschikbaarheid in Nederland.....	15
5.2	Betaalbaarheid.....	15
5.3	Voertuigkenmerken.....	15
6	Ondertekening	17

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 Elektriciteit kenmerken

Elektriciteit is de energiedrager die nodig is voor voertuigen met een accupakket die middels een stekker moeten worden opgeladen. De opwekking van elektriciteit die elektrische voertuigen gebruiken hoofdzakelijk vindt plaats in energiecentrales en voor een deel met windmolens en zonnepanelen. Energiecentrales vallen onder het Europese Emissiehandelssysteem (ETS) dat de CO₂-uitstoot van de productie van elektriciteit reguleert.

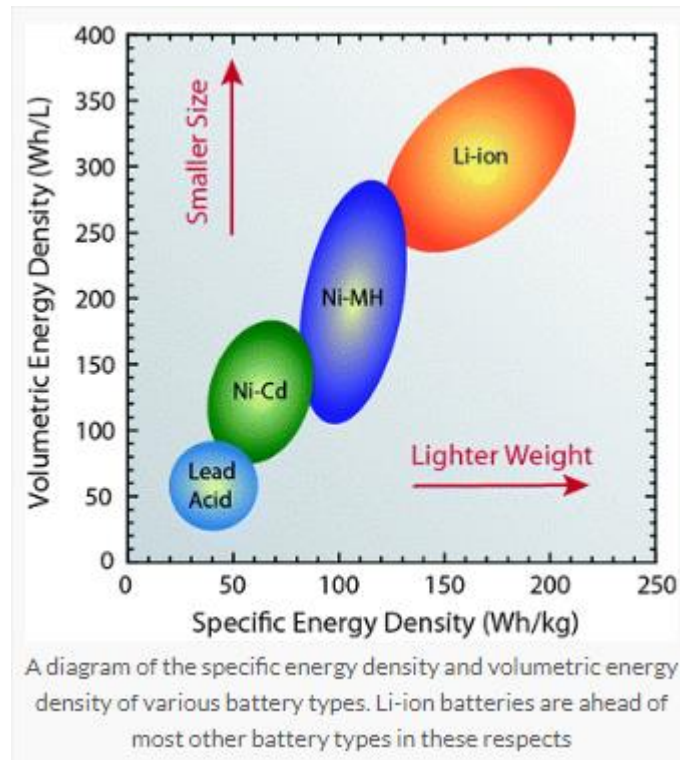
Lithium-ion-accu's worden steeds lichter en compacter. Dat is vooral te danken aan grote inspanningen op het gebied van onderzoek en ontwikkeling van accu's. Door nieuwe, verbeterde en dunnere elektrodematerialen zullen hogere celspanningen mogelijk worden, waardoor het volume en gewicht van de accu's afnemen (Grafoid, 2015). Verschillende autofabrikanten en leveranciers verwachten dat de energie-inhoud van accu's in de komende 10-15 jaar met een factor twee zal toenemen (TNO, 2015).

De energiedichtheid van accu's is in vergelijking met benzine veel lager. Dat betekent dat er veel meer ruimte in de auto gereserveerd moet worden om dezelfde hoeveelheid energie mee te nemen. Li-ion batterijen hebben een energiedichtheid van tussen de 100 en 265 Wh/kg (CEI, 2020). Voor benzine ligt die waarde op circa 12.000 Wh/g, een factor 45 tot 120 hoger.

Met toekomstige varianten van Lithium batterijen met silicium en oxiden kunnen mogelijk energiedichtheden van 400 tot ruim 1500 Wh/kg worden bereikt. Wanneer deze technieken op de markt komen is op dit moment niet te voorspellen.

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

Brandstof	Specifieke energie (MJ/kg)	Specifieke energie (Wh/kg)
Referentie diesel	42-44	~ 12.000
Referentie benzine	42-44	~ 12.000
Huidige Li-ion	0,36 – 0,95	100-265
Toekomstig Li-ion	1,4 – 5,4	400-1500



Figuur 1: Specifieke energie dichtheid voor diverse typen batterijen

Bron: <https://www.cei.washington.edu/education/science-of-solar/battery-technology/>

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)

Een volledig elektrisch voertuig veroorzaakt geen uitstoot van CO₂ en andere broeikasgassen tijdens het rijden. Tijdens de productie van elektriciteit wordt wel CO₂ uitgestoten. Dit wordt in de volgende paragraaf toegelicht.

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.

De broeikasgasemissies van elektrische auto's worden voornamelijk bepaald door de productiemethode van elektriciteit, die opgewekt kan worden uit fossiele brandstoffen zoals kolen en gas, maar ook uit hernieuwbare bronnen zoals zonne-energie, windenergie, biogas of biomassa. De vergroening van de elektriciteitsmix in Nederland is van 2017 naar 2018 gestegen van 14% naar 15%.

De elektriciteit die in Nederland uit het stopcontact komt is een mix met hernieuwbare en niet-hernieuwbare herkomst. De well-to-tank uitstoot wordt dus bepaald door het aandeel groene en grijze (fossiele) stroom in de Nederlandse elektriciteitsmix. Als het aandeel hernieuwbare bronnen toeneemt, dan zal de well-to-wheel CO₂-emissie van een elektrisch voertuig dalen. Om de uitstoot van elektrische voertuigen eerlijk te vergelijken met andere aandrijvingen, dienen bij voertuigen op fossiele brandstoffen ook de emissies van het raffinage- en distributieproces meegenomen te worden.

In Tabel 3 is weergegeven wat de CO₂-uitstoot is van de huidige totale elektriciteitsmix in Nederland. Dit betreft dus het totaal van grijs en groen geproduceerde elektriciteit. Ook is de CO₂-emissiefactor per kWh van alleen de grijze stroom weergegeven in de tabel. In Nederland is het aandeel grijze stroom circa 85%.

Tabel 3: Totale CO₂-emissie elektriciteitsproductie 2018

	Productie [g/kWh]	Ketenemissies (excl. centrale) [g/kWh]	Ketenemissies (centrale) [g/kWh]	Totaal [g/kWh]
Emissies totale elektriciteitsmix (100%)	405	70*	5	480
Emissies grijze elektriciteitsmix (85,1%)	476	80*	1	557

* Afgerond op tientallen.

De emissies die vrijkomen bij de productie van elektriciteit in de centrale worden in bovenstaande tabel onder productie weergegeven. Onder ketenemissies (exclusief centrale) worden de emissies over de gehele keten exclusief de bouw en sloop van de centrale bedoeld. Onder ketenemissies (centrale) worden de emissies die gepaard gaan met de bouw en sloop van de centrale bedoeld.

3.2 Luchtkwaliteit

Een volledig elektrisch voertuig heeft geen emissies tijdens het rijden (afgezien van de slijtage van banden en remmen). Tijdens de productie van de benodigde elektriciteit worden wel luchtverontreinigende emissies uitgestoten.

4 Infrastructuur

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

5 Vervoermiddel

5.1 Beschikbaarheid in Nederland

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

De beschikbaarheid van volledige elektrische OV-bussen vormt geen beperking voor de doelstelling van het bestuursakkoord.

Voor touringcars wordt elektrisch rijden nog niet of nauwelijks toegepast. De actieradius is voor dit type bussen, dat veel lange afstanden aflegt, niet toereikend (of vereist grote accupakketten tegen hoge investeringskosten).

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

De aandrijving van een volledig elektrisch voertuig (FEV: Full Electric Vehicle of BEV: Battery Electric Vehicle) bestaat uitsluitend uit een elektromotor, vermogenselektronica, een regelunit en elektrische energieopslag door middel van accu's. De accu's worden opgeladen bij speciale laadvoorzieningen of op eigen terrein.

Naast volledig elektrische voertuigen zijn er ook voertuigen op de markt die elektrische aandrijving met een verbrandingsmotor combineren (PHEV: Plug-in Hybrid Electric Vehicle en EREV: Extended Range Electric Vehicle). De plug-in hybride is primair een hybride voertuig, dat bijgeladen kan worden uit het stopcontact. Door de grotere accu in vergelijking met een gewone hybride kan een grotere afstand volledig elektrisch gereden worden. Bij de range extender EV worden de wielen aangedreven door een elektromotor. Deze wordt voorzien van energie vanuit een accu die wordt opgeladen met een stekker of door verbranding van brandstof in de motor-generatorset.

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

In Tabel 4 zijn cijfers weergegeven voor het energiegebruik in de praktijk zoals gevonden in drie literatuurbronnen.

Tabel 4: Energiegebruik in de praktijk (in kWh/km) van elektrische bussen

	Civitas	EIB	HBEFA⁵
Bus	2,97	2,18	2,50

Deze praktijk-verbruikscijfers zijn aanzienlijk hoger dan de ca 1 kWh/km die indicatief aangegeven wordt als verbruik onder gunstige omstandigheden. De actieradius zal, uitgaande van deze praktijk verbruikscijfers, ruim 2 keer lager liggen.

⁵ Update of Emission Factors for HBEFA Version 4.109. September 2019

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