

**Traffic & Transport**

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

[www.tno.nl](http://www.tno.nl)

T +31 88 866 00 00

**TNO-rapport****TNO 2020 R10784 - 7****Factsheet personen- en bestelwagens  
op elektriciteit uit batterijen**

|                 |                                                                                 |
|-----------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| Datum           | 3 juli 2020                                                                     |
| Auteur(s)       | Maarten Verbeek (TNO)<br>Anouk van Grinsven (CE Delft)                          |
| Exemplaarnummer | 2020-STL-RAP-100332807g                                                         |
| Aantal pagina's | 19 (incl. bijlagen)                                                             |
| Opdrachtgever   | Ministerie van Infrastructuur & Waterstaat<br>Postbus 20901<br>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

|          |                                                         |           |
|----------|---------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b> | <b>Inleiding .....</b>                                  | <b>3</b>  |
| 1.1      | Inleiding .....                                         | 3         |
| 1.2      | Wijzigingen ten opzichte van de Factsheets 2014 .....   | 4         |
| 1.3      | Behandelde voertuigen, energiedragers en emissies ..... | 5         |
| 1.4      | Toelichting op de gerapporteerde emissies .....         | 5         |
| 1.5      | Informatiebronnen.....                                  | 7         |
| 1.6      | Toelichting op onderscheiden voertuigcategorieën .....  | 7         |
| 1.7      | Leeswijzer.....                                         | 9         |
| <b>2</b> | <b>Energiedrager .....</b>                              | <b>10</b> |
| 2.1      | Energiedrager Elektriciteit kenmerken.....              | 10        |
| <b>3</b> | <b>Emissies .....</b>                                   | <b>12</b> |
| 3.1      | Klimaat (CO <sub>2</sub> ).....                         | 12        |
| 3.2      | Luchtkwaliteit .....                                    | 13        |
| <b>4</b> | <b>Infrastructuur .....</b>                             | <b>14</b> |
| <b>5</b> | <b>Vervoermiddel .....</b>                              | <b>16</b> |
| 5.1      | Beschikbaarheid in Nederland.....                       | 16        |
| 5.2      | Betaalbaarheid.....                                     | 16        |
| 5.3      | Voertuigkenmerken.....                                  | 16        |
| <b>6</b> | <b>Ondertekening .....</b>                              | <b>19</b> |

# 1 Inleiding

## 1.1 Inleiding

Dit document is een vervolg op “Factsheets Brandstoffen voor het wegverkeer: Kenmerken en Perspectief”<sup>1</sup> 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 CO<sub>2</sub>, fijnstof (PM<sub>10</sub>) en NO<sub>x</sub> 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 CO<sub>2</sub>-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.

---

<sup>1</sup> <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<sub>x</sub>, PM<sub>10</sub> of CO<sub>2</sub>. 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](http://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 (CO<sub>2</sub>)

In de uitstoot van voertuigen heeft CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> 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)**

CO<sub>2</sub>-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 CO<sub>2</sub> uit de uitlaat komt. Aangezien de biomassa die is gebruikt voor brandstofproductie in de groeifase de CO<sub>2</sub> heeft opgenomen (korte koolstofkringloop), is er geen sprake van een toename van de CO<sub>2</sub>-concentratie in de atmosfeer. Om die reden rekent de IPCC geen CO<sub>2</sub>-emissies toe aan de uitstoot van voertuigen. Elektrische voertuigen en voertuigen op waterstof (met een brandstofcel) stoten zelf geen CO<sub>2</sub> uit.

#### **Ketenemissies (WTW)**

Naast CO<sub>2</sub>-emissies uit de uitlaat, wordt er ook CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub>-ketenemissies van de voertuigen nul.

#### **1.4.2 Luchtkwaliteit**

Naast klimaatschade, leidt het gebruik van voertuigen ook tot luchtverontreiniging. In tegenstelling tot CO<sub>2</sub>, kunnen deze luchtverontreinigende stoffen leiden tot schade aan de menselijke gezondheid en, in het geval van NO<sub>x</sub>, ook aan de natuur.

Voertuigemissies bestaan uit verschillende componenten. De meest relevante luchtverontreinigende componenten zijn stikstofoxiden (NO<sub>x</sub>) en fijnstof (PM<sub>10</sub>). 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 (CO<sub>2</sub>)*

In tegenstelling tot de luchtverontreinigende emissies geldt voor de CO<sub>2</sub>-emissies wel dat deze sterk worden beïnvloed door de massa van het voertuig. Een zwaarder voertuig stoot per kilometer meer CO<sub>2</sub> uit dan een lichter voertuig met dezelfde brandstof en emissiereducerende technologieën. Om die reden wordt er voor de CO<sub>2</sub>-emissies onderscheid gemaakt naar verschillende grootteklassen.

Voor personenauto's is dit onderscheid gemaakt op basis van marktsegmenten (A, B, C, D en E+)<sup>2,3</sup>. 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 CO<sub>2</sub>-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 uiteengezet<sup>4</sup>.

#### 1.6.2 *Luchtkwaliteit*

Ten aanzien van de luchtverontreinigende emissies (NO<sub>x</sub> en PM<sub>10</sub>) 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.

---

<sup>2</sup> <https://raivereniging.nl/artikel/marktinformatie/branche-analyses/marktinformatie-personenautos.html>

<sup>3</sup> <https://www.rdc.nl/wp-content/uploads/2019/01/Verklaring-RDC-segmenten-2-personenautos-201803.pdf>

<sup>4</sup> TNO 2017. Uncertainty of the NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, NH<sub>3</sub>, PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, EC<sub>2.5</sub> 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<sub>x</sub> en fijnstof (PM<sub>10</sub>) 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 (CO<sub>2</sub> en waar relevant) en de luchtverontreinigende emissies (zoals NO<sub>x</sub> en PM<sub>10</sub>) 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 vindt hoofdzakelijk plaats in energiecentrales en voor een deel met windmolens en zonnepanelen. Energiecentrales vallen onder het Europese Emissiehandelssysteem (ETS) dat de CO<sub>2</sub>-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).

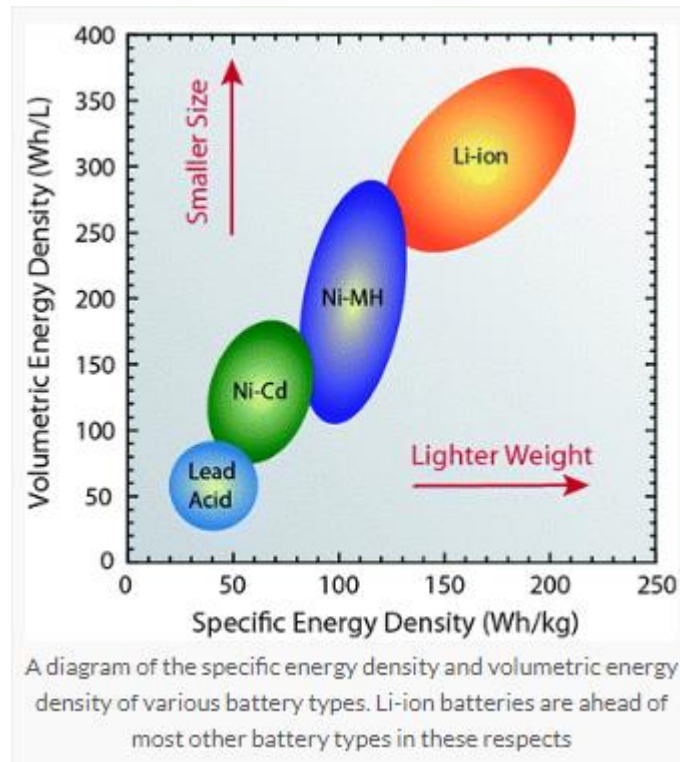
De energiedichtheid van accu's is in vergelijking met benzine veel lager.

Dat betekent dat er veel meer ruimte in de auto gereserveerd moet worden om dezelfde hoeveelheid energiedragers 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: Specifieke energie van energiedragers

| 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 van diverse batterij typen

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

## 3 Emissies

CO<sub>2</sub>-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 CO<sub>2</sub>-uitlaatemissies bij het gebruik van pure biobrandstoffen nul volgens internationale rekenregels (IPCC).

In onderstaande paragraaf zijn uitlaatemissies gedefinieerd als de werkelijke CO<sub>2</sub>-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 (CO<sub>2</sub>)

#### **Uitlaatemissies (TTW)**

Een volledig elektrisch voertuig veroorzaakt geen uitstoot van CO<sub>2</sub> en andere broeikasgassen tijdens het rijden. Tijdens de productie van elektriciteit wordt wel CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub>-emissie van een elektrische auto dalen. Om de uitstoot van elektrische auto's eerlijk te vergelijken met andere aandrijvingen, dienen bij auto's

op fossiele brandstoffen ook de emissies van het raffinage- en distributieproces meegenomen te worden.

In Tabel 3 is weergegeven wat de CO<sub>2</sub>-uitstoot is van de huidige totale elektriciteitsmix in Nederland. Dit betreft dus het totaal van grijs en groen geproduceerde elektriciteit. Ook is de CO<sub>2</sub>-emissiefactor per kWh van alleen de grijze stroom weergegeven in de tabel. In Nederland is het aandeel grijze stroom circa 85%.

Tabel 3: Totale CO<sub>2</sub>-emissie elektriciteitsproductie 2018

|                                           | <b>Productie<br/>[g/kWh]</b> | <b>Ketenemissies<br/>(excl. centrale)<br/>[g/kWh]</b> | <b>Ketenemissies<br/>(centrale)<br/>[g/kWh]</b> | <b>Totaal<br/>[g/kWh]</b> |
|-------------------------------------------|------------------------------|-------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|---------------------------|
| 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.

Elektrische auto's zijn zwaarder dan equivalente voertuigen op andere energiedragers. Dit leidt tot hogere fijnstofemissies door slijtage van banden en remmen. Aan de andere kant remmen deze voertuigen sterker op de motor, wat een positief effect heeft op de fijnstofemissies door remslijtage. Aangenomen wordt dat deze twee tegengestelde effecten elkaar opheffen waardoor de slijtage-emissies gelijk zijn aan die van equivalente voertuigen op andere energiedragers.

## 4 Infrastructuur

Batterij elektrische auto's kunnen via een speciale stekker worden opgeladen bij verschillende soorten laadpunten. Het aantal laadpunten in Nederland groeit snel. Eind 2019 waren er in Nederland 27.992 publieke en 21.351 semipublieke laadpalen. Op 289 locaties bevinden zich in totaal 1.136 snellaadpunten. Daarnaast zijn er meer dan 100.000 private laadpalen. In het Klimaatakkoord is het streven opgenomen om in 2030 minimaal 1,8 miljoen laadpunten te hebben. Tabel 4 geeft een overzicht van de ontwikkeling in het aantal laadpunten per type in Nederland.

Tabel 4: Aantal laadpunten in Nederland [ RVO, 2019]

| Aantal laadpunten                                                   | dec-16 | dec-17 | dec-18  | oct-19 | nov-19 |
|---------------------------------------------------------------------|--------|--------|---------|--------|--------|
| Regulier (24 uur per dag toegankelijk)                              | 11.768 | 15.288 | 20.228  | 27.430 | 27.992 |
| Regulier semi-publiek (niet volledig toegankelijk voor het publiek) | 14.320 | 17.587 | 15.633  | 20.837 | 21.351 |
| Snellaadpunten (publiek + semi-publiek)                             | 612    | 755    | 1.116   | 1.119  | 1.136  |
| Snellaadlocaties                                                    | 148    | 178    | 284     | 284    | 289    |
| Privélaadpunten                                                     | 72.000 | 80.000 | 100.000 |        |        |

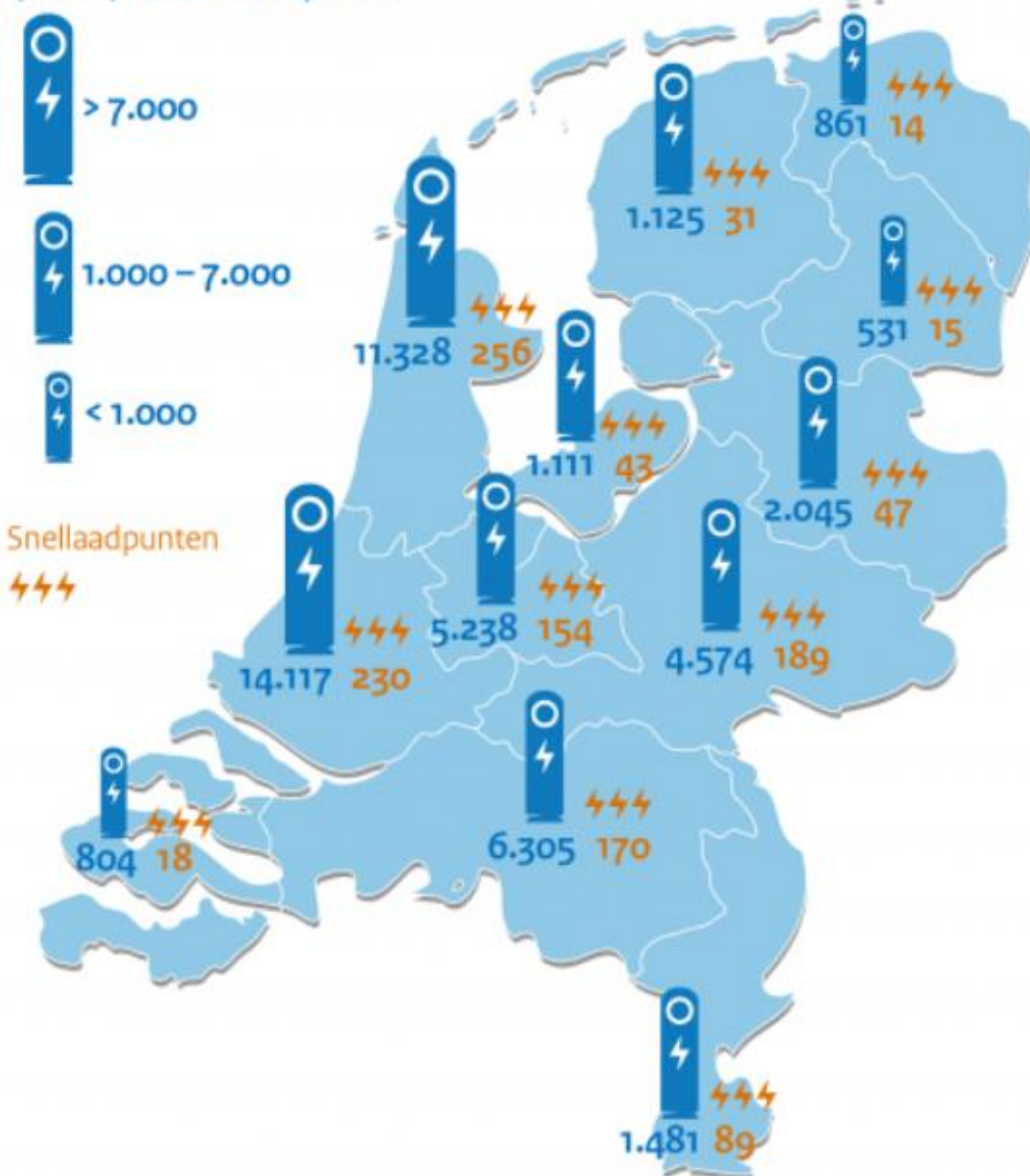
De snelheid waarmee een batterij elektrische auto kan worden volgeladen hangt af van het vermogen van een laadpunt en de omvang van de accu. Een regulier laadpunt levert doorgaans een vermogen van tussen de 3,7 en 11 kilowatt (kW). Bij een laadvermogen van 11 kW en een accupakket van 35 kWh bedraagt de laadtijd ruim 3 uur. Een laadpaal die de helft van dit vermogen levert resulteert in een 2x zo lange laadtijd.

Er zijn ook snellaadpunten die veel hogere vermogens leveren waarmee een elektrische auto in 20 tot 30 minuten volledig kan zijn opgeladen. Meestal wordt vanaf 50 kW gesproken van snelladen maar er zijn ook snellaadpunten die 350 kW kunnen leveren. Om snel tot zeer snel te kunnen laden moet een elektrische auto wel beschikken over een speciale omzetter en actieve koeling van de accu. De meeste nieuwe batterij elektrische auto's zijn hiervan voorzien.

In Nederland worden er voornamelijk drie verschillende typen stekkers gebruikt: IEC type 2 (Mennekes), CHAdeMO en Combo-stekker. Er is nog geen eenduidigheid over het type stekker dat in de voertuigen en laadpalen gebruikt wordt.

Plug-in hybride en range extender elektrische auto's zijn minder afhankelijk van de beschikbaarheid van laadpalen en stopcontacten dan volledig elektrische auto's. Hun milieuwinst hangt af van hoe vaak ze worden opgeladen en hoeveel gebruik ze maken van hun verbrandingsmotor.

(Semi-) Publieke laadpunten



Figuur 2: Aantal laadpunten en snellaadpunten in Nederland [RVO, 2019]

## 5 Vervoermiddel

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 bij een standaard stopcontact.

Naast volledig elektrische personenauto's zijn er ook personenauto's 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.

### 5.1 Beschikbaarheid in Nederland

Per 31 december 2019 reden er in Nederland ruim 107.000 volledig elektrische personenauto's en bijna 5.000 volledige elektrische bestelauto's (BEV) rond. Ook waren er op die datum circa 95.000 plug-in hybrides (PHEV) in Nederland geregistreerd. Dit betrof allemaal personenauto's (PHEV bestelauto's zijn er in Nederland niet).

Inmiddels zijn volledig elektrische personenauto's ruim verkrijgbaar met circa 30 verschillende uitvoeringen van verschillende merken. Voor bestelauto's is het aanbod kleiner (circa 15 verschillende merken en modellen<sup>5</sup>).

### 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 typische actieradius met een volle accu is onder gunstige omstandigheden momenteel circa 70 tot 400 km, afhankelijk van de grootte van de toegepaste accu. Wanneer veel gebruik gemaakt wordt van de verwarming of de airconditioning zal de actieradius met circa 25% kunnen dalen. Bij hoge snelheden (op de snelweg) kan de actieradius met circa 50% dalen. Ook een lage buitentemperatuur kan de actieradius verminderen.

---

<sup>5</sup> CE Delft 2019. Inventarisatie marktaanbod low-emission personenbussen

PHEV's en EREV's kunnen een afstand van zo'n 20 tot 100 km volledig elektrisch afleggen. Rijdt de auto echter verder, dan start een verbrandingsmotor die op benzine, diesel of biobrandstof loopt en die de wielen meestal direct aandrijft en, afhankelijk van de hybride configuratie, energie levert voor de elektromotor en de accu weer oplaadt.

In Tabel 5 zijn cijfers voor het energiegebruik in de praktijk zoals gevonden in de literatuur weergegeven. We zien dat voor personenauto's het energiegebruik ligt tussen de 0,17 en de 0,27 kWh/km afhankelijk van de grootte (en met name het gewicht) van de auto. Voor bestelauto's liggen de waarden iets hoger doordat deze voertuigen wat groter zijn en een groter frontaal oppervlak hebben (meer rijweerstand). Voor kleine en middelgrote bestelauto's ligt het energiegebruik tussen de 0,20 en 0,30 kWh/km, voor zware bestelauto's tussen de 0,33 en 0,37 kWh/km.

Tabel 5: Energiegebruik in de praktijk (in kWh/km) van elektrische personen- en bestelauto's volgens diverse bronnen

| Bron                     | DEFRA | EIB             | HBEFA |
|--------------------------|-------|-----------------|-------|
| Personenauto - gemiddeld | 0,217 | 0,230           |       |
| A                        | 0,189 | -               | -     |
| B                        | 0,173 | -               | -     |
| C                        | 0,208 | -               | 0,183 |
| D                        | 0,168 | -               | 0,220 |
| E+                       | 0,274 | -               | -     |
|                          |       |                 |       |
| Bron                     | DEFRA | CE Delft (2019) |       |
| Bestelauto - gemiddeld   | -     | -               | -     |
| klein                    | 0,196 | 0,229           | -     |
| middel                   | 0,196 | 0,298           | -     |
| groot                    | 0,330 | 0,370           | -     |

Een volledig elektrische auto, die op de huidige Nederlandse elektriciteitsmix rijdt, zorgt WTW voor ca. 40 tot 50% minder CO<sub>2</sub>-uitstoot ten opzichte van een gemiddelde benzineauto<sup>6</sup> (TNO, 2015). Dit hangt wel af van het type auto (de grootteklasse) en het jaarkilometrage (een hoog jaarkilometrage betekent relatief meer kilometers op snelwegen met een hoger verbruik).

Daarbij dient opgemerkt te worden dat de uitstoot van een elektrische auto plaatsvindt bij elektriciteitscentrales en die van benzine- en dieselauto's op de weg en in de stad. Dat is vooral relevant voor de uitstoot van NO<sub>x</sub> en fijnstof die schadelijk zijn voor de gezondheid.

Bij de meeste volledig elektrische personen- en bestelauto's kan de oplaadtijd van de accu variëren van 4 tot 8 uur, afhankelijk van de gebruikte technologie. Om sneller laden mogelijk te maken (en daarmee de praktische inzetbaarheid van volledig elektrische personen- en bestelauto's te vergroten) komen er steeds meer snellaadvoorzieningen, zodat voertuigen ook onderweg kunnen bijladen. De laadtijd bij een snellaadvoorziening is ca. 20-30 minuten.

<sup>6</sup> TNO 2015. Energie- en milieu-aspecten van elektrische personenvoertuigen. TNO 2015 R10386. 7 april 2015

De optie om accu's te wisselen voor personen- en bestelauto's is in theorie de snelste manier om nieuwe elektrische energie in de auto te brengen, maar wordt momenteel niet toegepast. De noodzaak van strikte standaardisering van accupakketgrootte, aansluitingen en inbouw in het voertuig, vormen een belangrijk barrière voor voertuigfabrikanten. Het accu-wisselen wordt momenteel wel toegepast bij free-floating deelscooters.

## 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