

Verzamelde kennisnotities t.b.v. de visie duurzame  
brandstoffenmix

|                 |                                                                                |
|-----------------|--------------------------------------------------------------------------------|
| Datum           | 27 juni 2014                                                                   |
| Auteur(s)       | G. Koornneef e.a. (TNO)<br>H. van Essen e.a. (CE Delft)<br>M. Londo e.a. (ECN) |
| Aantal pagina's | 184 (incl. bijlagen)                                                           |
| Aantal bijlagen | 1                                                                              |
| Opdrachtgever   | Ministerie van Infrastructuur en Milieu                                        |
| Projectnaam     | I&M ondersteuning visievorming energiedragers                                  |
| Projectnummer   | 060.06469                                                                      |

# Inhoudsopgave

|          |                                                                                  |            |
|----------|----------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>1</b> | <b>Inleiding .....</b>                                                           | <b>3</b>   |
| <b>2</b> | <b>Doorrekening van effecten .....</b>                                           | <b>4</b>   |
| 2.1      | Doorrekening modaliteiten volgens Energieakkoord (kennisvraag 9.1) .....         | 4          |
| 2.2      | CO2 reductiepotentieel lucht- en scheepvaart (kennisvraag 9.2) .....             | 50         |
| <b>3</b> | <b>Tafel-overstijgende kennisvragen .....</b>                                    | <b>54</b>  |
| 3.1      | Uitleg CO2 doelstellingen vanuit EU en Energieakkoord (kennisvraag 5.3) .....    | 54         |
| 3.2      | Brandstofroutes en karakteristieken (WTW, kennisvraag 8.1) .....                 | 59         |
| 3.3      | Karakteristieken van biobrandstofroutes (kennisvraag 8.2) .....                  | 66         |
| 3.4      | Eerste schatting beschikbaarheid van biomassa (kennisvraag 2.1) .....            | 75         |
| 3.5      | Nadere specificatie beschikbaarheid biomassa (kennisvraag 7.6) .....             | 79         |
| 3.6      | Afwegingskader inzet biomassa (kennisvraag 2.2) .....                            | 91         |
| 3.7      | Inpasbaarheid duurzame elektriciteit (kennisvraag 7.2) .....                     | 97         |
| 3.8      | Internationaal kader: beleidskader en automobielfabrikanten (kennisvraag 8.4) .. | 102        |
| 3.9      | Gedrag en de transitie naar duurzaam (kennisvraag 3.6) .....                     | 107        |
| <b>4</b> | <b>Kennisvragen vanuit tafel “wegvervoer vloeibaar” .....</b>                    | <b>117</b> |
| 4.1      | Toelichting op tabellen in startdocument (kennisvraag 1.2) .....                 | 117        |
| 4.2      | Ontwikkelpaden “compatibele” biobrandstoffen (kennisvraag 1.3) .....             | 119        |
| 4.3      | Te verwachten efficiencyverbetering (kennisvraag 1.4) .....                      | 122        |
| 4.4      | Potentiele bijdrage van tafel “wegvervoer vloeibaar” (kennisvraag 1.5) .....     | 134        |
| <b>5</b> | <b>Kennisvragen vanuit tafel “wegvervoer gasvormig” .....</b>                    | <b>141</b> |
| 5.1      | Broeikasgasemissies bij gasvormige brandstoffen (kennisvraag 2.4) .....          | 141        |
| 5.2      | Potentiele bijdrage van tafel “wegvervoer gasvormig” (kennisvraag 2.6) .....     | 146        |
| <b>6</b> | <b>Kennisvragen vanuit de tafel “wegvervoer elektrisch” .....</b>                | <b>152</b> |
| 6.1      | Omvang relevante transportsegmenten (kennisvraag 3.2) .....                      | 152        |
| 6.2      | Potentiele bijdrage tafel “wegvervoer elektrisch” (kennisvraag 3.4) .....        | 156        |
| 6.3      | Randvoorwaarden voor het energienet (kennisvraag 3.5) .....                      | 161        |
| 6.4      | Gedragsinstrumenten voor aanschaf elektrische voertuigen (kennisvraag 3.6a) .    | 163        |
| <b>7</b> | <b>Kennisvragen vanuit tafel “wegvervoer waterstof” .....</b>                    | <b>167</b> |
| 7.1      | Ketenrendement van waterstofroutes (kennisvraag 4.1) .....                       | 167        |
| 7.2      | Waterstofketens in vergelijking met alternatieven (kennisvraag 4.2) .....        | 171        |
| <b>8</b> | <b>Kennisvragen vanuit tafel “Scheepvaart” .....</b>                             | <b>179</b> |
| 8.1      | CO2 emissies scheepvaart, incl. Well-to-Propellor (kennisvraag 5.1 en 5.2) ..... | 179        |

## Bijlage A: Brandstofroutes en karakteristieken (bij kennisvraag 8.1)

# 1 Inleiding

In de eerste helft van 2014 heeft een intensief traject plaatsgevonden om tot een gezamenlijke visie voor een duurzame brandstoffenmix te komen. Deze visie is een actie vanuit het Energieakkoord voor Duurzame Groei, is opgesteld vanuit een brede groep betrokkenen en is gefaciliteerd door het Ministerie van Infrastructuur en Milieu.

Dit Ministerie heeft een kennisconsortium van TNO, ECN en CE Delft opdracht gegeven om het proces te ondersteunen met de vereiste kennis. Deze kennis is ingebracht door deelname aan de “tafels” en “LEF bijeenkomsten”, alsmede door beantwoording van kennisvragen. Deze kennisvragen komen primair vanuit de verschillende tafels, maar ook vanuit het team van de opdrachtgever.

Dit document verzamelt alle kennisnotities, die tijdens het visietraject zijn geschreven en verspreid. De kennisnotities zijn zodanig opgesteld, dat ze tijdens het visietraject als een op zichzelf staande kennisbron konden fungeren. In dit verzameldocument zijn deze kennisnotities zo logisch mogelijk geclusterd en op volgorde gezet. De nummering van tabellen figuren is daarom niet consequent doorgevoerd in het hele document, wat geen belemmering vormt voor de leesbaarheid.

Allereerst zullen de resultaten van doorrekening van de visie worden getoond. Aansluitend zijn de kennisvragen verzameld, die onderwerpen behandelen die “tafel overstijgend” zijn. Sommige van deze meer generieke kennisvragen komen echter vanuit een specifieke tafel. Tenslotte zijn per tafel de tafel-specifieke kennisvragen verzameld. Vanuit de tafel “luchtvaart” zijn geen kennisvragen gesteld.

Tijdens het visietraject zijn zeer uiteenlopende vragen gesteld. Niet alle vragen waren binnen de scope en beschikbare tijd te beantwoorden met het gewenste detailniveau. Dit is bij de beantwoording van de kennisvragen waar nodig aangegeven. Een diepere analyse van vragen wordt mogelijk meegenomen in de aansluitende fase (het “actieplan”).

## 2 Doorrekening van effecten

In dit hoofdstuk zijn de kennisnotities verzameld, die opgesteld zijn ten behoeve van de doorrekening van de visie. Deze effecten betreffen zowel de opgave voor reductie van broeikasgasemissies, maar ook andere belangrijke effecten.

In 2.1 zijn de resultaten opgenomen van de transportmodaliteiten, waar de doelstelling in het Energieakkoord op gebaseerd zijn. Hierbij ligt het zwaartepunt bij wegvervoer. In deze notitie zijn resultaten samengevat, die tijdens meerdere LEF bijeenkomsten plenair zijn getoond.

In 2.2 is een korte uiteenzetting gegeven van het reductiepotentieel bij scheepvaart en luchtvaart.

### 2.1 Doorrekening modaliteiten volgens Energieakkoord (kennisvraag 9.1)

|                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Brandstofafel:   | Doorrekening, vraag 9.1                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| Gestelde vraag:  | Hoe ver zijn we op weg naar de opgave in 2030 en 2050 met de PMC's die aangemerkt zijn als "nu haalbaar"? (= 'Kansrijke PMC's')<br>Wat is het maximaal haalbare bij maximale inzet alle PMC's? (= 'alle PMC's')<br>Hoeveel is er nodig van de andere routes als doorbraken ervoor zorgen dat het potentieel van de sporen elektrisch en waterstof 100% worden gehaald? (= 'Visiescenario 1')<br>En wat als dit maar 1/3 is? (= 'Visiescenario 2') |
| Uitgevoerd door: | Huib van Essen en Maarten 't Hoen (CE Delft) m.m.v. Gertjan Koornneef (TNO)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |

#### Beantwoording vraag en leeswijzer:

Het doel van deze notitie is om inzicht te geven in de mogelijke bijdragen van de meest kansrijke PMC's voor in het wegverkeer. De technologieën of reductieopties zijn: elektrisch, waterstof, gasvormig, biobrandstoffen en extra efficiency verbetering. Het gaat hierbij om de mogelijke bijdragen van de afzonderlijke PMC's aan de totale CO<sub>2</sub>-reductieopgave, in het geval ze succesvol worden. Deze notitie is als volgt opgebouwd.

Hoofdstuk 1 geeft een overzicht van het referentiescenario (inclusief autonome ontwikkelingen en de omvang van de verschillende marktsegmenten) en de reductiedoelen en –opgaven. In Hoofdstuk 2 staan de aannames en resultaten van de doorrekening van de maximale inzet van de verschillende PMC's, zowel afzonderlijk als van alle PMC's samen. In Hoofdstuk 3 staat de doorrekening van de twee visiescenario's die aan het eind van het proces van het opstellen van de brandstofvisie zijn geconstrueerd. In de bijlage is uitgelegd welke aanpassingen er zijn gemaakt voor vrachtauto's in vergelijking met de Referentieraming.

### 2.1.1 Referentiepad en reductiedoelen

De potentiële CO<sub>2</sub>-reductie in 2030 en 2050 door de PMC's hangt af van de volgende vier factoren:

- Ontwikkeling van de totale CO<sub>2</sub>-uitstoot van verkeer in het referentiepad.
- Het CO<sub>2</sub>-effect van de toepassing van de technologie / reductieoptie t.o.v. een conventioneel voertuig met verbrandingsmotor.
- Aandeel van alle marktsegmenten (bijv. personenauto zakelijk) in de totale CO<sub>2</sub>-uitstoot van verkeer.
- Aandeel van iedere PMC (bijv. 'volledig elektrische personenauto's') in de vloot voor ieder marktsegment.

Dit hoofdstuk geeft inzicht in de eerste drie.

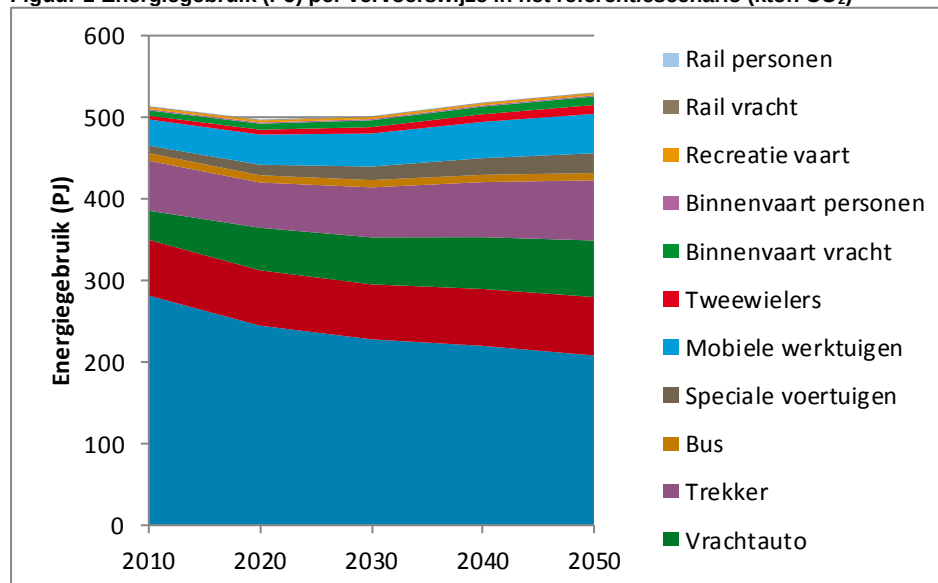
#### 2.1.1.1 Opbouw van het referentiepad

Tabel 1 laat de ontwikkeling van de totale verkeersprestatie van het wegverkeer zien zoals die volgt uit de Referentieraming. In Figuur 1 is hiervan de ontwikkeling in het energiegebruik uitgesplitst naar vervoerswijzen. Het is te zien dat in 2020 ongeveer 15 PJ minder wordt gebruikt dan in 2010.

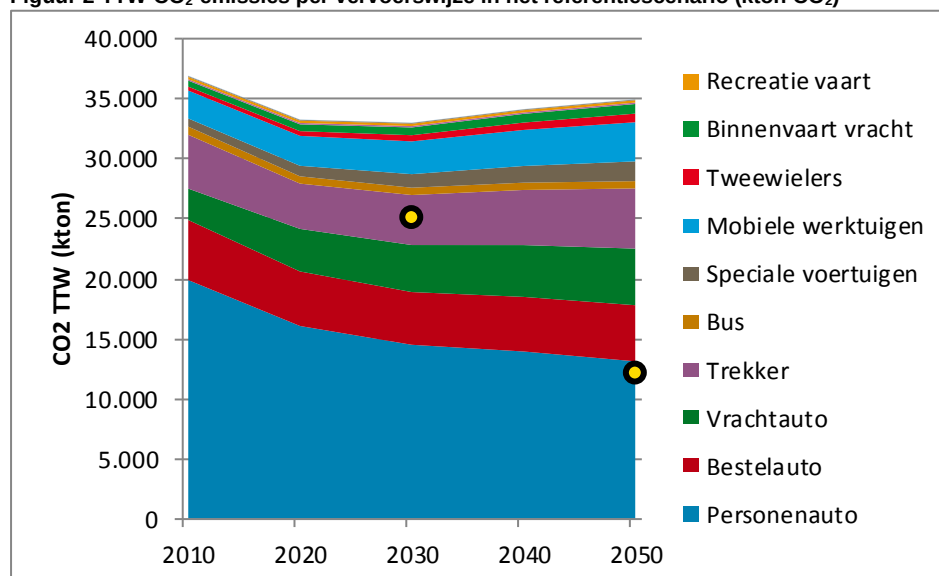
**Tabel 1 Ontwikkeling voertuigkilometers en energiegebruik in de referentie 2010-2050**

|                                   | 2010    | 2020    | 2030    | 2050    |
|-----------------------------------|---------|---------|---------|---------|
| Totaal volume wegverkeer (mln km) | 130.176 | 142.896 | 151.350 | 162.179 |
| Totaal energiegebruik (PJ)        | 514     | 498     | 502     | 531     |

**Figuur 1 Energiegebruik (PJ) per vervoerswijze in het referentiescenario (kton CO<sub>2</sub>)**



**Figuur 2** geeft de ontwikkeling van de TTW (Tank-to-wheel, zonder emissies in de energieproductieketen) CO<sub>2</sub>-uitstoot van al het verkeer (excl. zee- en luchtvaart) weer in het referentiep pad (conform de meest recente Referentieraming van PBL). Het betreft hier de Tank-to-wheel emissies. Hierin zit al een significant aandeel elektrische personen – en bestelauto's en een vrij forse efficiencyverbetering a.g.v. CO<sub>2</sub>-normen voor personen- en bestelauto's. De markering bij 2050 geeft de 60% reductiedoelstelling aan. De markering bij 2030 komt overeen met de doelstelling van 25 Mton.

**Figuur 2 TTW CO<sub>2</sub>-emissies per vervoerswijze in het referentiescenario (kton CO<sub>2</sub>)**

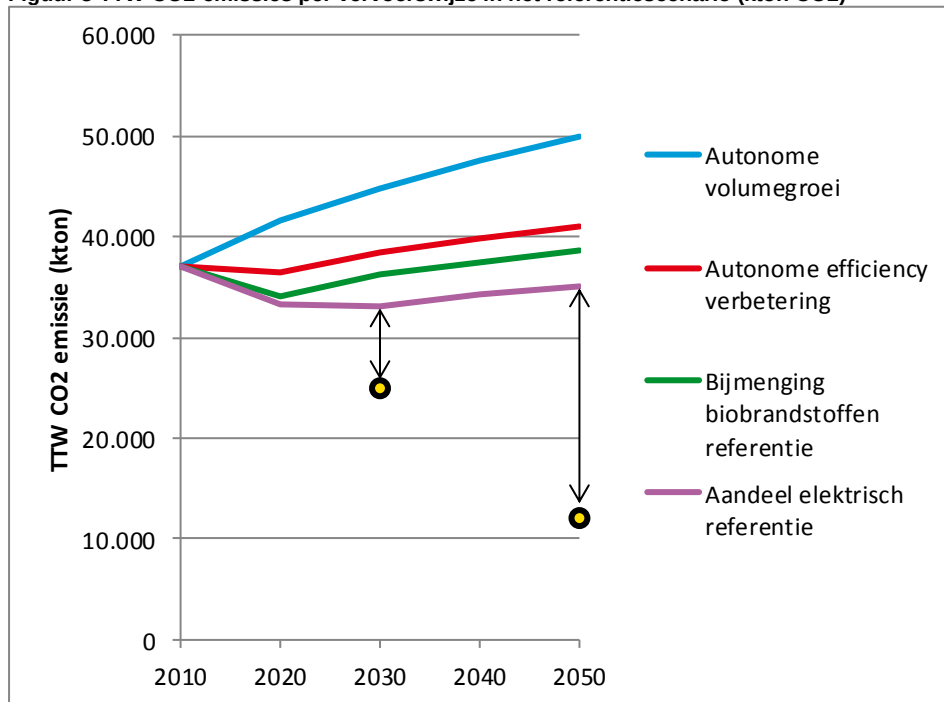
De ontwikkeling in de CO<sub>2</sub>-emissies is het gevolg van volumegroei, efficiëntieverbetering, ingroei van elektrische wegvoertuigen zoals al verondersteld in het referentiescenario en groei van het aandeel biobrandstoffen. De bijdragen van deze vier factoren staan in Tabel 2.

**Tabel 2 Verklaring trend in autonome ontwikkeling in de TTW CO<sub>2</sub>-emissies van alle verkeer in Nederland (% van uitstoot 2010)**

| Verklarende factor                                                  | CO <sub>2</sub> -ontwikkeling t.o.v. 2010 |             |            |
|---------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|-------------|------------|
|                                                                     | 2020                                      | 2030        | 2050       |
| Autonome volumegroei                                                | +13%                                      | +21%        | +35%       |
| Ingroei PMC's in referentie (elektrisch/plug-in)                    | -2%                                       | -8%         | -10%       |
| Efficiëntieverbetering in referentiescenario                        | -14%                                      | -17%        | -24%       |
| Bijmenging biobrandstoffen in referentie                            | -6%                                       | -6%         | -7%        |
| <b>Netto trend in CO<sub>2</sub>-emissies in referentiescenario</b> | <b>-10%</b>                               | <b>-11%</b> | <b>-5%</b> |

**Figuur 3** geeft deze ontwikkelingspaden afzonderlijk weer. De paarse lijn komt overeen met het referentiescenario (incl. beperkt aandeel elektrisch, autonome efficiëntieverbetering en aandeel biobrandstoffen) zoals weergegeven in

**Figuur 2.**

Figuur 3 TTW CO<sub>2</sub>-emissies per vervoerswijze in het referentiescenario (kton CO<sub>2</sub>)

#### 2.1.1.2 Doel en opgave 2030 en 2050

De totale uitstoot van verkeer in Nederland in 1990 bedroeg 30,4 Mton (IPCC definitie). In 2010 was de CO<sub>2</sub>-uitstoot van verkeer 37 Mton<sup>1</sup> TTW, 21% hoger dan in 1990. De 60% reductiedoelstelling t.o.v. 1990 komt daarmee overeen met 67% reductie t.o.v. 2010. De doelstelling voor 2030 is een uitstoot van maximaal 25 Mton CO<sub>2</sub> TTW, wat neerkomt op 32% reductie ten opzichte van 2010. Zoals te zien in Tabel 2 is de autonome ontwikkeling naar 2030 ongeveer -10% t.o.v. 2010. Dit betekent dat de opgave ten opzichte van de referentie in 2030 nog 22% reductie is t.o.v. 2010. Het doel voor 2050 is een reductie van 67% ten opzichte van 2010. Dit komt neer op een uitstoot van maximaal 12,2 Mton CO<sub>2</sub> TTW.

#### 2.1.1.3 Omvang van ieder marktsegment in de totale CO<sub>2</sub>-uitstoot

Deze reductie moet behaald worden door een pakket van maatregelen en ontwikkelingen, die per marktsegment zullen verschillen. Daarom is de benadering per product-markt-combinatie (PMC) hier belangrijk. De aandelen van de verschillende modaliteiten in de totale CO<sub>2</sub>-uitstoot van het wegverkeer staan in Tabel 3.

<sup>1</sup> Dit getal is iets lager dan de 38,1 Mton totale uitstoot van verkeer in 2010 zoals gerapporteerd door PBL. Het verschil is hoofdzakelijk het gevolg van het feit dat zeevisserij en defensievoertuigen nu niet zijn meegenomen.

**Tabel 3 Aandeel van iedere vervoerswijze in de totale TTW CO<sub>2</sub>-uitstoot van alle verkeer in het referentiescenario**

| Vervoerswijze       | 2010 | 2020 | 2030 | 2050 |
|---------------------|------|------|------|------|
| Personenauto        | 54%  | 48%  | 44%  | 38%  |
| Bestelauto          | 14%  | 14%  | 13%  | 13%  |
| Vracht              | 19%  | 22%  | 25%  | 28%  |
| Bus                 | 2%   | 2%   | 2%   | 2%   |
| Speciale voertuigen | 2%   | 3%   | 3%   | 5%   |
| Tweewielers         | 1%   | 1%   | 2%   | 2%   |
| Binnenvaart         | 2%   | 2%   | 2%   | 3%   |
| Overig              | 7%   | 8%   | 9%   | 10%  |

Bij de uitwerking hebben we binnen vervoerswijzen marktsegmenten onderscheiden. Aangezien er onvoldoende data beschikbaar is om de markt te verdelen op basis van stedelijk/niet-stedelijk, actieradius of maximaal dag-kilometrage is een andere onderverdeling gekozen die haalbaar en bruikbaar is, zie **Tabel 4**. Auto's van de zaak en privéauto's is een zinvol onderscheid omdat de ingroei van bijvoorbeeld elektrische voertuigen nu al enorm verschilt tussen deze segmenten en dit ook komende jaren naar verwachting zo zal blijven. Bovendien is het niet evident dat een bepaalde technologie vooral in steden gebruikt gaan worden, aangezien maar weinig personenauto's alleen in steden worden gebruikt. Ook maken de lage kilometerkosten en hoge aanschafkosten dat sommige PMC's (bijv. elektrische auto's) juist aantrekkelijk worden bij niet al te lage of zelfs hoge jaarkilometrages (denk bijv. aan een auto die 200 dagen paar jaar voor 150 km per dag wordt gebruikt, dus ca. 30.000 km wat ver boven het gemiddelde jaarkilometrage van ca. 13.000 km is). Bij vrachtauto's is de grootteklasse een goede indicator voor de geschiktheid van PMC's. Voor bussen kan het onderscheid worden gemaakt zoals voorgesteld aan de tafel.

**Tabel 4 Aandeel marktsegmenten in TTW CO<sub>2</sub>-emissie per vervoerswijze**

| Marktsegment               | Aandeel voertuigkm / CO <sub>2</sub> | Aandeel voertuigen |
|----------------------------|--------------------------------------|--------------------|
| <b>Personenauto</b>        |                                      |                    |
| Zakelijk                   | 35%                                  | 15%                |
| Privé                      | 65%                                  | 85%                |
| <b>Vrachtauto/trekkers</b> |                                      |                    |
| Vrachtauto < 20t           | 49%                                  | 65%                |
| Vrachtauto > 20t           | 51%                                  | 35%                |
| <b>Bussen</b>              |                                      |                    |
| OV-stad                    | 30%                                  | 27%                |
| OV-streek                  | 30%                                  | 27%                |
| Touringcar                 | 41%                                  | 46%                |
| <b>Tweewielers</b>         |                                      |                    |
| Bromfietsen                | 53%                                  | 62%                |
| Motorfietsen               | 47%                                  | 38%                |

NB Voor vrachtauto's/trekkers zijn een paar aanpassingen gemaakt t.o.v. de referentieraming. Dit is verder uitgelegd in de laatste paragraaf.

## 2.1.2 Doorrekening van scenario's met maximale inzet van de PMC's

In dit hoofdstuk staan de aannames en resultaten van de doorrekeningen van de biedingen van de tafels. Het betreft per brandstofspoor de maximale omvang van de PMC's in 2030 en 2050. De aannames en resultaten daarvan staan in paragraaf 2.2 t/m 2.6). Ook is op basis hiervan doorgerekend hoeveel reductie er (in theorie) mogelijk is als alle PMC's hun maximale potentieel halen. De resultaten hiervan en de vergelijking daarvan met de effecten per brandstofspoor staan in paragraaf 2.7 t/m 2.10.

### 2.1.2.1 Aannames voor maximale inzet van de PMC's

Het aandeel van iedere PMC in de vloot is gebaseerd op inschattingen van de verschillende brandstofafzetten. Het kennisconsortium heeft hierbij wel een check uitgevoerd op het realiteitsgehalte o.b.v. een geschat aandeel in de nieuw verkochte voertuigen en de snelheid waarmee de vloot wordt vernieuwd. Dit laatste baseren we op een vergelijking van de aantallen verkochte voertuigen over de afgelopen jaren (zowel voor als na de crisis, om voor de effecten daarvan te corrigeren) en de omvang van de totale vloot.

**Tabel 5** geeft een overzicht van de aandelen per reductieoptie/technologie in de vloot van ieder marktsegment die we hebben aangenomen bij de doorrekening die is gemaakt voor de beantwoording van deze vraag. Voor de aannames hierachter verwijzen we naar de betreffende deelrapporten van de brandstofafzetten. De veronderstelling is dat biobrandstoffen worden toegepast via bijmenging. Andere manieren om biobrandstoffen in te zetten zijn echter ook mogelijk en leiden niet tot andere resultaten voor de TTW emissies.

De genoemde voertuigaantallen betreft inschattingen voor maximale aantallen welke haalbaar worden geacht in 2030 en 2050. Uiteraard zijn deze schattingen zeer onzeker. De tabel waterstof liet hierbij nog aantekenen dat bij een zeer sterke opkomst van waterstof de aantallen in 2050 mogelijk nog hoger zouden kunnen liggen dan dat ze hier hebben ingeschat.

**Tabel 5 Aandeel in de vloot per productmarktcombinatie in 2030**

| 2030                                   | PMC           | Personenauto-zakelijk | Personenauto-privé | Bestelauto       | Vrachtauto GVW <20 ton | Vrachtauto GVW >20 ton | Trekker-oplegger |
|----------------------------------------|---------------|-----------------------|--------------------|------------------|------------------------|------------------------|------------------|
| <b>Aantal voertuigen</b>               | <b>Totaal</b> | <b>1.400.000</b>      | <b>7.700.000</b>   | <b>960.000</b>   | <b>56.000</b>          | <b>25.000</b>          | <b>120.000</b>   |
|                                        | PHEV          | 700.000               | 770.000            | 96.000           | 0                      | 2.400                  | 4.400            |
|                                        | FEV           | 210.000               | 380.000            | 96.000           | 4.000                  | 0                      | 0                |
|                                        | Waterstof     | 180.000               | 25.000             | 5.000            | 2.000                  | 0                      | 5.000            |
|                                        | Gas           | 700.000               | 1.900.000          | 480.000          | 14.000                 | 6.200                  | 30.000           |
| <b>Praktijkverbruik conventioneel*</b> | Efficiency    | 107 g/km (-44 %)      |                    | 163 g/km (-33 %) | 780 g/km (-10 %)       |                        |                  |
| <b>Testverbruik nieuwe auto's</b>      | Efficiency    | 65 g/km               |                    | 105 g/km         | 30 % zuiniger          |                        |                  |
| <b>Energie in PJ</b>                   | Biogas        | 9                     |                    | 3                | 1                      | 2                      |                  |
|                                        | Bio vloeibaar | 29                    |                    | 9                | 5                      | 12                     |                  |

NB: Aantallen zijn gegeven in 2 significante cijfers en kunnen daarmee afgerond zijn in vergelijking met eerdere memo's / presentaties.

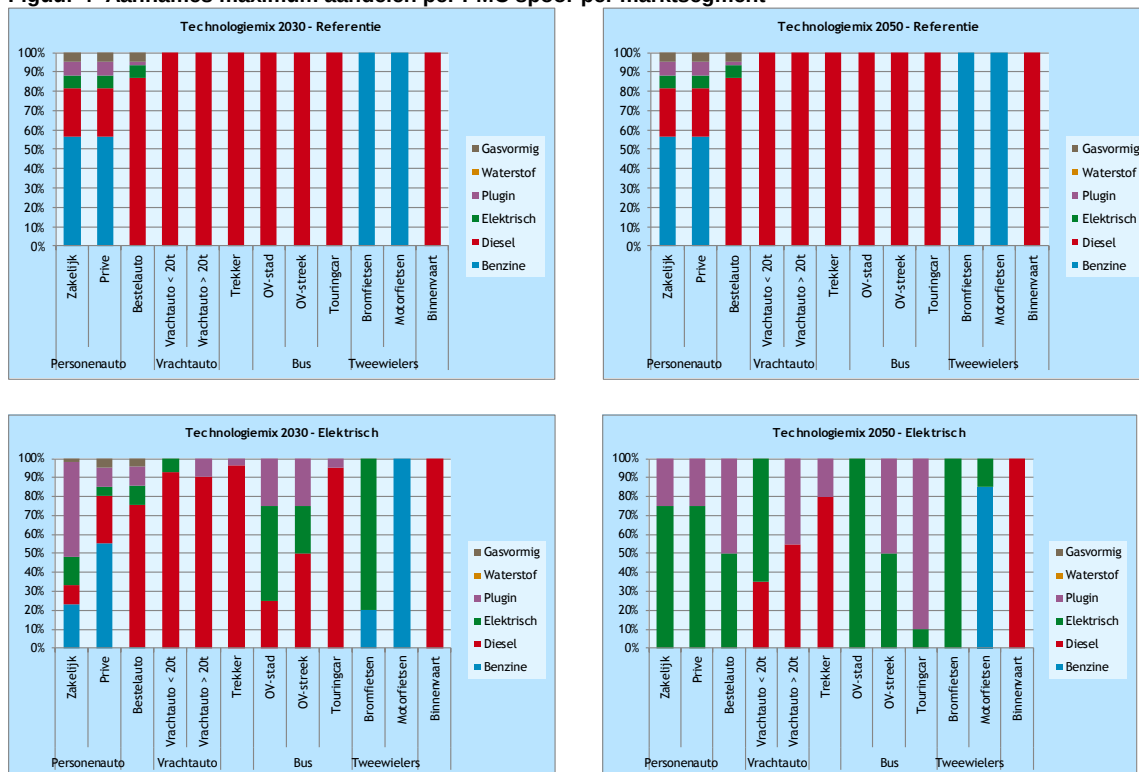
\*Voor personenauto is het praktijkverbruik van de benzineauto weergegeven, voor de andere voertuigen van de diesel

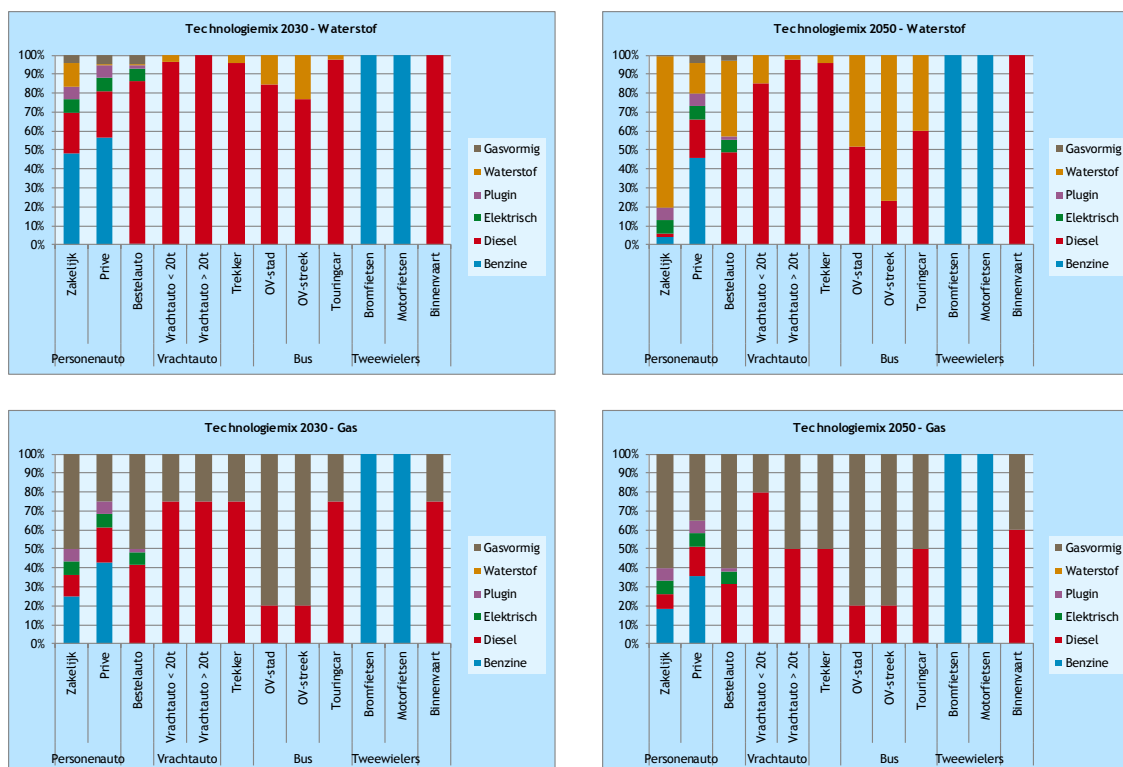
Tabel 6 Aandeel in de vloot per productmarktcombinatie in 2050

| 2050                           | PMC           | Personenauto-zakelijk | Personenauto-privé | Bestelauto | Vrachtauto GVV <20 ton | Vrachtauto GVV >20 ton | Trekker-oplegger |
|--------------------------------|---------------|-----------------------|--------------------|------------|------------------------|------------------------|------------------|
| Aantal voertuigen              | Totaal        | 1.500.000             | 8.000.000          | 1.100.000  | 60.000                 | 22.000                 | 160.000          |
|                                | PHEV          | 360.000               | 2.000.000          | 550.000    | 0                      | 10.000                 | 32.000           |
|                                | FEV           | 1.100.000             | 6.000.000          | 550.000    | 39.000                 | 0                      | 0                |
|                                | Waterstof     | 1.200.000             | 1.300.000          | 440.000    | 9.100                  | 500                    | 6.900            |
|                                | Gas           | 870.000               | 2.800.000          | 670.000    | 12.000                 | 11.000                 | 78.000           |
| Praktijkverbruik conventioneel | Efficiency    | 66 g/km               |                    | 116 g/km   | 520 g/km               |                        |                  |
| Efficiency                     |               | -66 %                 |                    | -52 %      | -40 %                  |                        |                  |
| Energie in PJ                  | Biogas        | 16                    |                    | 7          | 2                      |                        | 9                |
|                                | Bio vloeibaar | 55                    |                    | 20         | 10                     |                        | 32               |

De volledige set aannames voor de technologiemix per spoor is weergegeven in **Figuur 4**.

Figuur 4 Aannames maximum aandelen per PMC spoor per marktsegment





### 2.1.2.2 Aannames voor CO<sub>2</sub>-effect per voertuig per PMC

Het CO<sub>2</sub> effect per voertuig verschilt per PMC. Het TTW-effect van elektrisch rijden en rijden op waterstof is de volledige reductie van de emissies van conventionele voertuigen die worden vervangen. Voor de plug-in (PHEVs) is verondersteld is dat het aandeel elektrisch gereden kilometers in 2020 30% bedraagt en dat dit oploopt naar 50% in 2030 en 65% in 2050. De TTW CO<sub>2</sub>-reductie van rijden op gas verschilt per vervoerswijze, en ligt tussen de 15% en 25%. De CO<sub>2</sub> uitstoot is bij de verbranding van gas lager, maar voor personenauto's en bestelauto's geldt dat rijden op gas iets minder efficiënt is.

Een verbetering van de energie-efficiency is voor conventionele voertuigen volledig door te vertalen naar een reductie van de CO<sub>2</sub> uitstoot. Voor elektrische voertuigen en voertuigen op waterstof is er geen effect op de TTW- CO<sub>2</sub> uitstoot, maar zal een verbetering van de efficiency wel leiden tot een lagere WTW CO<sub>2</sub> uitstoot.

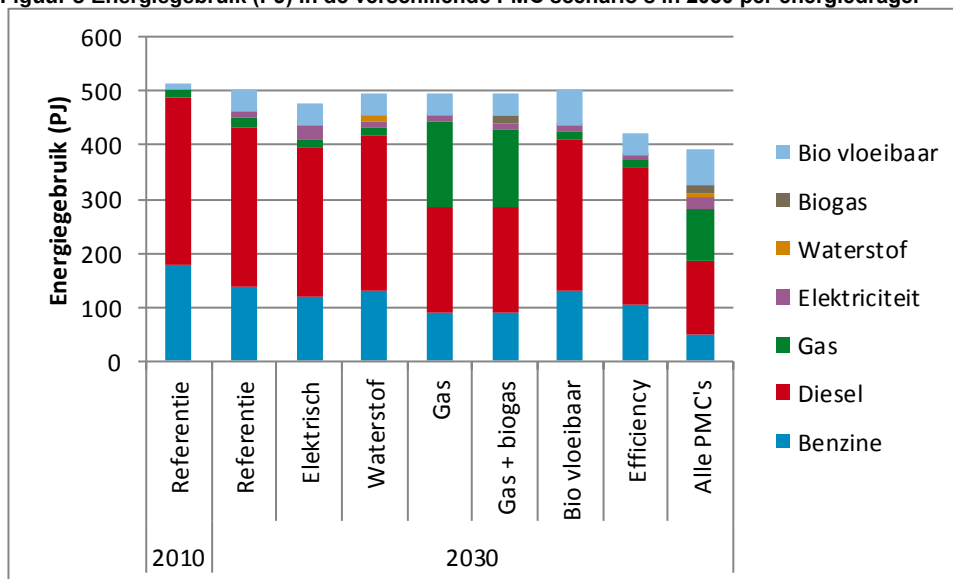
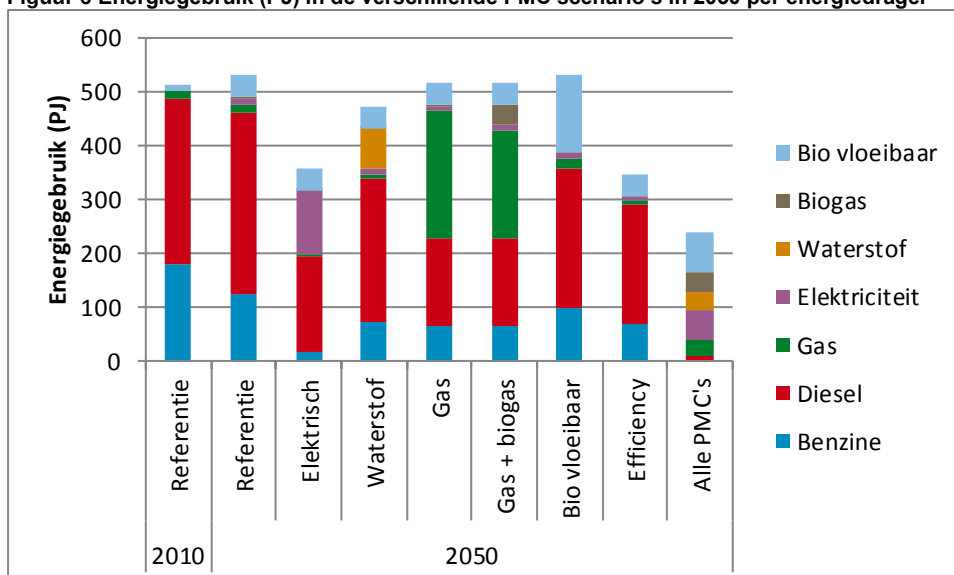
Het effect van bijmenging van biobrandstoffen is de volledige reductie van de emissies van conventionele brandstoffen die worden vervangen. Conform de IPCC richtlijnen wordt de CO<sub>2</sub> uitstoot van biobrandstoffen als nul meegerekend in de TTW emissies.

### 2.1.2.3 2.4 Resultaten: energiegebruik per PMC

Met de combinatie van marktsegmenten, onderverdeling van de segmenten naar PMC's en aandelen van de PMC's per segment kunnen de effecten van de scenario's worden doorgerekend.

**Figuur 5 en**

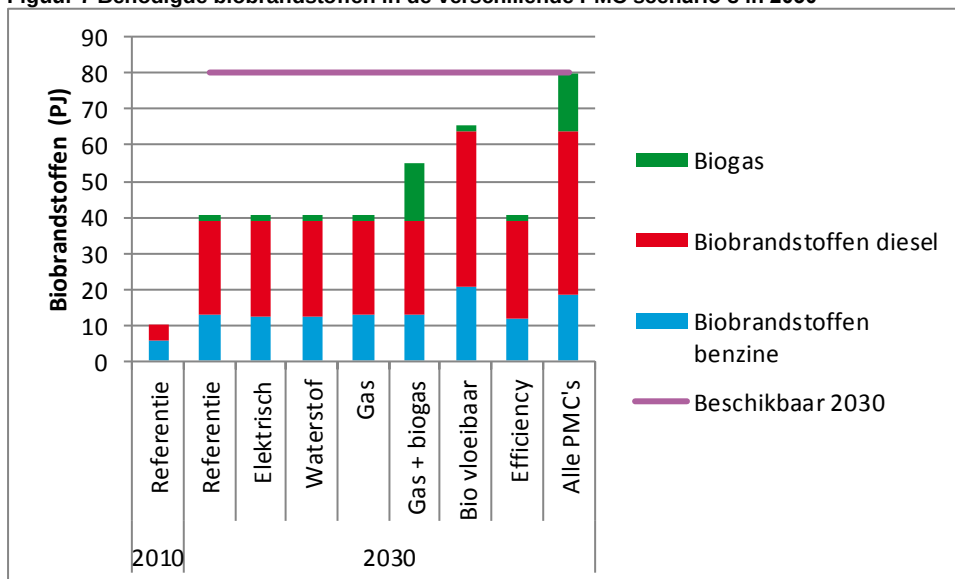
**Figuur 6** laten het TTW energiegebruik in de referentie zien en in de verschillende scenario's in 2030 en 2050 in PJ's van de gebruikte brandstoffen.

**Figuur 5 Energiegebruik (PJ) in de verschillende PMC scenario's in 2030 per energiedrager****Figuur 6 Energiegebruik (PJ) in de verschillende PMC scenario's in 2050 per energiedrager**

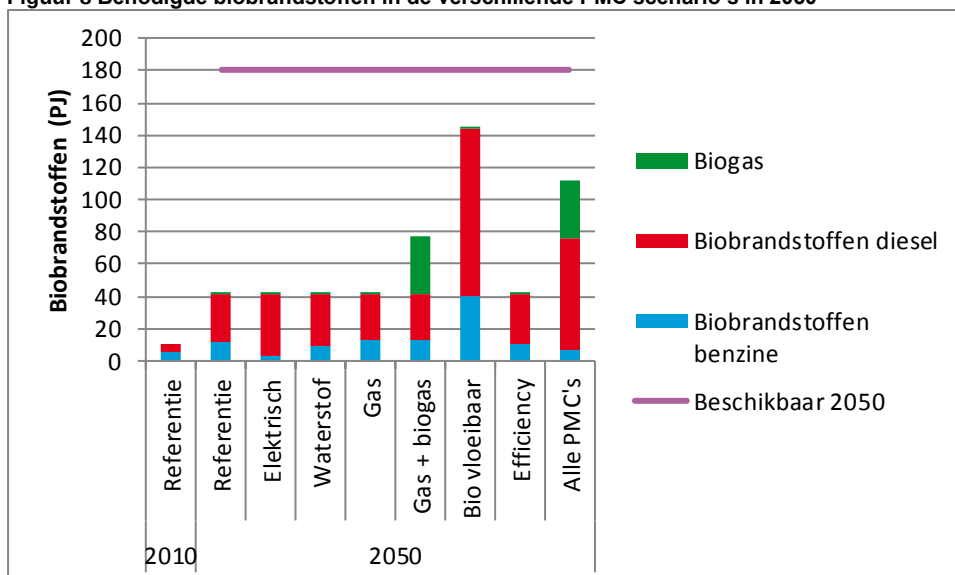
#### 2.1.2.4 2.5 Resultaten: inzet van biobrandstoffen per PMC

**Figuur 7** laat de hoeveelheid benodigde biobrandstoffen zien in 2030. De maximale beschikbaarheid van biobrandstoffen in 2030 is onzeker en varieert tussen de 5 en 80 PJ, waarbij bij de hoge inschatting ook nog heel veel eerste generatie biobrandstoffen worden meegenomen. We hanteren hier een bovengrens in 2030 van 80 PJ (waarvan 16 PJ gas en de rest vloeibaar) en in 2050 van 180 PJ (waarvan 36 PJ gas) .

Figuur 7 Benodigde biobrandstoffen in de verschillende PMC scenario's in 2030



Figuur 8 Benodigde biobrandstoffen in de verschillende PMC scenario's in 2050



### 2.1.2.5 Resultaten: TTW broeikasgasemissies per PMC

**Tabel 7** geeft de CO<sub>2</sub>-reductie die gehaald wordt per PMC weer, uitgedrukt in een percentage van de totale TTW CO<sub>2</sub>-uitstoot in 2010.

**Tabel 8** laat dit zien voor 2050.

**Tabel 7 TTW CO<sub>2</sub>-reductie per PMC (in procentpunten 2010) in 2030**

| Vervoerswijze          | Elektrisch* | Waterstof  | Gas        | Gas + biogas | Bio vloeibaar | Efficiency* |
|------------------------|-------------|------------|------------|--------------|---------------|-------------|
| Personenauto           | 4,7%        | 2,1%       | 2,0%       | 3,3%         | 2,2%          | 10,4%       |
| Bestelauto             | 1,1%        | 0,1%       | 1,1%       | 1,6%         | 0,7%          | 2,9%        |
| Vrachtauto             | 0,3%        | 0,1%       | 0,4%       | 0,5%         | 0,4%          | 0,3%        |
| Trekker                | 0,2%        | 0,7%       | 1,2%       | 1,5%         | 0,9%          | 1,2%        |
| Bus                    | 0,5%        | 0,2%       | 0,8%       | 0,9%         | 0,1%          | 0,2%        |
| Spec voertuigen        | 0,2%        | 0,0%       | 0,7%       | 0,7%         | 0,2%          | 0,1%        |
| Mob werktuigen         | 0,4%        | 0,0%       | 0,4%       | 0,5%         | 0,4%          | 0,1%        |
| Tweewielers            | 0,6%        | 0,0%       | 0,1%       | 0,1%         | 0,1%          | 0,0%        |
| Binnenvaart vracht     | 0,0%        | 0,0%       | 0,1%       | 0,1%         | 0,0%          | 0,0%        |
| Binnenvaart personen   | 0,0%        | 0,0%       | 0,0%       | 0,0%         | 0,0%          | 0,0%        |
| Recreatie              | 0,0%        | 0,0%       | 0,0%       | 0,0%         | 0,0%          | 0,0%        |
| Rail vracht            | 0,1%        | 0,0%       | 0,0%       | 0,0%         | 0,0%          | 0,0%        |
| Rail personen          | 0,0%        | 0,0%       | 0,0%       | 0,0%         | 0,0%          | 0,0%        |
| <b>Totaal scenario</b> | <b>8%</b>   | <b>3%</b>  | <b>7%</b>  | <b>9%</b>    | <b>5%</b>     | <b>15%</b>  |
| Totaal (autonoom)      | 11%         | 11%        | 11%        | 11%          | 11%           | 11%         |
| <b>TOTAAL</b>          | <b>19%</b>  | <b>14%</b> | <b>17%</b> | <b>20%</b>   | <b>16%</b>    | <b>26%</b>  |
| TOTAAL (kton)          | 6.931       | 5.126      | 6.446      | 7.312        | 5.737         | 9.569       |

\* Extra reductie bovenop wat al in de referentie is meegenomen: 8% door ingroei elektrisch en 17% door efficiencyverbetering, zie Tabel 2.

**Tabel 8 TTW CO<sub>2</sub>-reductie per PMC (in procentpunten 2010) in 2050**

| Vervoerswijze          | Elektrisch* | Waterstof  | Gas        | Gas + biogas | Bio vloeibaar | Efficiency* |
|------------------------|-------------|------------|------------|--------------|---------------|-------------|
| Personenauto           | 32,4%       | 16,0%      | 2,6%       | 5,1%         | 7,8%          | 17,6%       |
| Bestelauto             | 10,5%       | 5,7%       | 1,7%       | 2,7%         | 2,8%          | 5,6%        |
| Vrachtauto             | 3,1%        | 0,8%       | 0,7%       | 0,9%         | 1,4%          | 2,4%        |
| Trekker                | 3,3%        | 1,5%       | 2,6%       | 3,8%         | 4,6%          | 8,2%        |
| Bus                    | 1,4%        | 0,9%       | 0,9%       | 0,9%         | 0,4%          | 0,7%        |
| Spec voertuigen        | 0,9%        | 0,1%       | 1,9%       | 1,9%         | 1,0%          | 0,2%        |
| Mob werktuigen         | 1,9%        | 0,3%       | 0,7%       | 1,2%         | 1,9%          | 0,4%        |
| Tweewielers            | 1,2%        | 0,1%       | 0,2%       | 0,2%         | 0,4%          | 0,1%        |
| Binnenvaart vracht     | 0,0%        | 0,0%       | 0,2%       | 0,2%         | 0,0%          | 0,0%        |
| Binnenvaart personen   | 0,0%        | 0,0%       | 0,0%       | 0,0%         | 0,0%          | 0,0%        |
| Recreatie              | 0,0%        | 0,0%       | 0,0%       | 0,0%         | 0,0%          | 0,0%        |
| Rail vracht            | 0,2%        | 0,0%       | 0,0%       | 0,0%         | 0,0%          | 0,0%        |
| Rail personen          | 0,1%        | 0,0%       | 0,0%       | 0,0%         | 0,0%          | 0,0%        |
| <b>Totaal scenario</b> | <b>55%</b>  | <b>25%</b> | <b>11%</b> | <b>17%</b>   | <b>20%</b>    | <b>35%</b>  |
| Totaal (autonoom)      | 5,3%        | 5,3%       | 5,3%       | 5,3%         | 5,3%          | 5,3%        |
| <b>TOTAAL</b>          | <b>60%</b>  | <b>31%</b> | <b>17%</b> | <b>22%</b>   | <b>26%</b>    | <b>40%</b>  |
| TOTAAL (kton)          | 22.284      | 11.326     | 6.199      | 8.241        | 9.506         | 14.970      |

\* Extra reductie bovenop wat al in de referentie is meegenomen: 10% door ingroei elektrisch en 25% door efficiencyverbetering, zie Tabel 2.

#### 2.1.2.6 Resultaten: energiemix en TTW broeikasgasemissies bij maximale inzet alle PMC's samen

Uit het bovenstaande blijkt dat met de verschillende sporen van product marktcombinaties significante reducties mogelijk zijn op de TTW CO<sub>2</sub> uitstoot in 2030 en 2050. Maar wat is nu de maximaal mogelijke reductie wanneer een combinatie wordt gemaakt van de maximaal mogelijke product

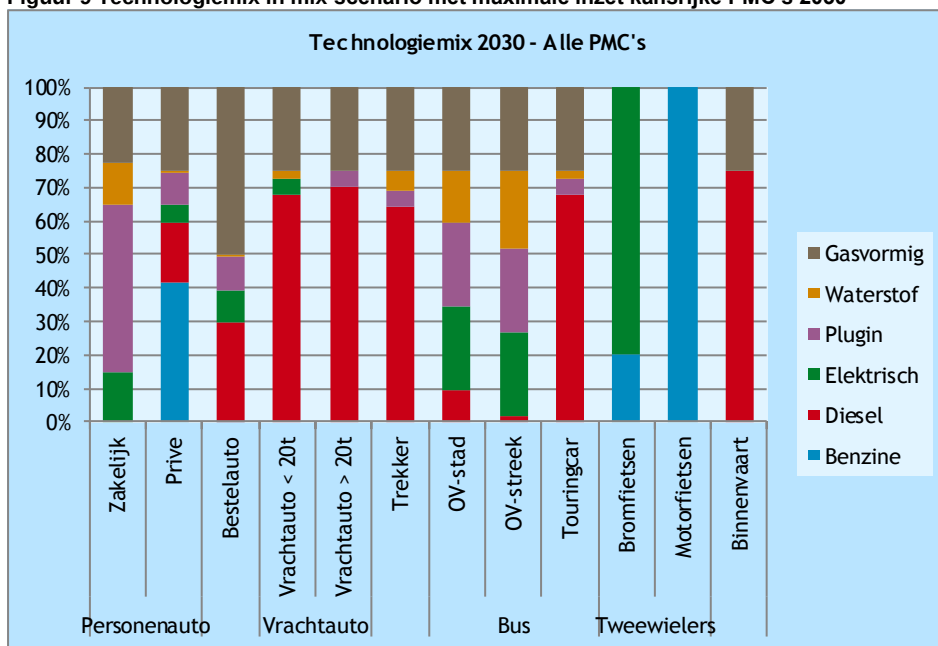
marktcombinaties? In het mix scenario zijn alle PMC's uit Tabel 5 maximaal geïmplementeerd, met de volgende uitzonderingen (aangezien in deze gevallen anders de som van de PMC's tot boven de 100% op zou uitkomen):

- Het aandeel personenauto zakelijk – gasvormig is niet 50% maar 25%
- Het aandeel stadsbus – volledig elektrisch is niet 50% maar 25%
- Het aandeel stadsbus en streekbus – gasvormig is niet 80% maar 25%
- De bijmengpercentages van biobrandstoffen zijn niet 12,5% maar 17,5% vanwege hogere efficiency en minder energiegebruik fossiel (totale inzet van biomassa is hiermee even hoog als in de PMC bijmenging biomassa, ca. 60 PJ).

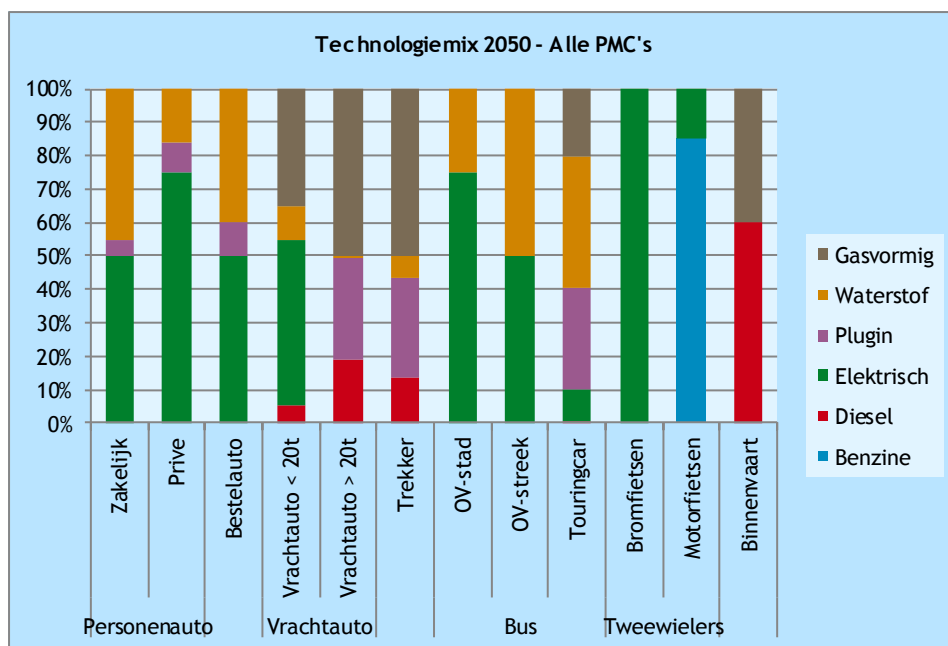
De technologiemix in het mix scenario (aantallen voertuigen) met maximale inzet van kansrijke product marktcombinaties is gevisualiseerd in

Figuur 9 en Figuur 10.

Figuur 9 Technologiemix in mix-scenario met maximale inzet kansrijke PMC's 2030

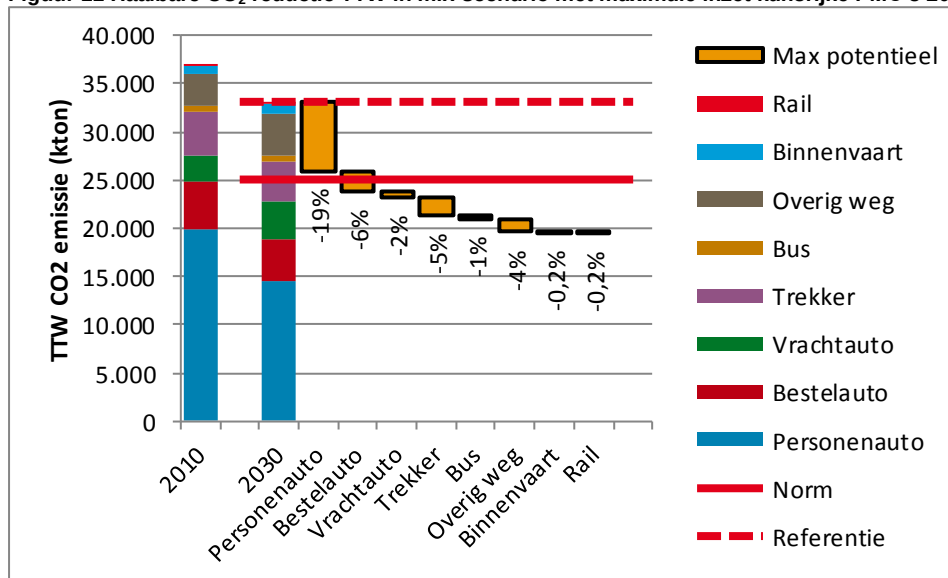


Figuur 10 Technologiemix in mix-scenario met maximale inzet kansrijke PMC's 2050

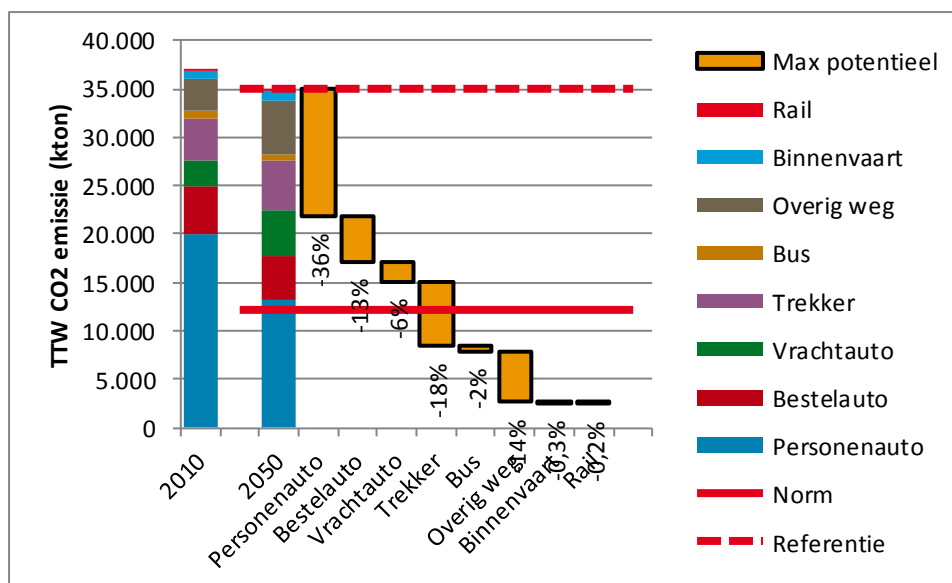


Deze maximale inzet van kansrijke PMC's leidt in 2020 tot ongeveer ruim 5 PJ energiebesparing. Dit is additioneel aan de energiebesparing in de referentie, waarbij de volumegroei wordt gecompenseerd en ook nog ongeveer 15 PJ bespaard wordt. De energiebesparing bij maximale inzet van kansrijke PMC's komt voornamelijk door de inzet van meer energie efficiënte voertuigen, in vergelijking tot diesels. In het SER energieakkoord is sprake van een doelstelling voor de energiebesparing van 15 à 20 PJ ten opzichte van de verwachte trendontwikkeling in 2020. Met een maximale combinatie van alle kansrijke PMC's zijn de CO<sub>2</sub>-doelen voor 2030 en 2050 ruim haalbaar. Dit is te zien in **Figuur 11**, waarin de haalbare CO<sub>2</sub> reductie is weergegeven in het mix-scenario per vervoerswijze. Hierin is te zien dat de ontwikkeling bij personenauto's, bestelauto's en vrachtauto's cruciaal is. De reductie van TTW CO<sub>2</sub> uitstoot in 2030 is in het referentiep pad 10% ten opzichte van 2010. Hierbij wordt 8% reductie gehaald door het aandeel elektrisch dat in de referentie in de vloot is ingestroomd (zie **Tabel 2**). De percentages in **Figuur 11** geven de reductie aan uitgedrukt in de CO<sub>2</sub> uitstoot in 2010.

**Figuur 11 Haalbare CO<sub>2</sub> reductie TTW in mix-scenario met maximale inzet kansrijke PMC's 2030**



**Figuur 12 Haalbare CO<sub>2</sub> reductie TTW in mix-scenario met maximale inzet kansrijke PMC's 2050**



De volledige uitsplitsing van CO<sub>2</sub> reducties per vervoerswijze voor 2020, 2030 en 2050 wordt weergegeven in Tabel 9.

De inschatting voor 2050 is een zeer indicatieve, hoge inschatting, welke een forse doorbraak voor alle PMC's vereisen (o.a. voertuigtechniek, kosten, infrastructuur, beleid).

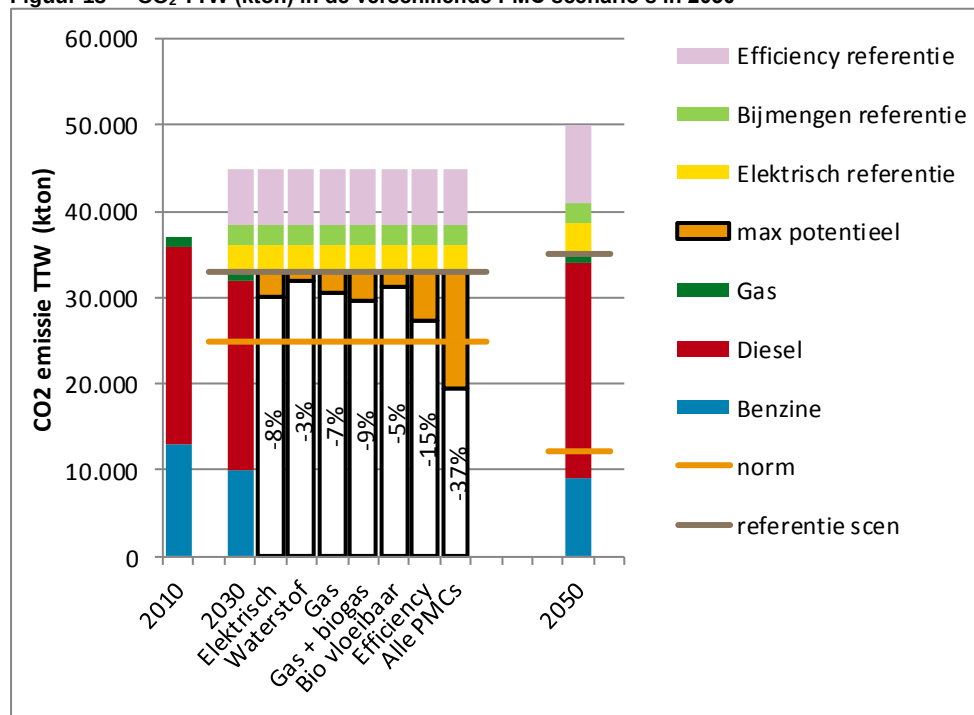
**Tabel 9 TTW CO2-reductie in mix scenario per vervoerswijze (%punt van 2010)**

| Vervoerswijze                        | 2020         | 2030          | 2050          |
|--------------------------------------|--------------|---------------|---------------|
| Personenauto                         | 2,5%         | 19,4%         | 36%           |
| Bestelauto                           | 0,7%         | 5,5%          | 13%           |
| Vrachtauto                           | 0,3%         | 1,8%          | 6%            |
| Trekker                              | 0,9%         | 4,8%          | 18%           |
| Bus                                  | 0,3%         | 1,1%          | 1,6%          |
| Speciale voertuigen                  | 0,2%         | 1,2%          | 4,5%          |
| Mobiele werktuigen                   | 0,2%         | 1,8%          | 7,6%          |
| Tweewielers                          | 0,2%         | 0,7%          | 1,9%          |
| Binnenvaart vracht                   | 0,0%         | 0,1%          | 0,2%          |
| Binnenvaart personen                 | 0,0%         | 0,0%          | 0,0%          |
| Recreatie                            | 0,0%         | 0,0%          | 0,1%          |
| Rail vracht                          | 0,0%         | 0,1%          | 0,2%          |
| Rail personen                        | 0,0%         | 0,0%          | 0,1%          |
| <b>Totaal</b>                        | <b>5,4%</b>  | <b>36,7%</b>  | <b>88%</b>    |
| Autonome reductie referentiep道       | 10%          | 11%           | 5%            |
| <b>Totaal CO2 reductie</b>           | <b>15%</b>   | <b>47%</b>    | <b>93%</b>    |
| <b>Totaal CO2 reductie (in kton)</b> | <b>5.668</b> | <b>17.486</b> | <b>34.555</b> |

#### 2.1.2.7 Resultaten: vergelijking van TTW broeikasgasemissies per PMC en bij maximale inzet van alle PMC's samen

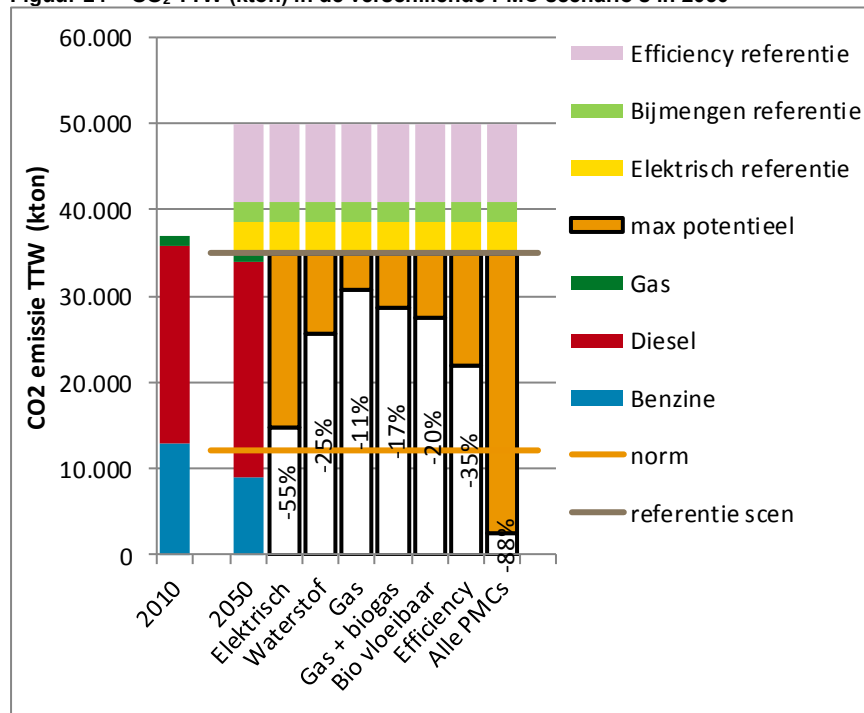
De resultaten van de berekeningen kunnen ook in figuren worden weergegeven. De CO<sub>2</sub>-ontwikkeling van alle verkeer (excl. zee- en luchtvaart) in het referentiep pad (2010 en 2030) en in de verschillende scenario's in 2030 is zoals weergegeven in

**Figuur 13.** Conform de doelstelling van 25 Mton moet in 2030 ongeveer 32% gereduceerd zijn t.o.v. 2010. Dit wordt in geen van de scenario's gehaald. Dit betekent dat er meerdere brandstofsporen nodig zijn om deze doelstelling te halen. In het scenario waarin alle PMCs maximaal worden ingezet, wordt de doelstelling ruimschoots gehaald.

**Figuur 13 CO<sub>2</sub> TTW (kton) in de verschillende PMC scenario's in 2030**

In de figuur zijn ook de effecten van efficiencyverbetering, bijmengen en elektrificatie van verkeer in de referentie te zien. Het effect van extra elektrisch is ongeveer vergelijkbaar met wat in de referentie gehaald wordt. Dit geldt ook voor de extra efficiencyverbetering.

Figuur 14 laat de TTW CO<sub>2</sub> emissies zien voor 2050. Hier overheerst hetzelfde beeld, al kan met maximale inzet van elektrische voertuigen nu een groot deel van de doelstelling worden bereikt. Opnieuw wordt met een maximale inzet van alle PMC's de doelstelling ruimschoots behaald.

**Figuur 14 CO<sub>2</sub> TTW (kton) in de verschillende PMC scenario's in 2050**

### 2.1.2.8 Resultaten: WTW broeikasgasemissies per PMC en bij maximale inzet van alle PMC's samen

De WTW broeikasgasemissies verschillen ook per PMC scenario en hangen daarnaast af van de WTT CO<sub>2</sub> emissie per brandstofdrager. Hier kan een bandbreedte in zitten, vanwege de verschillende routes die mogelijk zijn bij de productie van brandstoffen. Met name voor biobrandstoffen en elektriciteitsopwekking is de bandbreedte groot.

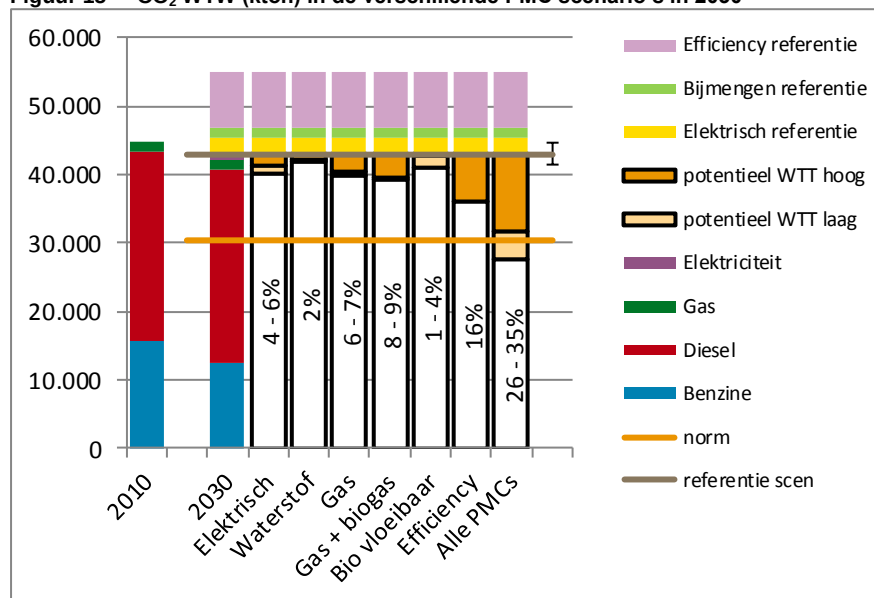
De WTT emissies zijn gebaseerd op aannames ten aanzien van de brandstofroutes voor de brandstoffen in de verschillende zichtjaren. De bandbreedte voor de CO<sub>2</sub> emissie per MJ is weergegeven in **Tabel 10**.

**Tabel 10 Aannames bandbreedte TTW emissies per brandstof in 2030-2050 (g CO<sub>2</sub>/MJ)**

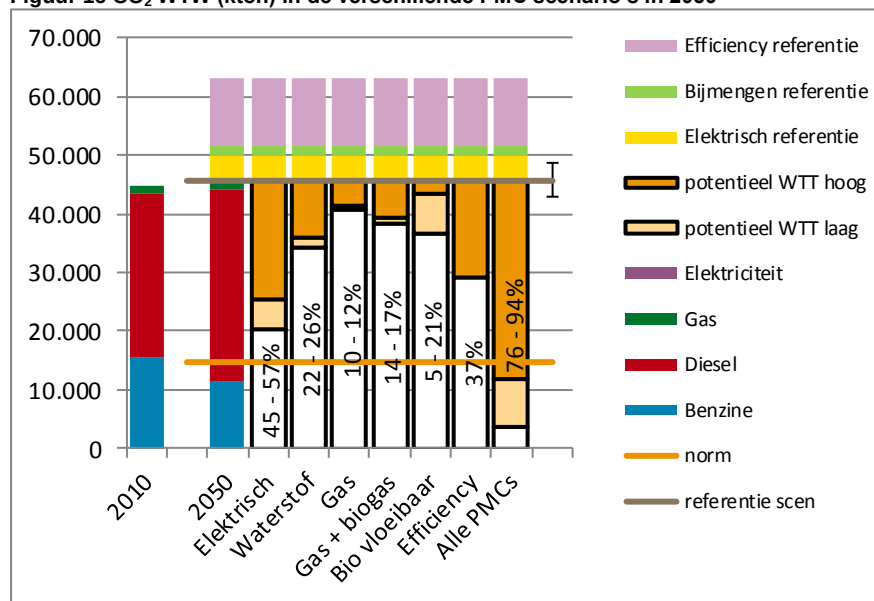
| Brandstof     | 2030     | 2050     |
|---------------|----------|----------|
| Benzine       | 13 - 17  | 14 - 21  |
| Diesel        | 15 - 19  | 16 - 23  |
| LPG           | 8 - 9    | 9 - 11   |
| CNG           | 14 - 17  | 16 - 18  |
| LNG           | 20 - 23  | 22 - 28  |
| Elektriciteit | 69 - 110 | 2 - 46   |
| Waterstof     | 42 - 63  | 2 - 25   |
| Biobenzine    | 21 - 46  | 21 - 46  |
| Biodiesel     | 40 - 65  | 8 - 65   |
| CBG           | -31 - 1  | -24 - 1  |
| LBG           | -26 - 6  | -19 - 6  |
| BLPG          | 86 - 104 | 59 - 104 |

**Figuur 15** laat de Well-to-Wheel CO<sub>2</sub>-reductie in 2030 zien bij maximale inzet van kansrijke PMC's. De bandbreedte vanwege lage of hoge WTT emissies is hierin ook weergegeven. De figuur laat grotendeels hetzelfde beeld zien als bij de TTW emissies. Hier wordt de doelstelling bij toepassing van alle PMC's gehaald, zij het maar net in het uiterste van de bandbreedte. De WTW emissies voor het elektrische segment vallen relatief minder gunstig uit.

**Figuur 15 CO<sub>2</sub> WTW (kton) in de verschillende PMC scenario's in 2030**



De CO<sub>2</sub>-reductie van WTW emissies in 2050, zoals weergegeven in **Figuur 16**:

**Figuur 16 CO<sub>2</sub> WTW (kton) in de verschillende PMC scenario's in 2050**

De WTW CO<sub>2</sub> reducties staan opgesplitst naar vervoerswijze weergegeven in Tabel 11.

**Tabel 11 WTW CO<sub>2</sub>-reductie bij maximale inzet van alle PMC's per vervoerswijze (%punt van 2010)**

| Vervoerswijze                                       | 2020         | 2030          | 2050          |
|-----------------------------------------------------|--------------|---------------|---------------|
| Personenauto                                        | 0,7%         | 15,3%         | 34%           |
| Bestelauto                                          | 0,4%         | 4,7%          | 12%           |
| Vrachtauto                                          | 0,0%         | 0,8%          | 5%            |
| Trekker                                             | 0,3%         | 2,4%          | 15%           |
| Bus                                                 | 0,1%         | 0,7%          | 1,5%          |
| Speciale voertuigen                                 | 0,2%         | 0,8%          | 3,0%          |
| Mobiele werktuigen                                  | -0,1%        | 0,3%          | 3,8%          |
| Tweewielers                                         | 0,1%         | 0,4%          | 1,4%          |
| Binnenvaart vracht                                  | 0,0%         | 0,0%          | 0,1%          |
| Binnenvaart personen                                | 0,0%         | 0,0%          | 0,0%          |
| Recreatie                                           | 0,0%         | 0,0%          | 0,0%          |
| Rail vracht                                         | 0,0%         | 0,1%          | 0,1%          |
| Rail personen                                       | 0,0%         | 0,0%          | 0,1%          |
| <b>Totaal</b>                                       | <b>1,8%</b>  | <b>25,6%</b>  | <b>76%</b>    |
| Autonome reductie referentiep道                      | 3%           | 4%            | -2%           |
| <b>Totaal WTW CO<sub>2</sub> reductie</b>           | <b>5%</b>    | <b>29%</b>    | <b>73%</b>    |
| <b>Totaal WTW CO<sub>2</sub> reductie (in kton)</b> | <b>2.063</b> | <b>13.153</b> | <b>32.787</b> |

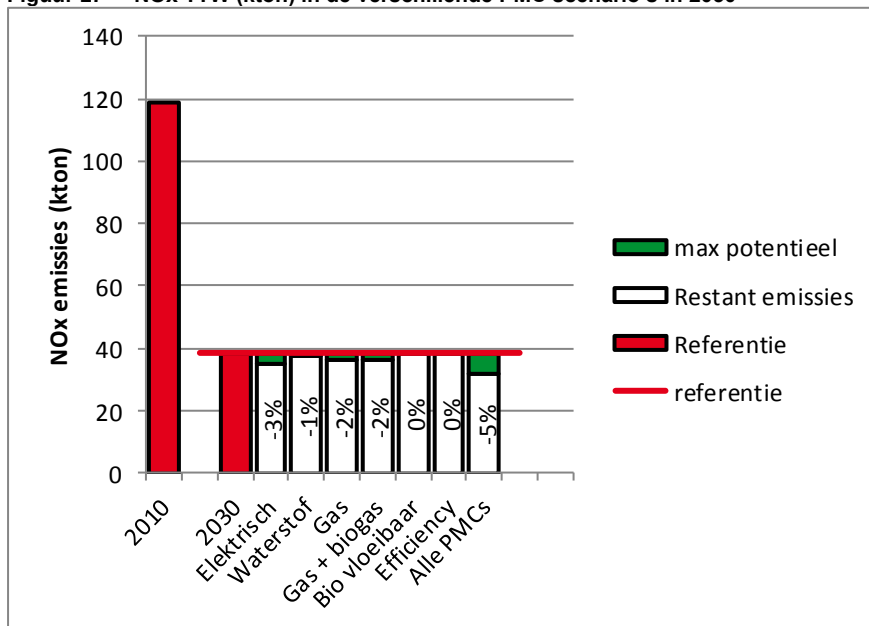
#### 2.1.2.9 Resultaten: luchtvervuilende emissies per PMC en bij maximale inzet van alle PMC's samen

Figuur 17 en

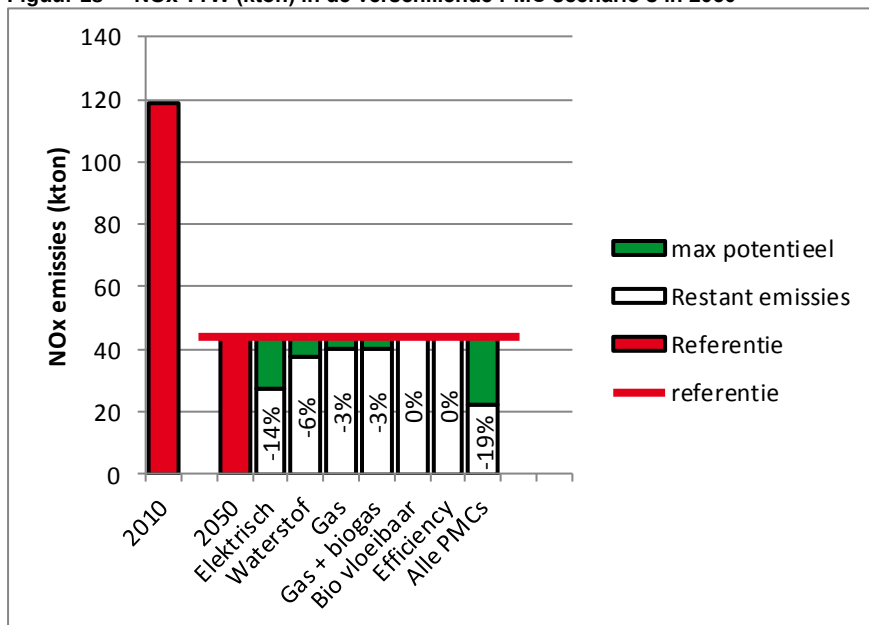
Figuur 18 laten de NO<sub>x</sub> reductie zien in het referentiep道 (2010, 2030 en 2050) en in de verschillende scenario's. De uitstoot van luchtvervuilende stoffen gaat flink omlaag in de referentie. De verschillende scenario's hebben hier relatief weinig invloed op. In 2050 zijn de verschillen tussen de scenario's groter. Vooral de inzet van elektrische voertuigen en voertuigen op waterstof hebben een

groot effect op de luchtvervuilende emissies, daar deze voertuigen geen schadelijke stoffen uitstoten tijdens het rijden.

**Figuur 17 NOx TTW (kton) in de verschillende PMC scenario's in 2030**



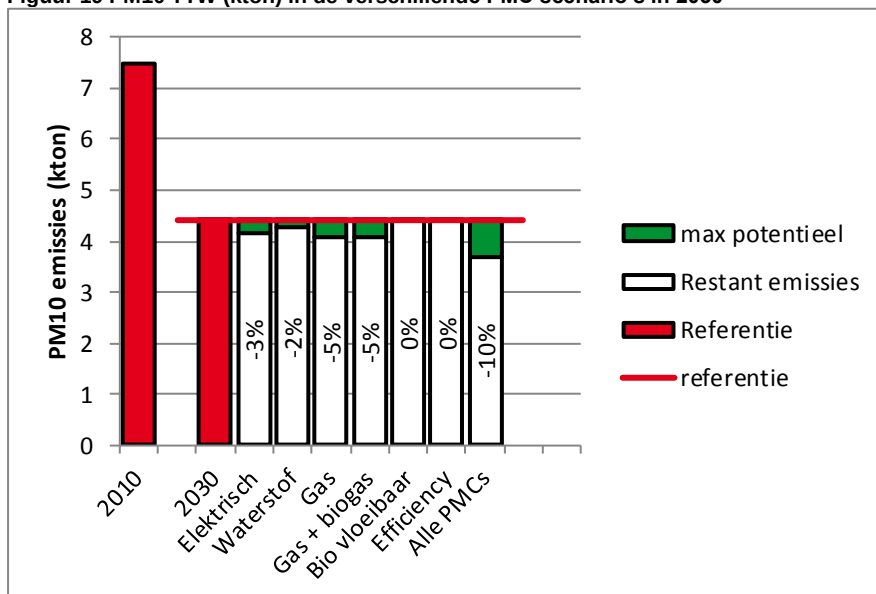
**Figuur 18 NOx TTW (kton) in de verschillende PMC scenario's in 2050**



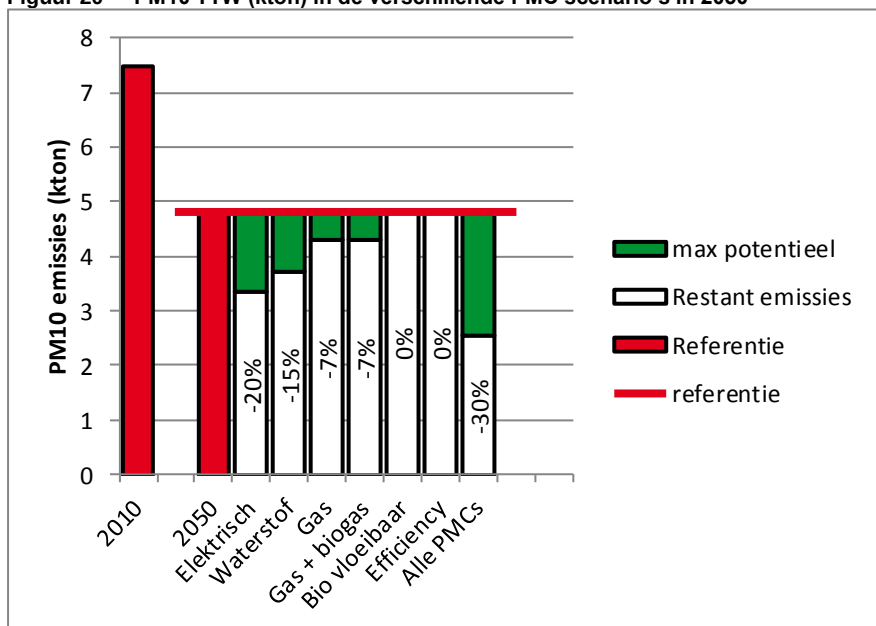
**Figuur 19** en

**Figuur 20** laten de PM10 reducties zien bij maximale inzet van de verschillende PMC's. Het beeld is vergelijkbaar en de effecten iets groter.

Figuur 19 PM10 TTW (kton) in de verschillende PMC scenario's in 2030



Figuur 20 PM10 TTW (kton) in de verschillende PMC scenario's in 2050



### 2.1.3 Visiescenario's

De “Visie-scenario's” sluiten aan bij de concept brandstofvisie. Ze gaan er vanuit dat Nederland inzet op een overgang naar elektrische aandrijving in het wegvervoer, met duurzame biobrandstoffen en (bio)gas als terugvaloptie en oplossing voor zwaar wegvervoer, en met maximale inzet op efficiencyverbeteringen.

Er zijn twee visie-scenario's gedefinieerd: die beide laten zien hoever je komt met maximale inzet op elektrificering en hoeveel er nodig is vanuit de andere sporen:

1. Visiescenario 1: als maximaal potentieel elektrisch wordt gehaald (paragraaf 3.2).
2. Visiescenario 1: als maar 33% hiervan wordt gehaald (paragraaf 3.3).

De scenario's verschillen dus van elkaar in de mate waarin de doorbraak van elektrisch gaat voldoen aan de nu geformuleerde maximale verwachtingen.

#### 2.1.3.1 Doorrekening Visiescenario 1

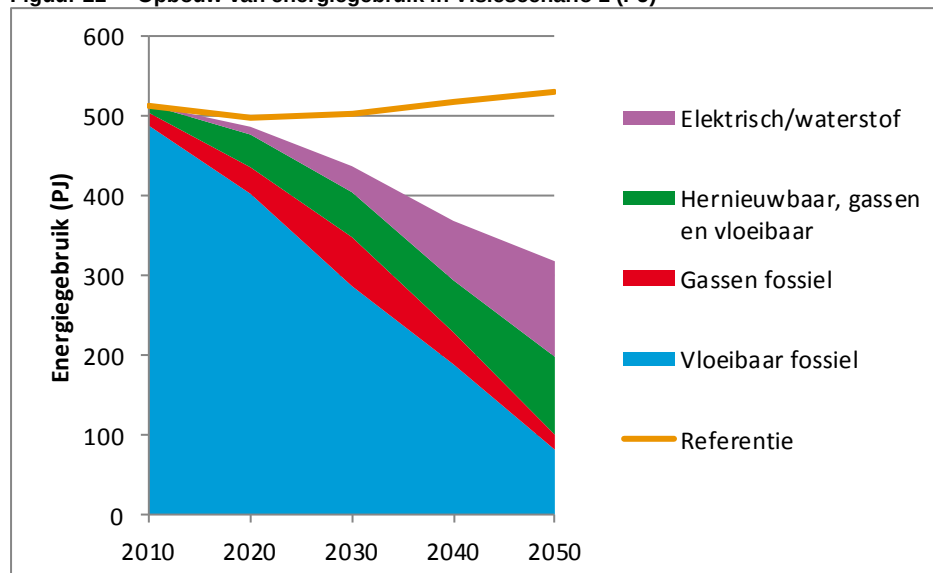
##### Aannames Visiescenario 1

Visie-scenario 1 laat zien in hoeverre de doelstellingen worden gehaald als de biedingen voor elektrificering maximaal gehaald worden en welke bijdrage van andere biedingen nog nodig zijn. De percentages voor de kansrijke PMC's zijn overgenomen vanuit 100% biedingen voor Elektrisch en Waterstof tafels (dus vanuit de aparte sporen).

Dit haalt de opgave in 2030 niet: daarom is de rest van de opgave ingevuld met de biedingen vanuit de andere tafels (~40% van max bieding), naar rato. Dus: de resterende opgave in 2030 is proportioneel verdeeld tussen Gas, Biobrandstoffen en Efficiency.

In 2050 wordt doelstelling met alleen elektrificering en waterstof gehaald. **Figuur 21** laat zien hoe de verdeling van het energiegebruik zich ontwikkelt in dit visiescenario.

**Figuur 21 Opbouw van energiegebruik in Visiescenario 1 (PJ)**



##### Resultaten Visiescenario 1 voor 2030

De aannames in Visie-scenario 1 leiden tot de aantallen voertuigen zoals weergegeven in

**Tabel 12.**

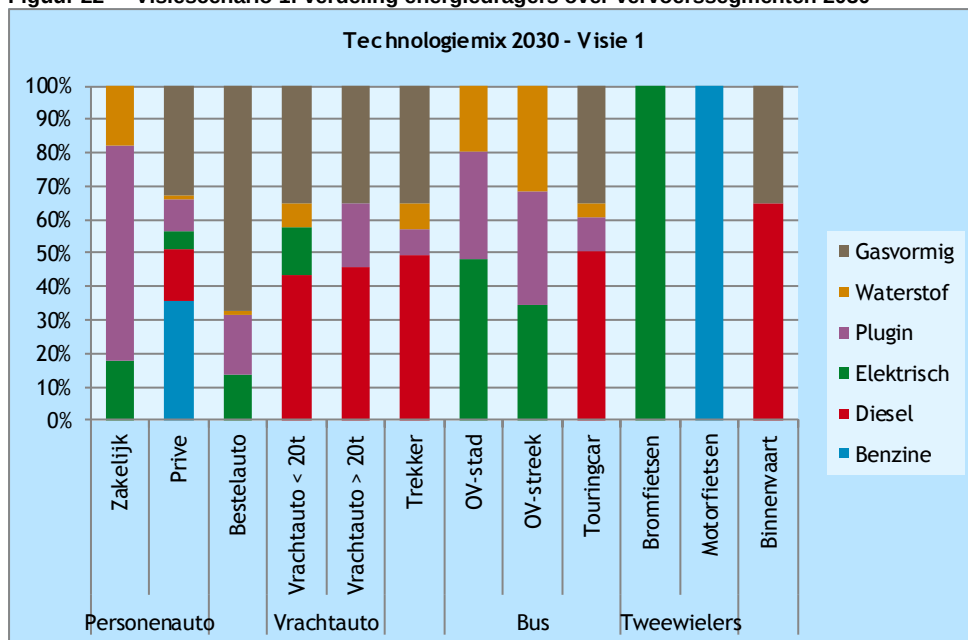
**Tabel 12 Visie-scenario 1: Aantallen voertuigen en energie in 2030**

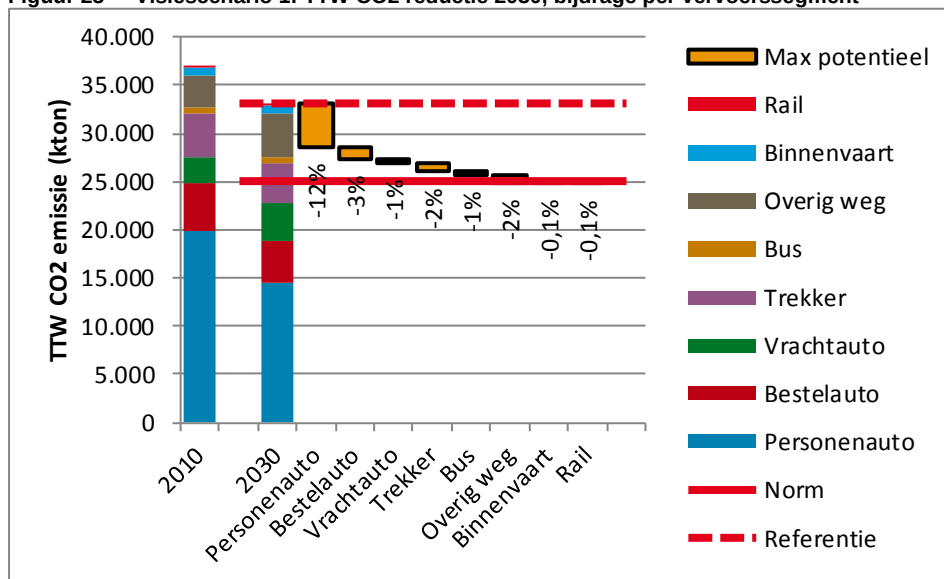
| 2030                     |                             | Personenauto-<br>zakelijk | Personenauto-<br>privé | Bestelauto     | Vrachtauto<br>GVW <20 ton | Vrachtauto<br>GVW >20 ton | Trekker-<br>oplegger |
|--------------------------|-----------------------------|---------------------------|------------------------|----------------|---------------------------|---------------------------|----------------------|
| <b>Aantal voertuigen</b> | <b>Totaal</b>               | <b>1.400.000</b>          | <b>7.700.000</b>       | <b>960.000</b> | <b>56.000</b>             | <b>25.000</b>             | <b>120.000</b>       |
|                          | PHEV                        | 700.000                   | 770.000                | 96.000         | 0                         | 2.400                     | 4.400                |
|                          | FEV                         | 210.000                   | 380.000                | 96.000         | 4.000                     | 0                         | 0                    |
|                          | Waterstof                   | 180.000                   | 25.000                 | 5.000          | 2.000                     | 0                         | 5.000                |
|                          | Gas                         | 320.000                   | 990.000                | 220.000        | 5.600                     | 2.500                     | 12.000               |
| <b>Praktijkverbruik</b>  | Conventionele<br>voertuigen | 129 g/km                  |                        | 193 g/km       | 804 g/km                  |                           |                      |
| <b>Efficiency</b>        | Alle voertuigen             | -33%                      |                        | -21%           | -8%                       |                           |                      |
| <b>Energie in PJ</b>     | Biobrandstof                | 24                        |                        | 8              | 5                         |                           | 12                   |

De verdeling van de energiedragers is ook weergegeven in **Figuur 10**. De TTW CO<sub>2</sub> reductie in 2030 per vervoerssegment is tenslotte te zien in

Figuur 23.

Figuur 22 Visiescenario 1: verdeling energiedragers over vervoerssegmenten 2030



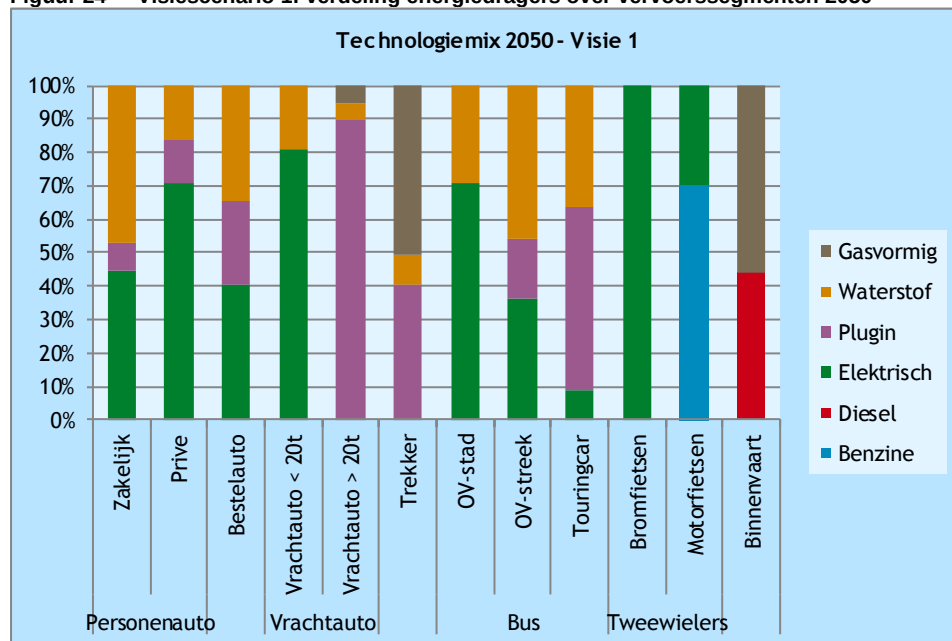
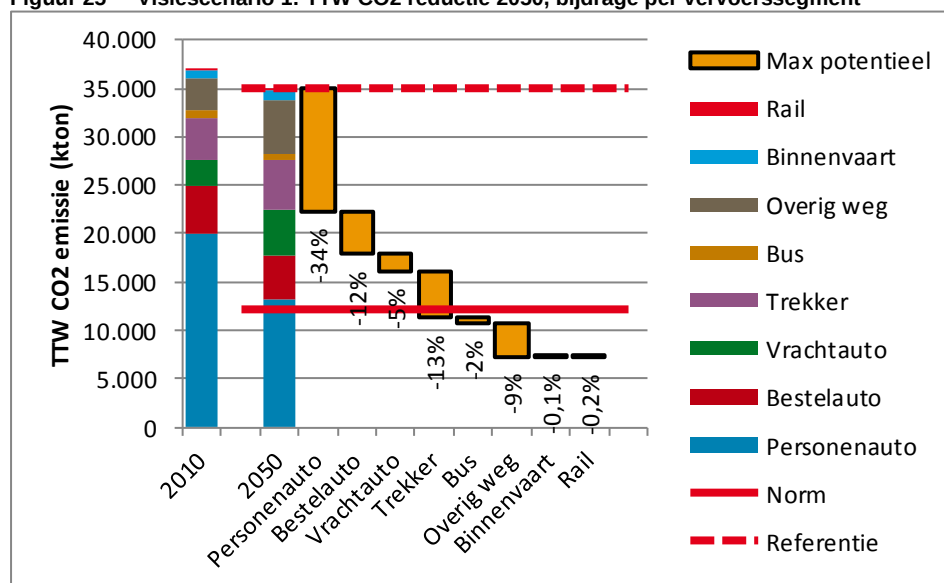
**Figuur 23** Visiescenario 1: TTW CO2 reductie 2030, bijdrage per vervoerssegment**Resultaten Visiescenario 1 voor 2050**

De aannames in Visie-scenario 1 leiden tot de aantallen voertuigen in 2050 zoals weergegeven in Tabel 13.

**Figuur 24** geeft dit weer als percentage van de technologiemix per vervoerswijze. In **Figuur 25** wordt de gerealiseerde TTW CO<sub>2</sub> reductie gepresenteerd.

**Tabel 13 Visiescenario 1: Aantallen voertuigen en energie in 2050**

|                          |                             |                           |                        |                  |                           |                           |                      |
|--------------------------|-----------------------------|---------------------------|------------------------|------------------|---------------------------|---------------------------|----------------------|
| 2050                     |                             |                           |                        |                  |                           |                           |                      |
|                          |                             | Personenauto-<br>zakelijk | Personenauto-<br>privé | Bestelauto       | Vrachtauto<br>GVW <20 ton | Vrachtauto<br>GVW >20 ton | Trekker-<br>oplegger |
| <b>Aantal voertuigen</b> | <b>Totaal</b>               | <b>1.500.000</b>          | <b>8.000.000</b>       | <b>1.100.000</b> | <b>60.000</b>             | <b>22.000</b>             | <b>160.000</b>       |
|                          | PHEV                        | 200.000                   | 1.700.000              | 400.000          | 0                         | 10.000                    | 32.000               |
|                          | FEV                         | 610.000                   | 5.100.000              | 400.000          | 39.000                    | 0                         | 0                    |
|                          | Waterstof                   | 650.000                   | 1.100.000              | 320.000          | 9.100                     | 500                       | 6.900                |
|                          | Gas                         | 0                         | 0                      | 0                | 4.800                     | 4.400                     | 31.000               |
| <b>Praktijkverbruik</b>  | Conventionele<br>voertuigen | 100 g/km                  |                        | 165 g/km         | 699 g/km                  |                           |                      |
| <b>Efficiency</b>        | Alle voertuigen             | -48%                      |                        | -33%             | -20%                      |                           |                      |
| <b>Energie in PJ</b>     | Biobrandstof                | 7                         |                        | 4                | 7                         |                           | 44                   |

**Figuur 24** Visiescenario 1: verdeling energiedragers over vervoerssegmenten 2050**Figuur 25** Visiescenario 1: TTW CO2 reductie 2050, bijdrage per vervoerssegment

Het gebruik en de bijmenging van biobrandstoffen in de visiescenario's hangt af van de totaal bijgemengde hoeveelheid biobrandstoffen en het aandeel conventionele voertuigen. In onderstaande tabel worden de bijmengpercentages en de hoeveelheid biobrandstoffen in de visiescenario 1 gepresenteerd.

**Tabel 14** Bijmengpercentages biobrandstoffen in visiescenario 1 in 2030 en 2050

| Inzet biobrandstoffen          | 2030        | 2050        |
|--------------------------------|-------------|-------------|
| 2030 Biobrandstoffen vloeibaar | 15% (49 PJ) | 54% (82 PJ) |
| 2030 Biobrandstoffen gas       | 11% (7 PJ)  | 48% (15 PJ) |

### 2.1.3.2 Doorrekening Visiescenario 2

#### Aannames Visiescenario 2

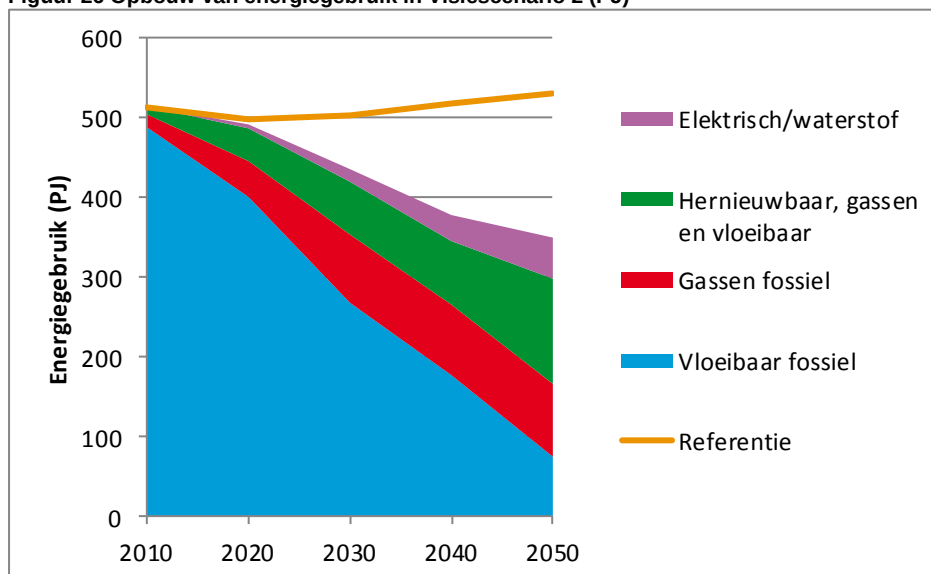
Wat als de doorbraak van elektrificering minder snel gaat dan nu maximaal geraamd? Hoeveel wordt er dan van de andere sporen verwacht? Visie-scenario 2 gaat uit van een beperkte doorbraak in elektrificering. De percentages kansrijke PMC's zijn overgenomen vanuit de biedingen van de tafels Elektrisch en Waterstof, echter 33% van deze maximum biedingen (gecorrigeerd voor aantallen in referentiescenario). Er wordt dus aangenomen dat 33% procent van de elektrische voertuigen die volgens de biedingen maximaal mogelijk zijn wordt gerealiseerd.

De rest van de opgave voor 2030 is ingevuld met de biedingen vanuit de andere tafels (~65% van de maximum biedingen), naar rato. Dit betekent dat is uitgegaan van 65% van de maximale extra efficiency verbetering voor voertuigen ten opzichte van de referentie, dat 65% van de biomassa wordt gebruikt en 65% van de maximaal mogelijke gasvoertuigen wordt gerealiseerd (waar mogelijk, rekening houdend met de aanwezige elektrische voertuigen). Ook voor het halen van doelen in 2050 zijn de andere opties nodig.

In

**Figuur 26** is te zien hoe deze aannames het energieverbruik in Visie-scenario 2 beïnvloeden. Vanwege de hogere efficiency verbetering is het totale energieverbruik lager dan in Visie-scenario 1.

**Figuur 26** Opbouw van energieverbruik in Visiescenario 2 (PJ)



#### Resultaten Visiescenario 2 voor 2030

De aannames in Visie-scenario 2 leiden tot de aantallen voertuigen in 2030 zoals weergegeven in

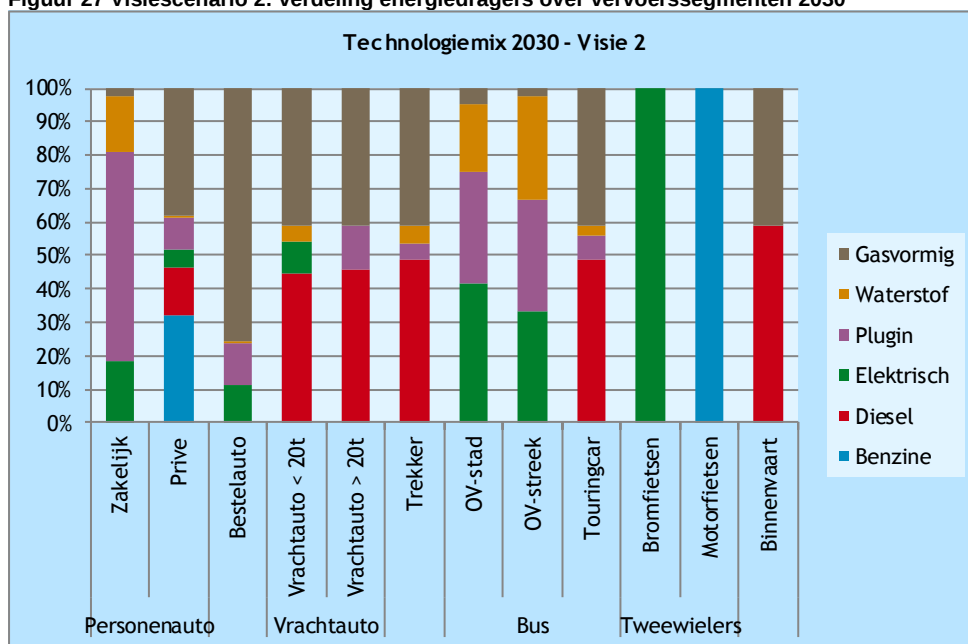
**Tabel 15.**

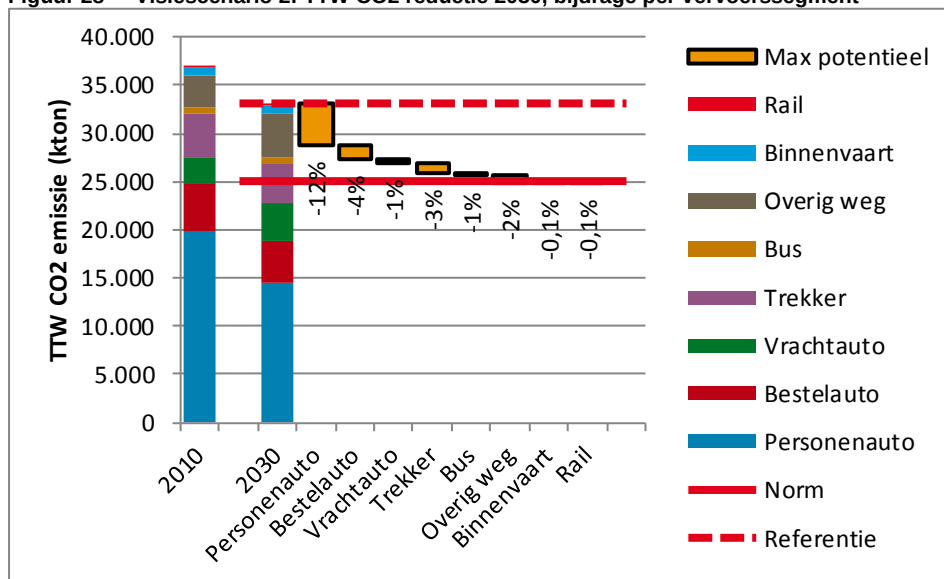
**Figuur 27** laat de bijbehorende technologiemix zien. In

**Figuur 28** is te zien welke TTW CO<sub>2</sub> reductie per vervoerswijze wordt gehaald.

**Tabel 15 Visiescenario 2: Aantallen voertuigen en energie in 2030**

| 2030                     |                          | Personenauto-<br>zakelijk | Personenauto-<br>privé | Bestelauto     | Vrachtauto<br>GVW <20 ton | Vrachtauto<br>GVW >20 ton | Trekker-<br>oplegger |
|--------------------------|--------------------------|---------------------------|------------------------|----------------|---------------------------|---------------------------|----------------------|
| <b>Aantal voertuigen</b> | <b>Totaal</b>            | <b>1.400.000</b>          | <b>7.700.000</b>       | <b>960.000</b> | <b>56.000</b>             | <b>25.000</b>             | <b>120.000</b>       |
|                          | PHEV                     | 340.000                   | 770.000                | 43.000         | 0                         | 790                       | 1.500                |
|                          | FEV                      | 120.000                   | 380.000                | 74.000         | 1.300                     | 0                         | 0                    |
|                          | Waterstof                | 58.000                    | 8.300                  | 1.700          | 660                       | 0                         | 1.700                |
|                          | Gas                      | 480.000                   | 1.400.000              | 330.000        | 9.000                     | 4.000                     | 20.000               |
| <b>Praktijkverbruik</b>  | Conventionele voertuigen | 120 g/km                  |                        | 180 g/km       | 797 g/km                  |                           |                      |
| <b>Efficiency</b>        | Alle voertuigen          | -38%                      |                        | -26%           | -9%                       |                           |                      |
| <b>Energie in PJ</b>     | Biobrandstof             | 28                        |                        | 8              | 5                         |                           | 13                   |

**Figuur 27 Visiescenario 2: verdeling energiedragers over vervoerssegmenten 2030**

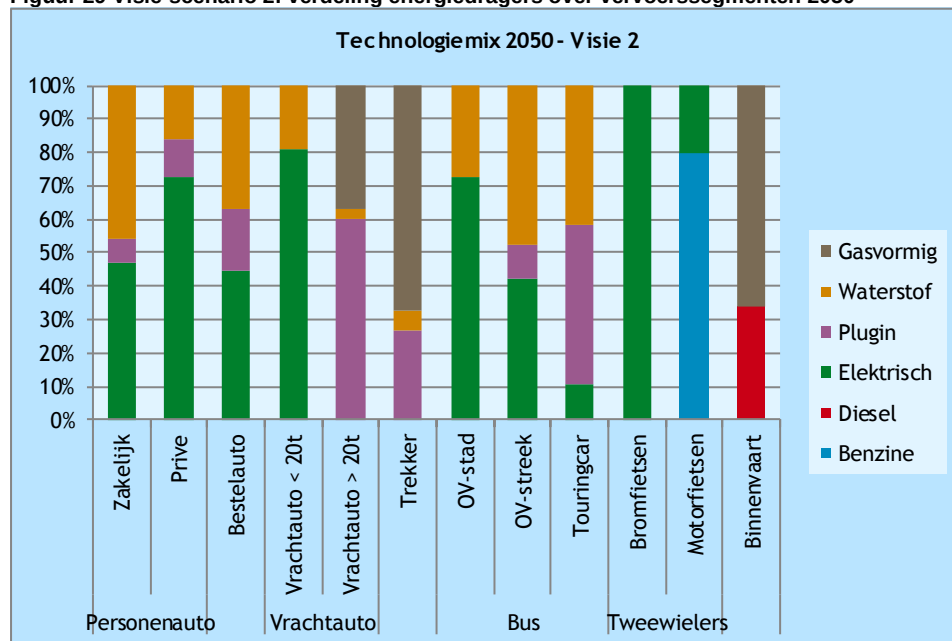
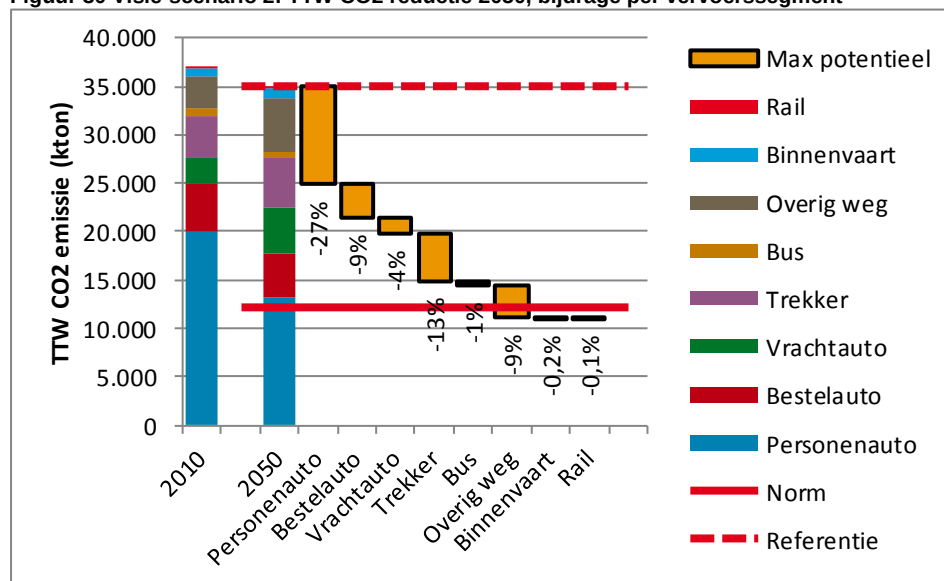
**Figuur 28** Visiescenario 2: TTW CO<sub>2</sub> reductie 2030, bijdrage per vervoerssegment*Resultaten Visie 2: 2050*

De aannames in Visie-scenario 2 leiden tot de aantallen voertuigen in 2050 zoals weergegeven in Tabel 16.

**Figuur 29** laat verdeling van de energiedragers zien. Het resultaat van de TTW CO<sub>2</sub> reductie is zoals in **Figuur 30**.

**Tabel 16 Visiescenario 2: Aantallen voertuigen en energie in 2050**

| 2050                     |                             | Personenauto-<br>zakelijk | Personenauto-<br>privé | Bestelauto       | Vrachtauto<br>GVW <20 ton | Vrachtauto<br>GVW >20 ton | Trekker-<br>oplegger |
|--------------------------|-----------------------------|---------------------------|------------------------|------------------|---------------------------|---------------------------|----------------------|
| <b>Aantal voertuigen</b> | <b>Totaal</b>               | <b>1.500.000</b>          | <b>8.000.000</b>       | <b>1.100.000</b> | <b>60.000</b>             | <b>22.000</b>             | <b>160.000</b>       |
|                          | PHEV                        | 190.000                   | 1.000.000              | 200.000          | 0                         | 3.300                     | 11.000               |
|                          | FEV                         | 430.000                   | 2.400.000              | 230.000          | 13.000                    | 0                         | 0                    |
|                          | Waterstof                   | 390.000                   | 430.000                | 150.000          | 3.000                     | 170                       | 2.300                |
|                          | Gas                         | 450.000                   | 1.900.000              | 450.000          | 7.900                     | 7.200                     | 51.000               |
| <b>Praktijkverbruik</b>  | Conventionele<br>voertuigen | 86 g/km                   |                        | 145 g/km         | 626 g/km                  |                           |                      |
| <b>Efficiency</b>        | Alle voertuigen             | -55%                      |                        | -41%             | -28%                      |                           |                      |
| <b>Energie in PJ</b>     | Biobrandstof                | 31                        |                        | 9                | 11                        |                           | 39                   |

**Figuur 29 Visie-scenario 2: verdeling energiedragers over vervoerssegmenten 2050****Figuur 30 Visie-scenario 2: TTW CO2 reductie 2050, bijdrage per vervoerssegment**

Het gebruik en de bijmenging van biobrandstoffen in de visiescenario's hangt af van de totaal bijgemengde hoeveelheid biobrandstoffen en het aandeel conventionele voertuigen. In onderstaande tabel worden de bijmengpercentages en de hoeveelheid biobrandstoffen in de visiescenario 1 gepresenteerd.

**Tabel 17 Bijmengpercentages biobrandstoffen in visiescenario 2 in 2030 en 2050**

| Inzet biobrandstoffen          | 2030        | 2050         |
|--------------------------------|-------------|--------------|
| 2030 Biobrandstoffen vloeibaar | 18% (55 PJ) | 63% (108 PJ) |
| 2030 Biobrandstoffen gas       | 12% (11 PJ) | 22% (24 PJ)  |

#### 2.1.4 Bijstelling aannames vracht wegvervoer

|          |                                                                   |
|----------|-------------------------------------------------------------------|
| Betreft: | Voorstel bijstelling aannames vracht wegvervoer                   |
| Aan:     | Voorzitters/secretarissen wegvervoer tafels                       |
| Kopie:   | Deelnemers aan break-out sessies vracht wegvervoer                |
| Van:     | Gertjan Koornneef (TNO), met input van Maarten 't Hoen (CE Delft) |

##### 2.1.4.1 Inleiding:

Tijdens de break-out sessies m.b.t. vrachtvervoer in de afgelopen LEF sessies zijn vragen gesteld bij de aannames voor groei van het vrachtwagensegment. Daarnaast zijn vragen gesteld over de gebruikte indeling in subsegmenten. Uit analyse is gebleken dat de aannames voor groei in de referentieraming niet aannemelijk zijn. Daarom is een voorstel gemaakt voor nieuwe aannames en consequenties daarvan, in overleg met betrokkenen vanuit de break-out sessies m.b.t. vrachtvervoer (te weten B. Hakstege / DAF, Rob Aarse / TLN, Paul Evers / Shell, Robert Goevaers / LNG platform). Doel van deze notitie is om aan de voorzitters en secretarissen van de wegvervoer tafels een voorstel te doen voor bijstelling van de aannames en biedingen in aantallen/percentages, voor wat betreft vracht wegvervoer.

##### 2.1.4.2 Aantallen voertuigen en km's in 2012 en gebruikte categorieën:

Onderstaande tabel geeft de situatie in 2012 weer (bron: CBS). Hierbij is een indelingen naar categorieën gehanteerd vanuit CBS. Er wordt onderscheid gemaakt in trekker-oplegger combinaties en overige vrachtauto's. Bij deze overige vrachtauto's wordt onderscheid gemaakt in groter en kleiner dan 20 ton GVW. Deze drie categorieën zijn gebruikt in de doorrekening (trekker/oplegger, vrachtauto < 20 ton, vrachtauto > 20 ton), mede vanwege het feit dat deze indeling ook is gebruikt in de referentieraming 2012 van PBL/ECN.

| Vervoerswijze                                | Totaal kilometers vrachtvoertuigen in Nederland | Kilometers Nederlandse vrachtvoertuigen in NL | Gemiddeld jaarkilometrage in Nederland | Nederlandse vrachtvoertuigen in gebruik |
|----------------------------------------------|-------------------------------------------------|-----------------------------------------------|----------------------------------------|-----------------------------------------|
|                                              | x mln km                                        | x mln km                                      | aantal km                              | aantal                                  |
| Trekkers                                     | 4.559                                           | 4.014                                         | 47.490                                 | 84.519                                  |
| Vrachtauto gewicht volle wagen tot 20 t      | 1.254                                           | 1.216                                         | 24.313                                 | 50.007                                  |
| Vrachtauto gewicht volle wagen tot 10 t      | 253                                             | 250                                           | 15.411                                 | 16.197                                  |
| Vrachtauto gewicht volle wgn 10 tot 20 t     | 1.001                                           | 966                                           | 28.576                                 | 33.810                                  |
| Vrachtauto gewicht volle wagen >= 20 t       | 1.112                                           | 1.019                                         | 36.817                                 | 27.668                                  |
| Totaal vrachtauto's (excl. trekker/oplegger) | 2.366                                           | 2.234                                         | 28.766                                 | 77.675                                  |
|                                              |                                                 |                                               | Totaal:                                | 162.194                                 |

De betrokkenen herkennen zich onvoldoende in de gebruikte categorieën. Tijdens telefonisch overleg op 6 juni is voorgesteld om uit pragmatische overwegingen toch deze categorieën te hanteren in de berekeningen. Dit is akkoord voor de betrokkenen, waarbij aangetekend dat het zeer wenselijk is om in een vervolgtraject een fijnmazigere opzet van vrachtauto categorieën te kiezen, op basis van bestaande statistische informatie.

##### 2.1.4.3 Groeipercenages vrachtvoertuigen:

Onderstaande groeipercenages zijn afkomstig uit de referentieraming 2012 van PBL/ECN, met daaronder de gevolgen voor de aantallen vrachtwagens en trekker/opleggers in 2030:

| Volumegroei (miljoen kilometers) REST-NL |                   |        |      |      |      |
|------------------------------------------|-------------------|--------|------|------|------|
| Vervoerswijze                            | 2010              | 2020   | 2030 | 2040 | 2050 |
| Vrachtauto                               | 0%                | 54%    | 71%  | 89%  | 106% |
| Trekker                                  | 0%                | -7%    | 4%   | 14%  | 25%  |
| Bij gelijkblijvend jaarkilometrage:      |                   |        |      |      |      |
|                                          | Totaal voertuigen |        |      |      |      |
| Vervoerswijze                            | 2012              | 2030   |      |      |      |
| Vrachtauto <20t                          | 50.007            | 85.602 |      |      |      |
| Vrachtauto >20t                          | 27.668            | 47.362 |      |      |      |
| Trekker                                  | 84.519            | 87.509 |      |      |      |

De groeipercentages worden niet herkend door de betrokkenen. Navraag bij PBL leert dat ook daar vraagtekens worden gezet bij de gebruikte groeipercentages. De overheersende mening is dat er een verschuiving zal plaatsvinden naar trekker-oplegger combinaties, ten koste van met name bakwagens met aanhanger. Cijfers van TNO op basis van recent historische groei en gebruikt voor de emissiefactoren tot 2030, onderschrijven dit.

Het voorstel is om de groei van het totaal aantal kilometers en de autonome CO2 impact uit de referentieraming gelijk te houden, maar een andere verdeling tussen vrachtauto's en trekker-oplegger combinaties te maken. Het resultaat is een voorstel voor een 0% groei van vrachtauto's (met nuancering tussen < 20 ton en > 20 ton) en een significante groei van trekker-oplegger combinaties, zie onderstaande tabel.

| Volumegroei (miljoen kilometers) REST-NL |                   |         |         |         |         |
|------------------------------------------|-------------------|---------|---------|---------|---------|
| Vervoerswijze                            | 2010              | 2020    | 2030    | 2040    | 2050    |
| Vrachtauto <20t                          | 0%                | 6%      | 11%     | 16%     | 21%     |
| Vrachtauto >20t                          | 0%                | -5%     | -11%    | -15%    | -20%    |
| Trekker                                  | 0%                | 24%     | 44%     | 64%     | 85%     |
| Bij gelijkblijvend jaarkilometrage:      |                   |         |         |         |         |
|                                          | Totaal voertuigen |         |         |         |         |
| Vervoerswijze                            | 2012              | 2020    | 2030    | 2040    | 2050    |
| Vrachtauto <20t                          | 50.007            | 52.849  | 55.536  | 58.078  | 60.482  |
| Vrachtauto >20t                          | 27.668            | 26.167  | 24.747  | 23.404  | 22.134  |
| Trekker                                  | 84.519            | 104.491 | 121.708 | 138.977 | 156.246 |

De getoonde groeipercentages zijn voor de betrokkenen akkoord, waarbij aangetekend dat de groeipercentages voor trekker-oplegger combinaties nu als fors worden gezien.

Er is afgesproken een nuancering aan te brengen in de groei van vrachtauto's groter en kleiner dan 20 ton, omdat verwacht wordt dat de groei van trekker-oplegger combinaties ten koste zal gaan van zware bakwagens met aanhanger. En omdat verwacht wordt dat stedelijke distributie met lichte vrachtauto's zal groeien. Hiervoor zijn geen ramingen beschikbaar, wat de hierboven getoonde groei dan wel krimp in aantallen vrachtauto's meer een signaalfunctie geeft dat onderscheid in subsegmenten noodzakelijk is. Voor vrachtauto's kleiner dan 20 ton is nu ca. 20% groei aangenomen in 2050, voor vrachtauto's groter dan 20 ton een soortgelijke krimp.

#### 2.1.4.4 Implicaties voor biedingen vanuit tafels (2030):

De bijstelling van de groei en dus absolute aantallen vrachtwagens en trekker-oplegger combinaties, heeft effect op de biedingen in absolute dan wel relatieve cijfers vanuit de tafels.

Onderstaande tabel geeft de aantallen en percentages vanuit de laatste deelrapporten van de tafels en met de oude totale aantallen voor 2030.

| Oud aantal voertuigen 2030 |             |             |                     |           |        |
|----------------------------|-------------|-------------|---------------------|-----------|--------|
| Vervoerswijze              | Totaal 2030 | Hybrid/elek | Volledig elektrisch | Waterstof | Gas    |
| Vrachtauto <20t            | 85.602      | 0           | 3.981               | 1.991     | 21.400 |
| Vrachtauto >20t            | 47.362      | 2.368       | 0                   | 0         | 11.840 |
| Trekker                    | 87.509      | 4.375       | 0                   | 4.972     | 21.877 |
|                            |             |             |                     |           |        |
| Vervoerswijze              | Totaal 2030 | Hybrid/elek | Volledig elektrisch | Waterstof | Gas    |
| Vrachtauto <20t            | 85.602      | 0%          | 5%                  | 2%        | 25%    |
| Vrachtauto >20t            | 47.362      | 5%          | 0%                  | 0%        | 25%    |
| Trekker                    | 87.509      | 5%          | 0%                  | 6%        | 25%    |

Door de voorgestelde nieuwe aantallen in 2030 en 2050, gaan ook de aantallen dan wel percentages vanuit de verschillende tafels schuiven. Er is besproken met de betrokken om de volgende logica aan te houden: bij kleine percentages, waar dus sprake is van opkomende niches, worden de absolute aantallen gelijk gehouden. Bij grotere percentages (dus gas) worden de percentages gelijk gehouden. Een dergelijke logica levert het volgende voorstel voor bijstelling van de aannames op (waar rood een stijging is t.o.v. bovenstaande tabel is en groen een daling; oranje is geen wijziging):

| Nieuw aantal voertuigen 2030 |             |             |                     |           |        |
|------------------------------|-------------|-------------|---------------------|-----------|--------|
| Vervoerswijze                | Totaal 2030 | Hybr/elektr | Volledig elektrisch | Waterstof | Gas    |
| Vrachtauto <20t              | 55.536      |             | 3.981               | 1.991     | 13.884 |
| Vrachtauto >20t              | 24.747      | 2.368       |                     | 0         | 6.187  |
| Trekker                      | 121.708     | 4.375       |                     | 4.972     | 30.427 |
|                              |             |             |                     |           |        |
| Vervoerswijze                | Totaal 2030 | Hybr/elektr | Volledig elektrisch | Waterstof | Gas    |
| Vrachtauto <20t              | 55.536      |             | 7%                  | 4%        | 25%    |
| Vrachtauto >20t              | 24.747      | 10%         |                     | 0%        | 25%    |
| Trekker                      | 121.708     | 4%          |                     | 4%        | 25%    |

Het voorstel is dus om deze bijstelling van aantallen en percentages te gebruiken voor de aanstaande doorrekening van effecten en mee te nemen in de definitieve deelrapporten van de tafels.

Noot: de categorie “hybr/elektr” werd voorheen “plug-in” genoemd. Het wordt door de betrokkenen echter niet waarschijnlijk geacht dat er zware voertuigen zullen komen met stekker. Deze categorie wordt nu gezien als voertuigen met deels elektrische aandrijflijn en deels range-extender, in staat om zero-emission te rijden (bijv. last-mile zero emission stadsdistributie). Voor de doorrekening van de effecten op CO2 heeft dit geen consequentie.

#### 2.1.4.5 Implicaties voor 2050:

Voor 2050 is dezelfde redenering geldig, met dien verstande dat hier nauwelijks meer sprake is van niches. Hierdoor waren de bijstellingen voor volledig elektrisch en waterstof drastischer, omdat ook de volumes in het segment < 20 ton drastisch zijn bijgesteld. Onderstaande tabellen geven het voorstel voor 2050 weer.

|                                     |                    |                    |                            |                  |            |
|-------------------------------------|--------------------|--------------------|----------------------------|------------------|------------|
| <b>Oud aantal voertuigen 2050</b>   |                    |                    |                            |                  |            |
| <b>Vervoerswijze</b>                | <b>Totaal 2050</b> | <b>Hybr/elektr</b> | <b>Volledig elektrisch</b> | <b>Waterstof</b> | <b>Gas</b> |
| Vrachtauto <20t                     | 103.018            | 0                  | 51.509                     | 10.302           | 36.056     |
| Vrachtauto >20t                     | 56.998             | 17.099             | 0                          | 500              | 28.499     |
| Trekker                             | 105.313            | 31.594             | 0                          | 6.937            | 52.657     |
|                                     |                    |                    |                            |                  |            |
|                                     |                    |                    |                            |                  |            |
| <b>Vervoerswijze</b>                | <b>Totaal 2050</b> | <b>Hybr/elektr</b> | <b>Volledig elektrisch</b> | <b>Waterstof</b> | <b>Gas</b> |
| Vrachtauto <20t                     | 103.018            | 0%                 | 50%                        | 10%              | 35%        |
| Vrachtauto >20t                     | 56.998             | 30%                | 0%                         | 1%               | 50%        |
| Trekker                             | 105.313            | 30%                | 0%                         | 7%               | 50%        |
|                                     |                    |                    |                            |                  |            |
|                                     |                    |                    |                            |                  |            |
| <b>Nieuw aantal voertuigen 2050</b> |                    |                    |                            |                  |            |
| <b>Vervoerswijze</b>                | <b>Totaal 2050</b> | <b>Hybr/elektr</b> | <b>Volledig elektrisch</b> | <b>Waterstof</b> | <b>Gas</b> |
| Vrachtauto <20t                     | 60.482             |                    | 39.313                     | 9.072            | 12.096     |
| Vrachtauto >20t                     | 22.134             | 9.960              |                            | 500              | 11.067     |
| Trekker                             | 156.246            | 31.594             |                            | 6.937            | 78.123     |
|                                     |                    |                    |                            |                  |            |
|                                     |                    |                    |                            |                  |            |
| <b>Vervoerswijze</b>                | <b>Totaal 2050</b> | <b>Hybr/elektr</b> | <b>Volledig elektrisch</b> | <b>Waterstof</b> | <b>Gas</b> |
| Vrachtauto <20t                     | 60.482             |                    | 65%                        | 15%              | 20%        |
| Vrachtauto >20t                     | 22.134             | 45%                |                            | 2%               | 50%        |
| Trekker                             | 156.246            | 20%                |                            | 4%               | 50%        |

## 2.2 CO<sub>2</sub> reductiepotentieel lucht- en scheepvaart (kennisvraag 9.2)

|                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Brandstoftafel:  | Doorrekening, vraag 9.2                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| Gestelde vraag:  | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Hoe hoog zijn de verwachte energievraag en CO<sub>2</sub>-emissies in de internationale lucht- en scheepvaart in 2030?</li> <li>2. Welke doelstellingen of ambities zijn er voor het verduurzamen van deze sectoren,</li> <li>3. Welke opties hebben de sectoren om een verduurzamingsambitie te realiseren?</li> </ol> |
| Type antwoord:   | Korte notitie                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| Uitgevoerd door: | Marc Londo (ECN), review Jasper Faber (CE) en Ruud Verbeek (TNO)                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |

### 2.2.1 Hoe hoog zijn de energievraag en verwachte CO<sub>2</sub>-emissies in de internationale lucht- en scheepvaart in 2030?

In de aanloop naar de klimaatop in Kopenhagen hebben beide sectoren analyses gedaan van hun huidige en toekomstige bijdrage aan het klimaatprobleem en de aanpak daarvan. Deze gegevens zijn de belangrijkste bron voor deze notitie. De ramingen voor energieverbruik en CO<sub>2</sub>-emissies zijn samengevat in onderstaande tabel.

| Sector                     | Energie (EJ) |       | CO <sub>2</sub> (Mton) |           |
|----------------------------|--------------|-------|------------------------|-----------|
|                            | 2007/6       | 2030  | 2007/6                 | 2030      |
| Internationale scheepvaart | 11           | 14-19 | 870                    | 1100-1500 |
| Internationale luchtvaart  | 5            | 10-12 | 360                    | 800-1100  |

De IMO GHG study (IMO2009) raamt de CO<sub>2</sub> emissies van de internationale scheepvaart in 2007 op 870 Mton. CO<sub>2</sub> is veruit het belangrijkste broeikasgas dat de sector uitstoot, zowel in massa als in CO<sub>2</sub>-equivalenten. Afhankelijk van het scenario voor de lange termijn ligt de verwachte emissie in deze sector in 2030 tussen de 1100 en 1500 Mton. Al deze scenario's gaan uit van:

- Autonome efficiencyverbeteringen leidend tot emissiereducties per tonkm van circa 20% in 2030;
- Introductie van LNG ter grootte van maximaal ~10% van de brandstofvraag, hetgeen in dit beeld tot een CO<sub>2</sub>-reductie van maximaal ca 1% zou kunnen leiden.

In de internationale luchtvaart lag de CO<sub>2</sub>-emissie in 2006 rond de 360 Mton (ICAO 2009). Gegeven de groei van de luchtvaartsector verwacht ICAO (2009) een stijging van deze emissies tot 800-1100 Mt in 2030. Het verschil tussen beide extremen wordt alleen veroorzaakt door verschillen in aannames rond efficiencyverbeteringen, in deze scenario's wordt niet gekeken naar de introductie van biobrandstoffen.

De bijbehorende energievraag in de internationale scheepvaart stijgt van 11 EJ in 2007 naar 14-19 PJ in 2030. In de luchtvaart stijgt het energieverbruik van 5,5 EJ in 2010 naar 10 tot 11 EJ in 2030.

### 2.2.2 Welke ambities zijn er geformuleerd voor deze sectoren?

De internationale scheepvaart heeft geen expliciete doelstelling geformuleerd voor vermindering van de CO<sub>2</sub>-uitstoot. Wel heeft de sector afspraken gemaakt over de ontwerpefficiëntie van nieuwe schepen (EEDI) en over vermindering van de emissies van luchtverontreiniging (zwavel, NO<sub>x</sub> en indirect ook fijnstof), waardoor de omschakeling naar schonere vloeibare brandstoffen, naar de toepassing van SO<sub>x</sub> scrubbers en naar LNG gestimuleerd wordt.

De internationale luchtvaart heeft gezamenlijk de ambitie van *carbon neutral growth* na 2020 geformuleerd: na 2020 mag groei van de sector niet leiden tot extra CO<sub>2</sub>-emissies. Gegeven de geprojecteerde groei in deze sectoren is dat een substantiële ambitie.

In het Witboek van de Europese commissie (EC 2011) worden voor de internationale lucht- en scheepvaart ambities genoemd voor 2050:

- Voor scheepvaart wordt een aparte doelstelling genoemd: 'de totale CO<sub>2</sub>-uitstoot door de scheepvaart moet tegen 2050 met 40% (indien mogelijk met 50%) worden verminderd ten opzichte van 2005'. Deze doelstelling is veel explicieter dan wat nu in de internationale fora wordt besproken. Het is echter niet duidelijk welke emissies onder deze doelstelling zouden vallen: die in EU-wateren, op vaarten van of naar EU of beide, samenhangend met importen en exporten, of schepen onder de vlag van EU-lidstaten.
- Voor luchtvaart wordt de doelstelling genoemd om 'het aandeel van duurzame koolstofarme brandstoffen tegen 2050 te verhogen tot 40%'. Deze doelstelling lijkt minder ambitieus dan die van carbon neutral growth, zie onder. En ook ontbreekt nog een heldere definitie van de vluchten die onder deze doelstelling zouden vallen.

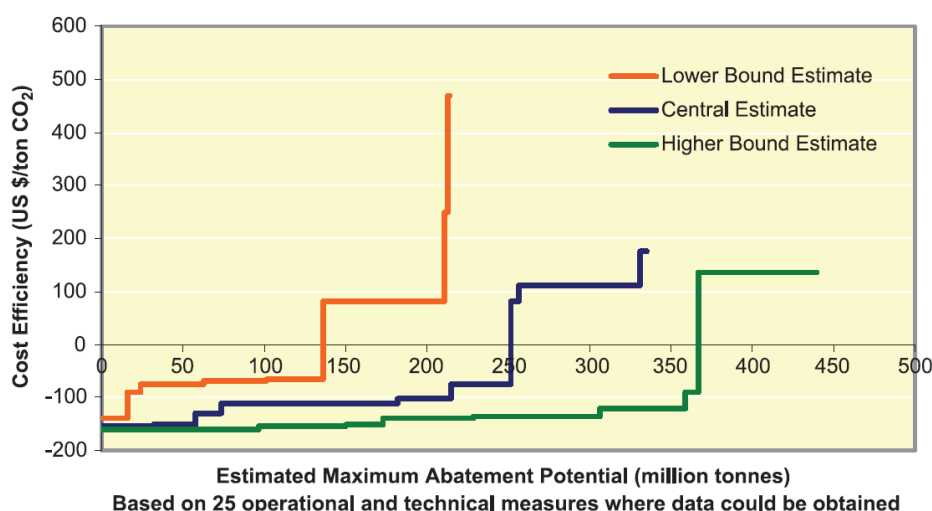
## 2.2.3 Welke opties hebben de sectoren om een verduurzamingsambitie te realiseren?

### 2.2.3.1 Internationale scheepvaart

Naast inzet van CO<sub>2</sub>-armere brandstoffen gaat het natuurlijk om *efficiëntieverbetering*. De belangrijkste opties die hierbij worden ingezet zijn (IMO 2009, Faber et al. 2013):

- Vormgeving van de vaartuigen (hydrodynamica)
- Efficiëntere aandrijflijnen
- Lagere snelheden
- Optimalisatie van logistiek en vaarroutes

Een deel van deze opties is kosteneffectief, zie onderstaande marginale kostencurve, waarin zowel efficiëntieverbeteringen al alternatieve brandstofopties zijn opgenomen (op basis van sociale kosten/baten; niet de kosten voor een individuele reder). Voor de internationale scheepvaart geeft IMO (2009) aan dat bovenop de ca 20% efficiëntieverbetering in 2030 in het basispad nog eens 20% extra mogelijk is. De technische potentiëlen in Faber et al. (2013) zijn hier redelijk consistent mee.



De inzet van *alternatieve brandstoffen* kan bestaan uit LNG en biobrandstoffen. De CO<sub>2</sub>-intensiteit van LNG is theoretisch ongeveer een kwart lager dan die van de reguliere scheepsbrandstof, maar de reductie in CO<sub>2</sub>-equivalenten kan teniet worden gedaan door methaanslip van de motor. De inzet van LNG wordt momenteel gestimuleerd door eisen aan zwavel- en NO<sub>x</sub>-emissies. Lloyds (2014) verwacht bijvoorbeeld een aandeel LNG in de internationale scheepvaart van 24% in 2025. Ook

(vloeibare) biobrandstoffen kunnen worden ingezet in deze sector, technisch zijn daar geen belemmeringen voor. De internationale scheepvaart heeft daarbij het voordeel dat ook relatief laagwaardige biobrandstoffen zoals puur plantaardige olie, wellicht pyrolyse-olie en biogene afvaloliën en –vetten kunnen worden ingezet (zie ook Verbeek et al 2011). Voor het gebruik van biobrandstoffen is echter momenteel echter geen incentive in de vorm van een internationale doelstelling of ambitie.

### 2.2.3.2 Internationale luchtvaart

De ICAO scenario's (ICAO 2009) verschillen van elkaar in de mate van inzet op efficiencymaatregelen. Volgens deze studie kan zo'n 20% CO<sub>2</sub>-emissies in 2030 worden vermeden door extra inzet op efficiencyverbetering van vliegtuigen en efficiëntere logistiek (bovenop een baseline met 12% verbetering, waarin nu al gangbare opties verwerkt zijn). Carbon neutral growth is niet mogelijk door inzet op efficiencyverbetering alleen: ook in het scenario met de sterkste inzet op besparingsopties groeit de CO<sub>2</sub>-emissie van de luchtvaart.

### 2.2.3.3 Indicatieve becijfering ambities, besparingen en inzet alternatieve brandstoffen

Op basis van bovenstaande overwegingen kan een ruwe schatting gemaakt worden van de benodigde hoeveelheid biobrandstoffen in beide sectoren, uitgaande van de klimaatambities die op EU- of internationaal niveau zijn geformuleerd. Dit heeft alleen waarde als illustratie: de vraag is of deze ambities ook daadwerkelijk zullen worden afgedwongen, en in hoeverre dat dan consequenties zou hebben op de finale vraag in beide sectoren. Deze getallen komen ook substantieel hoger uit dan de ambities die momenteel in de sector worden geformuleerd (zie de deeldocumenten van de tafels lucht- en scheepvaart).

|                                                                                                      | Internationale scheepvaart |                        | Internationale luchtvaart     |                        |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|------------------------|-------------------------------|------------------------|
|                                                                                                      | energie (EJ)               | CO <sub>2</sub> (Mton) | energie                       | CO <sub>2</sub> (Mton) |
| Ontwikkeling bij autonome groei (2030), middenvariant (zie sectie 1)                                 | 17                         | 1300                   | 10                            | 950                    |
| CO <sub>2</sub> -emissie-reductie 2030 (gegeven ambities 2050)                                       | -20% in 2030 t.o.v 2005    |                        | carbon-neutral growth na 2020 |                        |
| Doel CO <sub>2</sub> -emissies 2030                                                                  |                            | 680                    |                               | 630                    |
| Additionele efficiencyverbetering (20% in beide sectoren)                                            | -3                         | -260                   | -2                            | -180                   |
| Inzet LNG in scheepvaart (aanne: 30% in 2030, 25% lagere CO <sub>2</sub> -intensiteit <sup>2</sup> ) | 4                          | -80                    |                               |                        |
| Inzet biobrandstoffen (vloeibaar, bio-LNG)                                                           | 4                          | -280                   | 2                             | 140                    |
| Aandeel biobrandstoffen in de brandstofmix                                                           | 27%                        |                        | 18%                           |                        |

### 2.2.3.4 Consequenties voor bunkering in Nederland

Nederland heeft een bijzondere positie in bunkering, vooral voor de internationale scheepvaart; Rotterdam behoort tot de vier grootste bunkerhavens ter wereld. Gegevens voor scheepsbunkering variëren tussen bronnen, omdat er ook grote hoeveelheden bunkerbrandstoffen worden in- en uit gevoerd die soms wel en soms niet worden meegerekend. Hier gaan we uit van cijfers van het CBS, dat voor 2010 in Nederland getallen van 550 PJ bunkering in internationale scheepvaart en 145 PJ in internationale luchtvaart geeft (CBS statline).

Wederom een illustratieve exercitie: Stel dat de omvang van bunkering de komende jaren blijft groeien, met gemiddeld 1% voor de scheepvaart en 2% voor de luchtvaart (merk op dat de afgelopen

<sup>2</sup>: De aanname van 25% CO<sub>2</sub>-reductie met LNG betekent dat ook zeer sterk wordt ingezet op vermindering van methaanslip, inclusief bijbehorende innovaties in scheepsmotoren. Dit gaat verder dan de autonome ontwikkeling maar past in een wereld met zeer sterk klimaatbeleid.

jaren de sectoren nauwelijks zijn gegroeid vanwege de crisis; deze groeicijfers zijn wat lager dan de mondiale groeicijfers). Wanneer dan de ambities uit sectie 3.3 ook in Nederland worden doorgevoerd, dan worden in Nederland LNG en biobrandstoffen ingezet voor bunkering zoals in de volgende tabel. Ook deze getallen dienen slechts beperkte waarde: los van de beperkte hardheid van de doelstellingen en de mogelijke implicaties van dergelijke aandelen op de groei in de sectoren, kan Nederland er ook voor kiezen om meer dan wel minder in te zetten op alternatieve brandstoffen.

| Bunkering in Nederland (PJ)                                       | 2010 | 2030 |
|-------------------------------------------------------------------|------|------|
| Scheepvaart (aanne: groei 2010-2030 1% per jaar)                  | 550  | 670  |
| Luchtvaart (aanne: groei 2010-2030 2% per jaar)                   | 145  | 215  |
|                                                                   |      |      |
| Levering alternatieve brandstoffen gegeven doelen sectie 3.3 (PJ) |      | 2030 |
| LNG in scheepvaart                                                |      | 200  |
| Biobrandstoffen in scheepvaart (vloeibaar, bio-LNG)               |      | 180  |
| Biobrandstoffen in luchtvaart                                     |      | 40   |

#### 2.2.4 Literatuur

EC (2011): *Witboek. Stappenplan voor een interne Europese vervoersruimte – werken aan een concurrerend en zuinig vervoerssysteem*. COM(2011) 144. Brussel.

Faber, J., M. Koopman, A. van Grinsven, T. Hasselaar en M. Smit (2013): *Towards sustainable maritime shipping and inland navigation in 2050*. CE Delft.

ICAO (2009): *Global Aviation CO2 Emissions Projections to 2050*. [http://www.icao.int/environmental-protection/GIACC/GIacc-4/CENV\\_GIACC4\\_IP1\\_IP2%20IP3.pdf](http://www.icao.int/environmental-protection/GIACC/GIacc-4/CENV_GIACC4_IP1_IP2%20IP3.pdf), gedownload op 14 april 2014.

IMO(2009): *Second IMO GHG Study 2009*. International Maritime Organization, London.

Lloyds (2014): Nieuwsbericht over de rol van LNG in schepvaart. Zie [http://www.porttechnology.org/news/lng\\_to\\_meet\\_24\\_of\\_global\\_bunker\\_fuel\\_supply\\_by\\_2025/#.U0e-elf6R29](http://www.porttechnology.org/news/lng_to_meet_24_of_global_bunker_fuel_supply_by_2025/#.U0e-elf6R29), geraadpleegd op 11 april 2014.

Lloyds en UCL (2014): *International Marine Fuel Trends 2030*. Lloyds Register Marine en UCL Energy Institute, London.

Verbeek, R., M. Bolech en H. den Uil (2011): *Alternative fuels for sea shipping*. TNO, Delft.

### 3 Tafel-overstijgende kennisvragen

In dit hoofdstuk zijn kennisnotities verzameld, waarvan de onderwerpen de tafel overstijgen. Dit betreft onder meer de uitleg over de doelstellingen en definities, een overzicht van (well-to-wheel) brandstofroutes en een analyse van de beschikbaarheid van biomassa. Al deze onderwerpen hebben een grote rol gespeeld tijdens het visietraject.

#### 3.1 Uitleg CO<sub>2</sub> doelstellingen vanuit EU en Energieakkoord (kennisvraag 5.3)

|                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Vraagnummer:     | 5.3                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| Gestelde vraag:  | Goede uitleg over CO <sub>2</sub> doelstellingen vanuit EU en vanuit SER-akkoord (WTW vs TTW) en koppeling met de opgaven in het visietraject. (Hoe werken de regels en toewijzing? Is het waar dat voor elektrische aandrijfvormen TTW en voor de rest van de brandstoffen WTW wordt gehanteerd (vraag van tafel "gasvormig")? ) |
| Type antwoord:   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| Uitgevoerd door: | ECN, Christine van Zuijlen                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |

##### 3.1.1 Samenvatting beantwoording vraag:

Onderstaande tabel geeft de samenvatting van de verschillende CO<sub>2</sub>-reductiedoelstellingen op EU- en nationaal niveau en de daarbij behorende modaliteiten. De doelstellingen betreffen TTW-doelstellingen. Broeikasgasemissies uit de productieketen van energiedragers (WTT) worden niet toegerekend aan de verkeerssector, maar aan de sector waar deze energiedragers worden geproduceerd. Deze sectoren kennen hun eigen reductiedoelstellingen.

Tabel 18. Europese en nationale CO<sub>2</sub>-doelstellingen in de transport sector

|                          | Reductiedoel 2050                           | Transport modaliteiten                                |
|--------------------------|---------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
| Routekaart 2050 (EU)     | -54% tot -67% (TTW)                         | Wegtransport, incl. luchtvaart, excl. scheepvaart     |
|                          | -61% tot -74% (TTW)                         | Wegtransport, excl. luchtvaart, excl. scheepvaart     |
| Witboek (EU)             | -60% (TTW)                                  | Wegtransport, onduidelijk: incl. of excl. luchtvaart? |
|                          | -40%<br>(indien mogelijk -50%)              | Scheepvaart                                           |
|                          | (40% duurzame<br>koolstofarme brandstoffen) | (Luchtvaart)                                          |
| SER Energie-akkoord (NL) | -60% (TTW)                                  | Wegtransport, excl. luchtvaart, excl. scheepvaart     |

Hoewel in het SER Energieakkoord de 60%-doelstelling wordt toegepast op de modaliteiten *exclusief* luchtvaart, kan er vanuit Brussel mogelijk een hogere reductie dan 60% gesteld worden gezien de genoemde benodigde sectorale reducties voor transport *excl. luchtvaart* in de Routekaart 2050 (range -61 tot -74%). Het is daarom goed om te rekening te houden met het feit dat de opgave voor wegtransport in de toekomst mogelijk hoger wordt gelegd dan 60%. Om die reden is ook in de scenariostudie gekeken naar een mogelijk reductiepercentage van 70%.

Voor wat betreft de vraag: 'Is het waar dat voor elektrische aandrijfvormen TTW en voor de rest van de brandstoffen WTW wordt gehanteerd?' is het antwoord hierop: nee, voor alle aandrijfvormen

worden de TTW-emissies genomen. Echter, volgens de IPCC-definitie mogen de TTW-emissies van elektriciteit, waterstof en biobrandstoffen als nul geteld worden voor de doelstelling.

### 3.1.2 Toelichting beantwoording vraag

In onderstaande tekst worden de antwoorden op de vragen nader toegelicht. Hoofdstuk 1 schetst de gestelde CO<sub>2</sub>-doelstellingen op Europees en nationaal niveau voor de verschillende sectoren. Hoofdstuk 2 gaat in op de kwestie TTW en WTW emissies binnen de genoemde doelstellingen.

#### 3.1.2.1 Europese en nationale CO<sub>2</sub>-reductiedoelstellingen

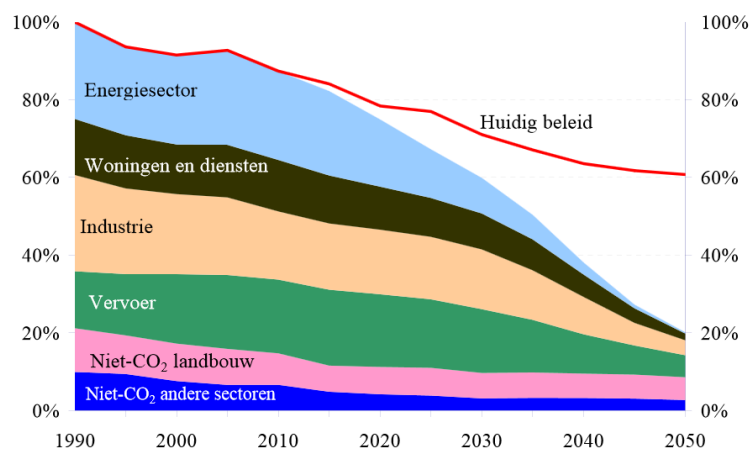
In de hierop volgende tekst worden achtereenvolgens drie verschillende documenten besproken die geleid hebben tot verschillende doelstellingen in de transport sector: Routekaart naar een concurrerende koolstofarme economie in 2050 (EC, 2011a), Witboek Transport (EC, 2011c) en SER Energieakkoord (SER, 2013). Na een korte uiteenzetting wordt geschetst hoe deze doelen zich tot elkaar verhouden.

#### **Routekaart naar een concurrerende koolstofarme economie in 2050 (EC, 2011a)**

In deze Routekaart heeft de EU in 2011 de doelstelling geformuleerd om tegen 2050 de totale Europese uitstoot van broeikasgassen met 80 tot 95% gereduceerd te hebben ten opzichte van 1990. Om deze reductie te behalen hebben verschillende sectoren hun eigen reductiedoelstelling gekregen, zie Figuur 1 uit de routekaart. In het achterliggend 'Impact Assessment' van de Routekaart is een uitgebreide analyse gedaan naar de benodigde reducties in de verschillende sectoren binnen verschillende scenario's (EC, 2011b).

Voor 'Vervoer' worden voor 2050 de volgende benodigde CO<sub>2</sub>-reductie ranges genoemd:

**Figuur 1: reductiepad naar een reductie van de EU-uitstoot van broeikasgassen met 80% (100% = 1990)**



- incl. luchtvaart, excl. scheepvaart: -54% tot -70% (genoemd in Routekaart);
- excl. luchtvaart, excl. scheepvaart: -61% tot -74% (genoemd in Impact Assessment).

#### **Witboek Transport (EC, 2011b)**

Op basis van bovengenoemde Routekaart 2050 heeft de Europese Commissie onder andere het Witboek Transport ontwikkeld (EC, 2011c). Hierin is gesteld dat: *'in de vervoerssector [...] moet de uitstoot van broeikasgassen tegen 2050 met minstens 60% worden verminderd ten opzichte van 1990. Tegen 2030 wordt voor vervoer gestreefd naar een daling van de broeikasgasemissies met 20% ten opzichte van 2008'*.

Voor scheepvaart wordt in het Witboek een aparte doelstelling genoemd: *‘de totale CO<sub>2</sub>-uitstoot door de scheepvaart moet tegen 2050 met 40% (indien mogelijk met 50%) worden verminderd ten opzichte van 2005’*.

Voor luchtvaart wordt genoemd om *‘het aandeel van duurzame koolstofarme brandstoffen tegen 2050 te verhogen tot 40%’*. Onduidelijk is hoe dit percentage zich verhoudt tot het totale reductiedoel van 60%. Vooralsnog lijkt het erop dat dit een aparte doelstelling is in het Witboek. Immers, met 40% duurzame koolstofarme brandstoffen wordt het aandeel -60% reductie in de luchtvaart niet gehaald.

### SER Energieakkoord

In het SER Energieakkoord is de ambitie uitgesproken dat in 2050 de broeikasgasemissie van de mobiliteit- en transportsector met minimaal 60 procent is gereduceerd ten opzichte van 1990. Tevens is voor 2030 een tussendoel gesteld: een vermindering van de uitstoot van de sector tot maximaal 25 Mton CO<sub>2</sub>-equivalent (circa -17% t.o.v. 1990).

In het SER Energieakkoord zijn expliciet de emissies van de luchtvaart en de zeescheepvaart niet inbegrepen. Genoemd wordt dat deze vanwege de extraterritoriale aspecten een afzonderlijke benadering vragen.

### Hoe verhouden de doelen zich tot elkaar?

De eerder genoemde doelstellingen zijn samengevat in onderstaande tabel.

Tabel 19. Europese en nationale CO<sub>2</sub>-doelstellingen in de transport sector

|                         | Reductiedoel 2050                        | Transport modaliteiten                                |
|-------------------------|------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
| Routekaart 2050 (EU)    | -54% tot -67% (TTW)                      | Wegtransport, incl. luchtvaart, excl. scheepvaart     |
|                         | -61% tot -74% (TTW)                      | Wegtransport, excl. luchtvaart, excl. scheepvaart     |
| Witboek (EU)            | -60% (TTW)                               | Wegtransport, onduidelijk: incl. of excl. luchtvaart? |
|                         | -40%<br>(indien mogelijk -50%)           | Scheepvaart                                           |
|                         | (40% duurzame koolstofarme brandstoffen) | (Luchtvaart)                                          |
| SER Energieakkoord (NL) | -60% (TTW)                               | Wegtransport, excl. luchtvaart, excl. scheepvaart     |

Wat opvalt is dat de 60% in het SER Energieakkoord uit deze Europese doelstellingen te herleiden is, maar dat onduidelijkheid bestaat welke transportmodaliteiten onder de genoemde doelstelling vallen. Met name luchtvaart is een onzekere factor. In het SER Energieakkoord zijn expliciet de emissies van luchtvaart niet meegenomen. Echter, wanneer men kijkt naar de Routekaart 2050 worden daar twee verschillende reductieranges genoemd: *‘-54% tot -67% inclusief luchtvaart’* of *‘-61% tot -74% exclusief luchtvaart’*. Dit betekent dat op het moment in de luchtvaart geen CO<sub>2</sub>-reductiedoelstelling wordt gehanteerd of deze reductie van -54% tot -67% in de luchtvaart niet gehaald wordt, de reductie in de overige transportmodaliteiten hoger moet zijn. Het is tot op heden niet duidelijk of het Witboek de luchtvaart wel of niet betreft in de genoemde 60%-doelstelling. Bronnen uit Brussel melden dat luchtvaart wel degelijk inbegrepen zit in deze doelstelling. Echter, welke luchtvaartemissies daar exact onder vallen blijft onduidelijk. Daarnaast is de vraag of de luchtvaart een reductiepercentage van 60% zou kunnen halen.

Hoewel in het SER Energieakkoord de 60%-doelstelling dus wordt toegepast op de modaliteiten *exclusief* luchtvaart, kan er vanuit Brussel mogelijk een hogere reductie gesteld worden dan de in het SER Energieakkoord genoemde 60%. Dit zorgt ervoor dat de opgave voor de overige transportmodaliteiten (wegtransport) in de toekomst zelfs nog hoger wordt dan 60%. Om die reden is ook in de scenariostudie gekeken naar een mogelijk reductiepercentage van 70%.

Voor wat betreft (zee)scheepvaart wordt deze modaliteit in de Routekaart buiten de sectorale reducties gehouden. In hoeverre deze modaliteit ook een opgave heeft gekregen in de Routekaart is onduidelijk. Wel is duidelijk dat in het Witboek de scheepvaart een aparte doelstelling heeft gekregen, namelijk 40% reductie in 2050. Dat in het SER Energieakkoord de emissies van (zee)scheepvaart buiten 'de 60%-doelstelling' worden gehouden, is in lijn met de genoemde doelstellingen in het Witboek.

Niettemin geldt voor de (tafel) scheepvaart wel degelijk een Europese opgave: namelijk bovenstaande 40% (indien mogelijk 50%) reductie in 2050.

### 3.1.2.2 *Verschillende definities*

Naast het feit dat er verschillende doelstelling bestaan is het ook van belang om te kijken naar de manier waarop emissies meegeteld moeten worden in de genoemde doelstelling.

Voor transport kunnen emissies op verschillende manieren worden meegerekend:

- **Tank-to-wheel (TTW):** hierin worden alleen de emissies meegenomen die door het voertuig zelf worden uitgestoten tijdens het verbruik;
- **Well-to-wheel (WTW):** hierin wordt tevens gekeken naar de emissies die vrijkomen tijdens de winning/productie van de brandstof.

#### **TTW in de doelstellingen**

De doelstelling als gehanteerd in het SER Energieakkoord is volgens de TTW-methode. Dit sluit aan bij de manier waarop momenteel voor de EU en IPCC emissies worden gerapporteerd. Werken met TTW-emissies is gangbaar wanneer generieke doelstellingen over sectoren worden verdeeld. Beleidsmakers in de transportsector hebben primair een verantwoordelijkheid voor de emissies in die specifieke sector en kunnen bijvoorbeeld geen aanvullend beleid maken om de CO<sub>2</sub>-intensiteit van elektriciteitsproductie te verlagen.

Verder worden volgens de IPCC-definitie TTW-emissies van elektriciteit, waterstof en biobrandstoffen op nul gesteld (IPCC, 2006). Belangrijk punt om te realiseren is dat voor biobrandstoffen de daadwerkelijke (fysieke) emissies uit de uitlaat niet nul zijn. De reden voor de nul-telling vanuit IPCC is dat de CO<sub>2</sub>-emissies verderop in de biomassaketten weer geabsorbeerd worden. De TTW-emissies van biobrandstoffen worden door Nederland overigens momenteel wel apart gerapporteerd aan het IPCC, maar tellen niet mee voor de doelstelling. Voor de 60% doelstelling is overall verondersteld dat dezelfde regels gaan gelden als voor de huidige doelstellingen.

#### **Invloed WTW-emissies**

Naast de TTW-emissies spelen voor de daadwerkelijke uitstoot ook de WTW-emissies een rol. Zoals boven geschetst zitten de WTT-emissies echter niet in de genoemde doelstellingen en zijn de ambities in de verkeerssector gebaseerd op een Tank-to-Wheel (TTW) methode. Dit betekent dat broeikasgasemissies uit de productieketen van energiedragers niet worden toegerekend aan de verkeerssector, maar aan de sector waar deze energiedragers worden geproduceerd. Echter, ook aan deze sectoren zijn in de Routekaart 2050 doelen gesteld, binnen het ETS (bijvoorbeeld elektriciteit) of daarbuiten (landbouwproductie voor biobrandstoffen). Dit betekent dus dat in het SER Energieakkoord de 60%-doelstelling geldt over de TTW-emissies en dat de reducties voor het WTT-gedeelte in de overige sectoren wordt gereduceerd. Beleidsmakers hebben de verantwoordelijkheid over verschillende doelstellingen, daarom is ervoor gekozen om sectorale opgaven te geven. Het hanteren van individuele doelstellingen maakt dat een beleidsmaker op 'zijn terrein' aan de benodigde reducties kan werken. Bij het analyseren van effecten is het echter wel zinnig om niet alleen naar TTW, maar ook integraal naar Well-to-Wheel (WTW) effecten te kijken. Bij beleidsbeslissingen over toepassing van bijvoorbeeld waterstof of biobrandstoffen moet tenslotte over de sectoren heen worden gekeken omdat het WTT-gedeelte daar significant groter is dan voor fossiele brandstoffen. Samenwerking tussen de verschillende sectoren is wat dat betreft essentieel in het behalen van de overall doelstelling.

Om tot slot nog op de gestelde voorbeeldvraag terug te komen: ‘*Is het waar dat voor elektrische aandrijfvormen TTW en voor de rest van de brandstoffen WTW wordt gehanteerd?*’. Het antwoord hierop is dus: nee, voor alle aandrijfvormen worden de TTW-emissies genomen. Echter, voor elektriciteit, waterstof en biobrandstoffen mogen deze emissies als nul geteld worden voor de doelstelling.

## Referenties

EC, 2011a - *Routekaart naar een concurrerende koolstofarme economie in 2050*; COM(2011) 112. Brussel, 8 maart 2011.

EC, 2011b - *Impact Assessment. Accompanying document to the Roadmap 2050*. SEC(2011) 288. Brussel, 8 maart 2011.

EC, 2011c - *Witboek. Stappenplan voor een interne Europese vervoersruimte – werken aan een concurrerend en zuinig vervoerssysteem*. COM(2011) 144. Brussel, 28 Maart 2011.

IPCC, 2006. *IPCC Guidelines Chapter Mobile Combustion, page 3.17*.

[http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/2\\_Volume2/V2\\_3\\_Ch3\\_Mobile\\_Combustion.pdf](http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/2_Volume2/V2_3_Ch3_Mobile_Combustion.pdf)

SER, 2013. *Rapport Energieakkoord. Pijler 7 : Mobiliteit en Transport*. 6 september 2013.

<http://www.energieakkoordser.nl/energieakkoord.aspx>

### 3.2 Brandstofroutes en karakteristieken (WTW, kennisvraag 8.1)

|                     |                                                                                                     |
|---------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Brandstofafel:      | Niet tafel-gebonden 8.1                                                                             |
| Gestelde vraag:     | Overzicht van klimaatprestaties van allerlei dragers als energieleverancier voor personenvoertuigen |
| Type antwoord:      | Matrix (zie bijlage A) en toelichting                                                               |
| Uit te voeren door: | M. Bolech, B. Kampman, G. Koornneef, R. Smokers R. Verbeek en M. Verbeek                            |
|                     |                                                                                                     |

#### 3.2.1 Inleiding

Tot een aantal jaar geleden werd de verkoop van nieuwe voertuigen gedomineerd door aandrijving met behulp van fossiele brandstoffen (met name benzine en diesel). Sindsdien hebben echter ook andere brandstoffen hun intrede gedaan. Hierbij gaat het bijvoorbeeld om biobrandstoffen (die kunnen worden bijgemengd met fossiele brandstoffen). Met het toenemende aanbod van voertuigen met andere aandrijftechnieken, zoals plug-in hybride voertuigen (PHEVs), batterij-elektrische auto's (BEVs) en zelfs brandstofcelvoertuigen (FCEVs), doen ook energiedragers als elektriciteit en waterstof meer en meer hun intrede in gemotoriseerde wegvoertuigen.

Om te bepalen hoe verschillende brandstoffen bijdragen aan klimaatdoelstellingen, is het van belang inzicht te hebben in de desbetreffende klimaatprestaties. Hierbij kunnen de brandstoffen niet los worden gezien van de aandrijftechniek in het voertuig waarin de brandstof gebruikt wordt. Dit zal later in de memo verder worden toegelicht.

Een overzicht van de klimaatprestaties van verschillende brandstoffen (inclusief het productie- en productieproces) in 2020 zal worden gegeven in de vorm van een tabel. Hieronder volgt de beknopte beschrijving van

- de verschillende brandstoffen (en processen om tot deze brandstoffen te komen) en
- de kenmerken van de verschillende brandstoffen met betrekking tot de klimaatprestaties.

Zie kennisvraag 8.2 (hoofdstuk 3.3) voor een nadere toelichting voor de routes op basis van biomassa.

Het overzicht van mogelijke productieroutes voor het verkrijgen van brandstoffen is niet uitputtend aangezien het aantal routes zeer groot is. Ten behoeve van overzicht is gekozen voor de momenteel meest voor de hand liggende routes voor 2020 in Nederland.

Tot slot volgt een lijst met de belangrijkste informatiebronnen die zijn gebruikt voor het deze exercitie.

In bijlage A is de brandstofroutes matrix opgenomen.

#### 3.2.2 Verschillende brandstoffen en brandstofroutes

Zoals hierboven beschreven, is het aantal aangeboden aandrijftechnieken en brandstoftypen aanzienlijk toegenomen. Hieronder volgt een overzicht van mogelijke brandstoffen voor gemotoriseerd wegverkeer.

- Vloeibare brandstoffen
  - Fossiel: Benzine, Diesel, GTL
  - Biobrandstoffen: Ethanol, FAME, HVO, BTL, Methanol, DME
  - Overig: PTL (power-to-liquid)
- Gasvormige brandstoffen
  - Fossiel: CNG, LNG, LPG
  - Biobrandstoffen: CBG, LBG
  - Overig: PTG (power-to-gas)
- Elektriciteit (uit fossiele bronnen, biomassa, nucleaire opwekking of hernieuwbare bronnen)

- Waterstof (uit fossiel aardgas of biogas of elektriciteit en water)

Voor sommige van deze brandstoffen en energiedragers zijn vele productieroutes mogelijk. Deze mogelijke productieroutes voor elektriciteit, waterstof en biobrandstoffen zijn reeds beschreven in andere memo's en zullen om die reden niet verder worden behandeld in deze memo. Aangezien de conventionele (vloeibare en gasvormige) brandstoffen en bijbehorende productieroutes niet zijn beschreven in andere memo's, worden deze hieronder behandeld.

### **Vloeibare fossiele brandstoffen**

Benzine en diesel worden momenteel voor het overgrote deel gewonnen door raffinage van ruwe olie. Raffinage is het scheiden van aardolie in een aantal verschillende bestanddelen (fracties) met verschillend molecuulgewicht. Dit geschiedt door een bijzondere vorm van destillatie, die fractionatie wordt genoemd. Ook worden onzuiverheden uit de aardolie verwijderd. De verschillende fracties die hierbij ontstaan kunnen worden gebruikt als

- brandstof (zoals benzine en diesel);
- basisgrondstof voor tal van andere producten (petrochemie);
- smeermiddel;
- grondstof voor bijvoorbeeld de wegenbouw en dakbedekking.

Naast ruwe olie kunnen ook fossiele schalieolie of teerzanden worden geraffineerd om benzine en diesel te verkrijgen. Momenteel worden deze stoffen in Europa maar in zeer beperkte mate gewonnen.

De term GTL staat voor 'Gas-To-Liquid'. GTL wordt geproduceerd voor de conversie van aardgas tot (synthetische) dieselolie. Dit is een hoge kwaliteit dieselbrandstof en kan zowel in pure vorm als in een mengsel met gewone diesel gebruikt worden.

### **Gasvormige fossiele brandstoffen**

Aardgas onder druk (200-250 bar) wordt aangeduid als CNG (Compressed Natural Gas). Aardgas bestaat grotendeels uit methaan en wordt bij normale temperatuur niet vloeibaar. Aardgas wordt geproduceerd door fossiele gassen te onttrekken aan de aardbodem en vervolgens te filteren en te raffineren. Het in Nederland gebruikte aardgas wordt voornamelijk gewonnen in Nederland, Rusland en het Midden-Oosten en vervoerd via pijpleidingen.

Door aardgas sterk af te koelen (tot -160°C) en cryogeen op te slaan ontstaat LNG. LNG wordt uit het buitenland geïmporteerd per schip of truck. Voor het omvormen van aardgas tot LNG is veel energie nodig, voornamelijk in de vorm van elektriciteit.

LPG is een vloeibaar gas dat bestaat uit een mengsel van propaan en butaan. Het ontstaat bij productie en behandeling van aardgas en raffinage van aardolie.

#### **3.2.3 *Het duiden van klimaatprestaties van verschillende energiedragers***

Zoals gesteld in de inleiding kunnen de klimaatprestaties van brandstoffen enkel worden beschouwd in combinatie met de aandrijftechniek van het voertuig waarin de brandstof gebruikt wordt. Zo kan de broeikasgasuitstoot (per energie-eenheid) van een bepaalde energiedrager relatief hoog zijn. Als er echter maar weinig van deze energiedrager nodig is om een voertuig te laten voortbewegen, kunnen de klimaatprestaties van deze brandstof in het gemotoriseerde wegverkeer toch beperkt zijn. Om die reden is het energiegebruik van voertuigen met verschillende aandrijftechnieken (ICEV, BEV, FCEV) op verschillende brandstoffen in kaart gebracht.

Om de effecten van het gebruik van verschillende brandstoffen op het klimaat in kaart te brengen, is het ook van belang het deel van de brandstofketen/energieketen in kaart te brengen dat vooraf gaat

aan de gebruiksfase. Ook in dit deel van de brandstofketen (productie en distributie van de energiedragers) worden namelijk broeikasgassen uitgestoten.

Samenvattend worden de volgende grootheden in kaart gebracht

- Tank-to-wheel (TTW) energiegebruik: energiegebruik van een voertuig met een bepaalde aandrijftechniek die rijdt op een bepaalde brandstof;
- Tank-to-wheel (TTW) emissies: emissies van een voertuig met een bepaalde aandrijftechniek die rijdt op een bepaalde brandstof;
- Well-to-wheel (WTW) emissies: emissies die vrijkomen tijdens de productie en distributie van brandstoffen;
- Well-to-wheel (WTW) energiegebruik: energie die benodigd is voor de productie en distributie van brandstoffen.

Bovendien worden ook indirecte veranderingen van landgebruik (ILUC) behandeld. ILUC treedt op bij de productie van biobrandstoffen en vloeibare biomassa wanneer land(bouwgrond) wordt gebruikt voor de productie van biomassa in plaats van andere doeleinden zoals voedselproductie. Dit kan resulteren in additionele broeikasgasemissies en aantasting van biodiversiteit.

### 3.2.3.1 *Tank-to-wheel (TTW) energiegebruik*

Elk voertuig heeft energie nodig om voort te kunnen bewegen. Het tank-to-wheel (TTW) energiegebruik van een voertuig geeft weer hoeveel energie er gemiddeld per gereden wordt gebruikt. Voordat voertuigen op de markt komen, wordt een typegoedkeuringstest uitgevoerd, waarin het gemiddelde energieverbruik per gereden kilometer wordt vastgesteld.

De laatste jaren is steeds duidelijker geworden dat het energiegebruik in werkelijkheid ('real world' energiegebruik) aanzienlijk hoger zijn dan in de typegoedkeuringstest. De belangrijkste oorzaken hiervan zijn hieronder weergegeven.

- De condities tijdens de typegoedkeuringstest wijken af van de rij-omstandigheden en de inzet en staat van het voertuig in de praktijk. Zo wordt er in werkelijkheid over het algemeen meer en harder opgetrokken, zijn de snelheden hoger en is het schakelgedrag ander dan tijdens de standaard rit (NEDC) die tijdens de typegoedkeuringstest wordt gereden.
- Onder druk van de Europese CO<sub>2</sub>-wetgeving passen fabrikanten brandstof- en energiebesparende technieken toe die op de typekeuringstest meer voordeel opleveren dan in de praktijk, zoals start-stop systemen. Dit is een ander gevolg van de niet voldoende representatieve testcyclus
- Fabrikanten realiseren lage testwaarden door slim gebruik te maken van toegestane marges of 'flexibiliteiten' in de testprocedures. Voorbeelden van deze flexibiliteiten zijn de bandenspanning en bandenprofiel, wieluitlijning, en de omgevingstemperatuur.

De verhouding tussen de 'real world' energiegebruik en 'type approval' energiegebruik van voertuigen die rijden op biobrandstoffen is hetzelfde als bij gebruik van fossiele brandstoffen.

Voor deze studie is gebruik gemaakt van het 'real-world' energiegebruik van voertuigen, aangezien dit het beste beeld geeft van de werkelijke klimaatprestaties.

De gegevens die hiervoor gebruikt zijn, zijn afkomstig van de studie 'scenarios for energietransport' van ECN, TNO en CE Delft uit 2014. Hieruit valt te concluderen dat voertuigen met verbrandingsmotoren aanzienlijk meer energie gebruiken per gereden kilometer dan elektrisch aangedreven voertuigen en brandstofcelvoertuigen. Dit komt doordat het rendement van de auto met een verbrandingsmotor (ongeveer 20%-35%) lager is dan van een auto met een elektromotor (ongeveer 60% waarmee nog ongeveer 10% kan worden teruggewonnen uit remenergie) of brandstofcel. De energieverliezen die ontstaan bij het opwekken van elektriciteit worden besproken in de paragraaf WTW (WTW) energiegebruik.

### 3.2.3.2 *Tank-to-wheel (TTW) emissies*

Wanneer het werkelijke energieverbruik van een bepaalde aandrijftechniek (in combinatie met een bepaalde brandstof) is bepaald, kan met behulp van de CO<sub>2</sub>-inhoud van een brandstof of energiedrager worden bepaald wat de CO<sub>2</sub>-emissies zijn van het voertuig. Deze CO<sub>2</sub>-emissies uit de uitlaat worden ook wel aangeduid als tank-to-wheel (TTW) emissies.

Aangezien batterij-elektrische voertuigen (BEVs) en voertuigen op waterstof (FCEVs) uit de uitlaat geen CO<sub>2</sub> uitstoten, zijn de CO<sub>2</sub>-emissies van deze voertuigen 0 g/km.

De CO<sub>2</sub> uitlaatemissies van biobrandstoffen (zoals biodiesel en biogas) zijn vergelijkbaar met die van de fossiele equivalenten (respectievelijk diesel en aardgas). De TA CO<sub>2</sub>-emissiefactoren van deze biobrandstoffen zijn dan ook vergelijkbaar met die van de fossiele equivalenten.

#### **IPCC-emissies**

De hierboven beschreven definities van directe CO<sub>2</sub>-emissies maken geen onderscheid tussen fossiele brandstoffen en hun hernieuwbare equivalenten (e.g. biodiesel en biogas). Tijdens het groeiproces van de gewassen, die worden gebruikt voor het vervaardigen van deze biobrandstoffen, wordt echter CO<sub>2</sub> opgenomen. Om die reden past het IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) een correctie toe voor deze brandstoffen. Hierbij wordt aangenomen dat alle uitgestoten CO<sub>2</sub> eerder uit de atmosfeer is opgenomen en worden de directe CO<sub>2</sub> uitlaatemissies dus gelijk gesteld aan 0 g/km.

De broeikasgasemissies die vrijkomen bij de productie van gewassen en brandstoffen uit deze gewassen (of uit organische afvalstromen) worden toegerekend aan de agrarische sector en de energiesector.

De CO<sub>2</sub>-inhoud van de brandstoffen geanalyseerd in deze studie zijn afkomstig van de JRC/Concawe studie (zie paragraaf “Belangrijkste bronnen”).

### 3.2.3.3 *Well-to-wheel (WTW) emissies*

De hierboven beschreven tank-to-wheel (TTW) CO<sub>2</sub>-uitstoot van voertuigen zijn het directe gevolg van het verbranden van brandstoffen bij gebruik in het voertuig. Echter, ook bij het extraheren, verwerken en distribueren van deze brandstoffen worden broeikasgassen uitgestoten. Dit deel van de brandstofketen wordt ook wel aangeduid als ‘well-to-tank’ (WTT). De WTT emissies worden weergegeven als de hoeveelheid broeikasgassen die wordt uitgestoten om een bepaalde hoeveelheid bruikbare energie te produceren en te vervoeren naar de locatie waar deze wordt gebruikt. Naast CO<sub>2</sub> is ook de uitstoot van twee andere broeikasgassen meegenomen, te weten methaan (CH<sub>4</sub>) en distikstofmonoxide (N<sub>2</sub>O). Deze zijn omgerekend naar CO<sub>2</sub>-equivalenten op basis van hun aardopwarmingsvermogen (GWP). Dit is een aanduiding voor de mate waarin verschillende broeikasgas bijdragen aan de klimaatverwarming.

Door de broeikasgasemissies in dit deel van de brandstofketen op te tellen bij de uitlaatemissies (ook wel ‘tank-to-wheel’ of TTW), kunnen de totale broeikasgasemissies over de hele brandstofketen of energieketen worden bepaald (ook wel ‘well-to-wheel’ of WTW genoemd).

#### **‘Well-to-wheel’ emissies voor fossiele brandstoffen**

Voor fossiele brandstoffen wordt tijdens productie en distributie, een hoeveelheid broeikasgassen uitgestoten die gelijk is aan ongeveer 10% tot 15% van de hoeveelheid CO<sub>2</sub> die wordt uitgestoten uit de uitlaat. De exacte emissies in dit deel van de energieketen worden per brandstof onderverdeeld naar het productie- en distributieproces weergegeven in de tabel.

#### **‘Well-to-wheel’ emissies voor elektriciteit**

Voor het opwekken van elektriciteit is energie benodigd. Deze energie komt momenteel voornamelijk vrij door het verbranden van aardgas en kolen in energiecentrales. Hierbij wordt broeikasgassen uitgestoten. Dit betekent dat, gegeven de huidige energiemix, er wel degelijk broeikasgassen wordt uitgestoten om BEVs te kunnen laten rijden. Indien alle elektriciteit duurzaam zou worden opgewerkt, zouden ook de WTW CO<sub>2</sub>-emissies van BEVs (zo goed als) 0 g/km zijn.

#### **‘Well-to-wheel’ emissies voor waterstof**

Waterstof wordt momenteel voornamelijk verkregen door het verwerken van aardgas. Ook hierbij komt CO<sub>2</sub> vrij. Ook voor waterstof geldt daarom dat gegeven de momenteel meest toegepaste productiemethode, er wel degelijk indirect CO<sub>2</sub> wordt uitgestoten door het rijden op waterstof. Indien duurzame energie zou worden gebruikt om waterstof te verkrijgen via een andere productiemethode, bijvoorbeeld elektrolyse op basis van groene stroom, zouden ook de WTW broeikasgasemissies van voertuigen op waterstof 0 g/km zijn. Meer productie- en distributieroutes zijn weergegeven in de tabel.

#### **‘Well-to-wheel’ emissies voor biobrandstoffen**

Biobrandstoffen worden verkregen uit biomassa. Vloeibare biobrandstoffen worden op dit moment met name gewonnen uit suiker- of oliehoudende gewassen. Daarnaast vindt productie van vloeibare en gasvormige biobrandstoffen uit organische reststromen plaats. Aangezien er CO<sub>2</sub> wordt opgenomen tijdens het groeiproces van gewassen is de broeikasgasuitstoot van dit deel van de energieketen negatief. Wel worden er broeikasgassen uitgestoten tijdens het verbouwen, oogsten en transporteren van de gewassen en de productie en distributie van de biobrandstof.

Wanneer de biobrandstof wordt gewonnen uit afvalstromen (bijvoorbeeld bij biogas) kunnen de WTW CO<sub>2</sub>-emissies zeer laag en soms zelfs negatief zijn. Wanneer deze afvalstromen niet (gedeeltelijk) gebruikt worden als brandstof, komen er broeikasgassen vrij (bijvoorbeeld CH<sub>4</sub>). Door deze materialen te verbranden (en de energie nuttig te gebruiken), komen CO<sub>2</sub> emissies vrij die (in sommige gevallen) een kleinere bijdrage hebben aan het broeikaseffect dan de broeikasgassen die waren vrijgekomen als het materiaal niet was verbrand.

Meer productie- en distributieroutes zijn weergegeven in de tabel. De gebruikte WTT CO<sub>2</sub>-emissies zijn afkomstig van de JRC/Concawe studie (zie paragraaf “Belangrijkste bronnen”).

Bij het gebruik van mest valt op dat de WTT emissies negatief zijn: de broeikasgasreductie is groter dan 100%. Dit wordt met name veroorzaakt doordat de vergisting van mest een emissie van methaan en lachgas voorkomt. In de referentiesituatie (als de mest niet wordt vergist om er bio-CNG of bio-LNG van te maken) wordt een deel van de mest in de praktijk tijdelijk opgeslagen, totdat de mest kan wordt uitgereden. Tijdens deze opslag wordt de mest deels anaeroob afgebroken, hierbij komt methaan vrij via lekkages. Als de mest wordt vergist wordt deze lekkage vermeden.

#### **3.2.3.4 Indirect Land Use Change (ILUC)**

Wanneer landbouwgrond voor voedselproductie wordt gebruikt voor het verbouwen van gewassen ten behoeve van biobrandstofproductie, neemt de voedselproductie af. Deze afname kan (deels) worden gecompenseerd door andere stukken land (zoals bossen) te ontginnen ten behoeve van voedselproductie. Dit fenomeen wordt ook wel ‘Indirect Land Use Change’ (ILUC) genoemd en kan negatieve gevolgen hebben voor de biodiversiteit en de hoeveelheid uitgestoten broeikasgasemissies. ILUC kan zelfs tot gevolg hebben dat de WTW uitstoot van biobrandstoffen hoger is dan die van conventionele brandstoffen.

Door rekening te houden met ILUC is de werkelijke WTW CO<sub>2</sub>-uitstoot van biobrandstoffen hoger dan de CO<sub>2</sub>-uitstoot tijdens het verbouwen, oogsten en transporteren van de gewassen en de productie en distributie van de biobrandstof.

### 3.2.3.5 *Well-to-wheel (WTT) energiegebruik*

Well-to-wheel energieverbruik geeft aan hoeveel energie nodig is om een bepaalde hoeveelheid bruikbare energie te produceren en te vervoeren naar de locatie waar deze wordt gebruikt ( $\text{MJ}_{\text{WTT}}$ ) per hoeveelheid beschikbare nuttige energie ( $\text{MJ}_{\text{nuttig}}$ ). De eenheid die wordt gehanteerd om deze grootte uit te drukken is  $\text{MJ}_{\text{WTT}}/\text{MJ}_{\text{nuttig}}$ . Door deze factor te vermenigvuldigen met het energiegebruik van een voertuig ( $\text{MJ}/\text{km}$ ) kan worden bepaald hoeveel energie is gebruikt voor het produceren en distribueren van de energiedrager per gemiddeld gereden kilometer met een voertuig.

#### **Energieketens voor fossiele brandstoffen**

Voor fossiele brandstoffen wordt tijdens productie en distributie, een (beperkte) hoeveelheid energie gebruikt die gelijk is aan ongeveer 15% tot 20% van de bruikbare energie van de brandstof bij het pompstation. Het energiegebruik ten behoeve van het produceren en distribueren van verschillende fossiele brandstoffen zijn weergegeven in de tabel.

Zoals beschreven in de paragraaf over TTT energiegebruik, gaat bij de omzetting van brandstof in warmte en vervolgens beweging van het voertuig, nog wel een aanzienlijke hoeveelheid energie verloren.

#### **Energieketens voor elektriciteit**

Voor het opwekken van elektriciteit is energie benodigd. Deze energie komt momenteel voornamelijk vrij door het verbranden van aardgas en kolen in energiecentrales. Afhankelijk van de productieroute, is ruim één tot ongeveer twee keer zoveel energie nodig voor de productie en distributie dan uiteindelijk gebruikt kan worden. Dit is inclusief de potentiële energie van de brandstof die wordt verbrand. Hierdoor is het WTT energiegebruik voor elektriciteit aanzienlijk hoger dan voor fossiele brandstoffen die in dit deel van de keten niet worden omgezet in een andere vorm van energie. Het 'energieverlies' vindt bij elektrische energie dus voornamelijk plaats in het WTT deel van de keten, terwijl dat bij fossiele brandstoffen voornamelijk in het TTT gedeelte plaatsvindt (zoals hierboven beschreven).

Bij elektriciteitsproductie uit nucleair materiaal of biomassa is het energiegebruik in het WTT deel van de energieketen nog aanzienlijk hoger. Het energiegebruik door productie en distributie van duurzaam opgewekte elektriciteit middels bijvoorbeeld zonne- of windenergie is juist zeer beperkt.

#### **Energieketens voor waterstof**

Waterstof wordt momenteel voornamelijk verkregen door het verwerken van aardgas. Hiervoor is typisch 0,8 tot 1,2 keer zoveel energie benodigd voor productie en distributie dan er uiteindelijk aan bruikbare energie beschikbaar is. Meer productie- en distributieroutes zijn weergegeven in de tabel.

#### **Energieketens voor biobrandstoffen**

Zoals hierboven beschreven onder het kopje 'well-to-wheel' emissies voor biobrandstoffen kunnen de broeikasgasemissies van biobrandstoffen tijdens productie en distributie negatief zijn doordat biomassa  $\text{CO}_2$  opneemt. Is er echter wel altijd energie nodig om de biomassa te planten en oogsten waardoor de totale hoeveelheid energie over de energieketen groter is dan de energie gebruikt voor het voortbewegen van voertuigen.

Meer productie- en distributieroutes zijn weergegeven in de tabel. De gebruikte factoren voor WTT energiegebruik zijn afkomstig van de JRC/Concawe studie (zie paragraaf "Belangrijkste bronnen").

#### **$\text{CO}_2$ -afvang en -opslag**

$\text{CO}_2$  dat vrijkomt bij het verbranden van koolstofhoudende brandstoffen kan worden afgevangen en ondergronds opgeslagen. Dit afvangen en opslaan van  $\text{CO}_2$  is bekend als CCS (Carbon Capture & Storage). Dit proces kan enkel effectief worden ingezet waar aanzienlijke hoeveelheden  $\text{CO}_2$  vrijkomen, zoals bij energiecentrales of in de industrie bij cement-, kunstmest- of staalproductie.

Doordat de vrijgekomen  $\text{CO}_2$  ondergronds wordt opgeslagen, komt deze niet in de atmosfeer.

Zodoende kan CCS worden toegepast om de WTT broeikasgasemissies van brandstoffen en andere energiedragers worden verminderd. Aangezien het wel energie kost om  $\text{CO}_2$  af te vangen, te

transporteren en op te slaan, neemt het WTW energieverbruik voor het produceren van een brandstof/energiedrager wel toe.

Onderdelen van CCS worden al gebruikt maar complete CCS-ketens worden nog niet op grote schaal toegepast.

### 3.2.4 Methodiek

Om de gevraagde gegevens in de tabel zo goed mogelijk te vullen en tegelijkertijd zo goed mogelijk vergelijkbaar te houden met eerdere Nederlandse rapporten en studies is ervoor gekozen om de CO<sub>2</sub>-uitstoot te baseren op de definitie van JRC/Concawe en de getallen zelf te ontleenen aan rapporten van Concawe, de aardgasroutestudie, de *factsheets* brandstoffen. Dit is gedaan omwille van interne consistentie en draagvlak. Met name de JRC/Concawe studies zijn breed gedragen studies waaraan zowel de wetenschap als de auto-industrie hebben bijgedragen.

Indien benodigde informatie niet beschikbaar is één van deze studies is gebruik gemaakt van andere studies en het oordeel van experts binnen de uitvoerende instituten.

#### Definities

- Bij de kooldioxide voetafdruk van de biobrandstoffen hanteert Concawe de definitie dat bij verbranding van brandstoffen van verse biologische oorsprong effectief geen kooldioxide vrijkomt.
- Bij brandstoffen uit een biologische grondstof, die anders afval zou worden, kan het voorkomen dat effectief een negatieve CO<sub>2</sub> uitstoot voor het maken van de energiedrager resulteert. Zie bijvoorbeeld elektriciteit uit natte biomassa: Wanneer de mest over landerijen zou worden verspreid komen veel broeikasgassen vrij. Wanneer evenwel door vergisting biogas eruit wordt gewonnen dat in elektriciteit en warmte wordt omgezet in een WKK installatie, is de overall emissie bij vergisten plus rijden in een elektro-auto kleiner dan bij het uitrijden van de mest.
- Bij het nucleair opwekken van de stroom is de definitie van de energie-inhoud van het te versplijten materiaal belangrijk voor de totale energiebalans. In dit overzicht is de Concawe rekenmethode overgenomen. Wanneer kooldioxide-effecten van productie en verrijking van het splijtingsmaterialen anders worden gelegd, is de ketenemissie voor rijden met stroom of brandstof die uit atoomenergie is opgewekt hoger. De gevolgen van een preciezer definitie vallen buiten doelstelling van deze rapportage. Het geboden beknopte overzicht biedt eerder een globaal vergelijk.

#### Ontbrekende data

Voor data en inzichten voor velden die in de aangehangen tabel nog niet zijn gevuld willen we graag medewerking voor aanvulling. In het bijzonder gaat het hierbij om:

- prestaties van biobrandstoffen die afwijken van het aardoliederivaat waarvoor ze een alternatief bieden.
- Praktijkervaring met bepaalde energiedragers die mogelijk af wijken van de nu gehanteerde data.

#### Belangrijkste bronnen

- 1] JEC WELL-TO-WHEELS ANALYS version4, Report EUR 26028 EN, Joint Research Centre (2013)
- 2] "Natural gas in transport, assessment of different routes" CE Delft (+ ECN + TNO), May 2013
- 3] "Factsheets Brandstoffen voor het wegverkeer", TNO en CE, meest recente update
- 4] "European Roadmap Energy Carriers for Powertrains", ERTRAC November 2013
- 5] Jeroen Kuipers, "Hydrocarbons from CO<sub>2</sub> and renewable energy for use as motor fuels", TNO apprenticeship report, CH3701 (2013)
- 6] Croezen, Vroonhof en Rooijers, "Welke nieuwe energiecentrale in Nederland?", CE Delft (2006)

### 3.3 Karakteristieken van biobrandstofroutes (kennisvraag 8.2)

|                  |                                                                                                                                                          |
|------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Vraagnummer:     | 8.2                                                                                                                                                      |
| Gestelde vraag:  | Welke energiedragers zijn te produceren uit welke soort biomassa en hoe verhouden zich deze routes qua energieverbruik, broeikasemissies en landgebruik? |
| Type antwoord:   | Notitie, input voor brandstoftabel kennisvraag 8.1                                                                                                       |
| Uitgevoerd door: | Bettina Kampman, Harry Croezen (CE Delft)                                                                                                                |
|                  |                                                                                                                                                          |

#### 3.3.1 Introductie

Er zijn vele verschillende soorten biobrandstof, en nog veel meer soorten biomassa waar deze mee kunnen worden geproduceerd. Elke route heeft zijn eigen energiegebruik en broeikasgasemissie over de keten (well-to-wheel, WTW), die sterk kunnen verschillen, en ook het beschikbare potentieel kan sterk verschillen. In deze notitie geven we een overzicht van de huidige routes en de routes in ontwikkeling, voor zowel de vloeibare als gasvormige biobrandstoffen.

Voor deze brandstoffen geven we de volgende milieukundige parameters:

- WTW energiegebruik: hoeveel MJ primaire energie is nodig om 1 MJ biobrandstof te produceren?
- WTW CO<sub>2</sub>eq-emissiewaarden: hoeveel gr CO<sub>2</sub>eq wordt geëmitteerd per MJ biobrandstof?
- Landgebruik: hoeveel hectare land is nodig voor de biomassateelt om 1 MJ biobrandstof te produceren (indien van toepassing)?

We geven hier alleen de waarden per MJ brandstof. Het omrekenen naar waarden per km gebeurt in de brandstoftabel, waar ook het energiegebruik per km is gegeven. De biobrandstoffen die we hier bekijken hebben in het algemeen een tank-to-wheel (voertuig)energiegebruik dat goed overeenkomt met dat van de fossiele brandstoffen die zij vervangen.

In deze notitie komen **niet** aan de orde:

- de routes om van biomassa elektriciteit of waterstof te maken andere milieukundige indicatoren zoals watergebruik, kunstmest- en pesticidengebruik, eventuele gevolgen voor de nutriënten bodembalans
- (meer)kosten van de biobrandstoffen
- compatibiliteit met voertuigen (notitie 1.3), de benodigde tankinfrastructuur etc.
- volume potentieel (zie notitie 7.6)

#### 3.3.2 Energiegebruik, CO<sub>2</sub>-emissies en landgebruik van biobrandstoffen

De keten van biobrandstoffen begint bij de bereidstelling van de biomassa en eindigt bij verbranding in de voertuigmotor, en kan uit de volgende ketenschakels bestaan:

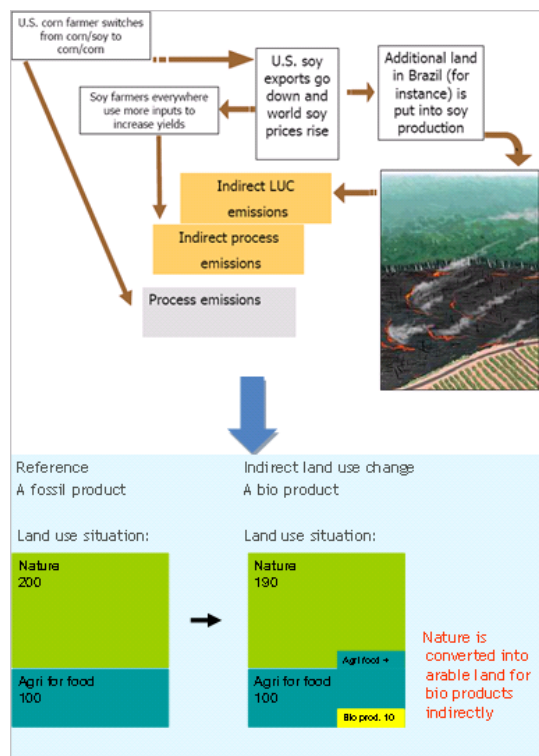
- bereidstelling – teelt van akkerbouwgewassen, inzameling van reststromen, oogst van houtachtige biomassa uit bos en landschap;
- bewerkingen van de biomassa – drogen, verkleinen, scheiden in afzonderlijke componenten als olie, suikers, eiwitrijke fracties.
- conversieprocessen – bijvoorbeeld fermentatie van suikers naar ethanol, omesteren van plantaardige olie naar biodiesel;
- opwerken van de ruwe biobrandstof – bijvoorbeeld ethanol isoleren door destillatie;
- distributie van de biobrandstof van productielocatie naar pomp;

<sup>3</sup> CO<sub>2</sub>eq = alle geëmitteerde broeikasgassen omgerekend naar eenheden CO<sub>2</sub>, aan de hand van hun global warming potential (GWP)

Energiegebruik in de keten betreft gebruik van transportbrandstoffen voor landbouwmachines en transporten en gebruik van brandstoffen en elektriciteit in de industriële processen. Broeikasgasemissies in de keten zijn deels gerelateerd aan het energiegebruik in de keten. Daarnaast kunnen procesemissies optreden, zoals lachgasemissies bij akkerbouw of methaanemissies bij vergisting van biomassa. Een derde bron van broeikasgasemissies is gerelateerd aan gebruik van hulpstoffen bij de productie van biobrandstoffen. Ook bij de productie van deze hulpstoffen – bijvoorbeeld kunstmest voor teelt - wordt energie gebruikt en broeikasgassen geëmitteerd.

Bij hout uit bos en ander landschap of teelt van akkerbouwgewassen kunnen nog emissies optreden door afname van de hoeveelheid vegetatie en/of verlies aan bodemorganische stof, bijvoorbeeld bij kap van bos voor de oogst van hout of om akkerland voor teelt te creëren.

Deze emissies kunnen direct gerelateerd zijn aan de productie van biobrandstoffen, maar er kan ook een indirecte relatie zijn. Die indirecte relatie treedt op wanneer de voor biobrandstoffenproductie gebruikte biomassa niet additioneel is geproduceerd, maar is 'omgeleid' vanuit de oorspronkelijke toepassing als voedsel of grondstof naar productie van biobrandstoffen. Dit kan ertoe leiden dat er elders extra akkerland wordt gecreëerd ten koste van bos of grasland of dat er elders extra hout in bossen wordt geoogst om alsnog in de oorspronkelijke vraag te voorzien. Dit mechanisme wordt indirect landgebruik – in het Engels indirect land use change (ILUC) – genoemd<sup>4</sup>. Dit effect is schematisch weergegeven in onderstaande figuur.



Er kunnen overigens ook indirecte reducties van emissies plaatsvinden, enkele voorbeelden:

- Door afzet van bijproducten als eiwitrijke perskoek van oliehoudende zaden (koolzaad, palmpitschroot) of de eiwitrijke restfractie van granen bij ethanolproductie als diervoeder wordt teelt van veevoedergewassen vermeden.
- Propaan van HVO-productie kan als brandstof of grondstof worden gebruikt en spaart dan gebruik van aardgas of aardolie uit.

<sup>4</sup> Het beschreven mechanisme veronderstelt dat bijvoorbeeld al het bestaande akkerland al maximaal wordt benut om in de bestaande vraag te voorzien. Het optreden van een extra vraag kan dan alleen worden gedekt door creëren van extra akkerland. In de praktijk kan bijvoorbeeld ook intensivering van teelt en verhogen van de opbrengsten per hectare plaatsvinden. Dit verminderd of voorkomt het indirecte effect.

De directe emissies zijn vaak vrij eenvoudig vast te stellen. Indirecte effecten zijn lastiger te bepalen, in de meeste gevallen omdat zij elders plaats vinden en de effecten bijvoorbeeld via een mondiale markt voor landbouwproducten worden doorgegeven. Dit is in het bovenstaande schema geïllustreerd voor de indirect land use change, hetzelfde geldt voor het voorbeeld van bijproductgebruik als veevoer – wordt daarmee teelt van veevoer vermeden in Zuid-America, in de VS of nog ergens anders? In een levenscyclusanalyse van biobrandstoffen moeten al deze effecten desondanks worden meegenomen, om het totale effect van het biobrandstofgebruik in kaart te brengen.

### 3.3.3 *Duurzaamheidseisen voor biobrandstoffen*

Duurzaamheidseisen voor biobrandstoffen zijn vastgelegd in de Renewable Energy Directive 2009 (artikel 17) en zijn vervolgens ook in de Nederlandse wet geïmplementeerd. De eisen hebben betrekking op:

- de met biobrandstoffen te realiseren netto reductie van broeikasgasemissies ten opzichte van fossiele transportbrandstoffen:
  - a. tot 1 januari 2017 geldt een minimum reductiepercentage van 35% voor alle biobrandstoffen
  - b. vanaf 1 januari 2017 geldt een minimum reductiepercentage van 50% voor alle biobrandstoffen;
  - c. vanaf 1 januari 2018 geldt voor fabrieken gerealiseerd na 1 januari 2017 een minimum reductiepercentage van 60%;
- behoud van koolstofvoorraden vastgelegd in vegetatie en bodem – geen aantasting van bos, wetlands en veenbodems
- behoud van biodiversiteit: geen aantasting van landschappen met hoge biodiversiteit of van habitatgebieden van zeldzame en beschermde soorten
- behoud van bodem- en waterkwaliteit – teelt van landbouwgewassen bedoeld als grondstof voor biobrandstoffenproductie conform de CAP regels voor ‘groene en blauwe diensten’ en de minimum standaarden voor ‘goede landbouwkundige praktijken’.
- sociale aspecten – rechten voor werknemers, uitsluiting van kinderarbeid, geen discriminatie op basis van bijvoorbeeld geslacht.
- beheersing van risico's gerelateerd aan genetisch gemodificeerde soorten (planten, micro-organismen, etc.) conform Cargagena Protocol.

Daarnaast gelden voor biomassa uit Europese bosbouw en landbouw de duurzaamheidseisen voor landbouw en bosbouw in de EU, zoals de kaderrichtlijn water en de daaruit voortvloeiende restrictie op emissies van nitraat naar bodem en oppervlaktewater.

Vanwege de relatief hoge emissies van biobrandstoffen uit voedselgewassen, de indirecte effecten op landgebruik (ILUC) en de mogelijke concurrentie met voedsel heeft de Europese Commissie de afgelopen vier jaar op verschillende manieren geprobeerd het marktaandeel van biobrandstoffen uit voedselgewassen te beperken:

- Conform artikel 21 (2) van de RED mogen biobrandstoffen uit organische reststromen, houtachtige biomassa en andere biomassa die geen voedsel is dubbel meetellen voor de 10% doelstelling. Ook dit artikel is in de Nederlandse regelgeving geïmplementeerd.
- In 2012 is door de Europese Commissie een voorstel ingediend voor, onder andere, het beperken van het aandeel biobrandstoffen uit voedselgewassen tot maximaal 5%, het vierdubbeltellen van een aantal innovatieve biobrandstoffen, en het meenemen van emissiefactoren voor ILUC gerelateerde broeikasgasemissies bij de rapportage van de netto reductie van broeikasgasemissies ten opzichte van fossiele transportbrandstoffen. Na 2020 zouden biobrandstoffen uit voedselgewassen niet meer beleidsmatig worden gestimuleerd. Met name biobrandstoffen op basis van plantaardige olie als koolzaadolie of palmolie zouden volgens achterliggende wetenschappelijke studies een hoge ILUC gerelateerde emissiefactor hebben en zouden bij meenemen van ILUC gerelateerde emissiefactoren niet meer voldoen aan de broeikasgas emissiereductie-eis van 35% - 50%. Dit voorstel is echter nog niet aangenomen door

het Europese Parlement en de Europese Raad, zodat vooralsnog onzeker is hoe het beleid er de komende jaren uit gaat zien.

In het Nederlandse beleid zijn in aanvulling op de RED 2009 aparte doelstellingen geformuleerd voor het minimum aandeel biobrandstoffen in diesel en benzine. Het Nederlandse beleid volgt verder het Europese beleid wat betreft de duurzaamheidseisen voor biobrandstoffen.

### 3.3.4 *Belangrijkste soorten biobrandstof en gebruikte biomassa*

We onderscheiden hier twee soorten vloeibare biobrandstoffen (diesel- en benzinevervangers) en gasvormige biobrandstoffen.

#### **Dieselvevangers**

De volgende biobrandstoffen kunnen worden gebruikt in dieselmotoren, met uitzondering van PPO kan een bepaald percentage worden bijgemengd zonder dat motoren moeten worden aangepast:

- PPO (pure plantaardige olie)
- FAME (Fatty Acid Methyl Esters), vaak biodiesel genoemd
- HVO (Hydrogenated Vegetable Oil)
- BTL (Biomass to Liquid), soms ook Syndiesel

PPO wordt meestal uit koolzaad geproduceerd maar kan alleen in oudere (t/m Euro III) motoren worden toegepast, waarbij de garantie echter vervalt.

FAME en HVO kunnen worden geproduceerd uit gebruikt frituurvet ('used cooking oil') en dierlijk vet (talg), en uit diverse soorten ongebruikte plantaardige olie, waarbij koolzaad en palmolie op dit moment het meest worden gebruikt.

Plantaardige olie en dierlijk vet bestaan uit zogenaamde vetzuren, die van nature als trio's zijn gebundeld door een chemische verbinding met glycerol. Bij productie van FAME wordt glycerol vervangen door methanol (omesteren). Bij productie van HVO wordt de zuurstof aan vetzuren en glycerol door een reactie met waterstof omgezet in water (H<sub>2</sub>O) en blijven propaan en diesel over.

BTL is nog in ontwikkeling. Het proces is op beperkte (demo) schaal getest, maar er is nog geen grootschalige commerciële productiefaciliteit gebouwd. BTL kan in principe uit een grote range aan biomassa worden geproduceerd, al wordt er (uit kosten- en duurzaamheidsoverwegingen) vooral gekeken naar productie uit houtachtige biomassa en algen.

De milieubelasting over de keten van deze biobrandstoffen hangt sterk af van

- a. het soort biomassa dat is gebruikt,
- b. de wijze waarop de bijproducten van de biobrandstofproductie wordt gebruikt
- c. de energie efficiëntie van de productieprocessen, en de energie die daarbij wordt ingezet.

Voor dieselvevangers uit primaire landbouwgewassen (koolzaad, palmolie) zijn hoge ILUC-emissiefactoren bepaald. Het verhaal hierachter is als volgt: de markt voor plantaardige olie kan de vraag vanuit de voedselmarkt nauwelijks bijbenen. Extra vraag naar plantaardige olie zal volgens de wetenschappelijke analyses waarin de ILUC emissiefactoren zijn bepaald dan ook min of meer automatisch leiden tot indirecte verandering in landgebruik. Die verandering zal vervolgens ook nog vooral plaatsvinden in tropische gebieden en zal ten koste gaan van vooral bosrijk gebied in deze regio's.

Koolzaadteelt vraagt veel kunstmest, vooral stikstofhoudende kunstmest per eenheid zaden en olie. Dit is terug te zien in het energiegebruik, maar ook in de broeikasgasemissie per MJ biobrandstof. Bij biobrandstoffen uit palmolie wordt tijdens de bewerking van de palmolienoten een reststroom aan zwaar met organisch materiaal belast kookvocht geproduceerd, die in een lagune wordt opgeslagen voordat het op oppervlaktewater wordt geloosd. Het kookvocht vergist in de lagune. Of het gevormde biogas wel of niet wordt afgevangen en eventueel nuttig wordt gebruikt heeft een grote invloed op de broeikasgasemissies per eenheid biobrandstof.

Bij koolzaad en palmolie kunnen volgens de verschillende studies de bijproducten blijkbaar beter voor productie van biogas worden gebruikt dan te worden gecascadeerd naar toepassingen als grondstof

voor chemie of als diervoeder. Het maakt verder weinig verschil voor de broeikasgasemissies per MJ biobrandstof of de plantaardige olie wordt verwerkt tot FAME of tot HVO.

Een overzicht van energiegebruik, broeikasgasemissies en landbeslag per MJ biobrandstof is gegeven in de volgende tabel.

| Biobrandstof        | Grondstof           | Proces                                                                                                                                                                            | Energiegebruik<br>WTT<br>(MJ primair/<br>MJ<br>biobrandstof) | GHG<br>WTT<br>Excl.<br>ILUC<br>(gr<br>CO <sub>2</sub> /MJ) | ILUC<br>emissies<br>(gr<br>CO <sub>2</sub> /MJ) <sup>5</sup> | GHG<br>WTT<br>Incl.<br>ILUC<br>(gr<br>CO <sub>2</sub> /MJ) | Land<br>beslag<br>(m <sup>2</sup> /GJ) |
|---------------------|---------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|----------------------------------------|
| PPO                 | Koolzaad            | Persen koolzaad zaden en filteren olie                                                                                                                                            |                                                              |                                                            |                                                              |                                                            |                                        |
| FAME<br>(Biodiesel) | Koolzaad            | Persen koolzaad zaden, olie omestering en:<br>1) perskoek voor diervoeder en glycerine als veevoeder of chemische grondstof                                                       | 1,12 – 1,18                                                  | 57 ± 3                                                     | 55                                                           |                                                            | 230                                    |
|                     |                     | 2) perskoek en glycerine voor biogasproductie                                                                                                                                     | 0,68                                                         | 37                                                         | 55                                                           |                                                            | 230                                    |
|                     | Palmolie            | Oliehoudende noten koken en persen, olie omesteren. Palmpit voor diervoeder, glycerine voor biogas en:<br>1) geen CH <sub>4</sub> -afvang, geen gebruik notenresten als brandstof | 1,33                                                         | 63                                                         | 55                                                           |                                                            | 64                                     |
|                     |                     | 2) geen CH <sub>4</sub> -afvang, notenresten als brandstof                                                                                                                        | 1,18                                                         | 51                                                         | 55                                                           |                                                            | 64                                     |
|                     |                     | 3) CH <sub>4</sub> -afvang, notenresten als brandstof                                                                                                                             | 1,17                                                         | 31                                                         | 55                                                           |                                                            | 64                                     |
|                     | Used cooking oil    | Zuiveren en omesteren                                                                                                                                                             | 0,28                                                         | 14                                                         |                                                              |                                                            |                                        |
|                     | Dierlijk vet (talg) | Zuiveren en omesteren                                                                                                                                                             | 0,48                                                         | 26                                                         |                                                              |                                                            |                                        |
| HVO                 | Koolzaad            | Persen koolzaad zaden, olie hydrogenen en:<br>1) perskoek voor diervoeder                                                                                                         | 0,99 – 1,12                                                  | 57                                                         | 55                                                           |                                                            | 230                                    |
|                     |                     | 2) perskoek voor biogasproductie                                                                                                                                                  | 0,66                                                         | 37                                                         | 55                                                           |                                                            | 230                                    |
|                     | Palmolie            | Oliehoudende noten koken en persen, olie                                                                                                                                          |                                                              |                                                            |                                                              |                                                            |                                        |

<sup>5</sup> Zie: [http://theicct.org/sites/default/files/publications/ICCT\\_policyupdate\\_EU-ILUC\\_2012-11.pdf](http://theicct.org/sites/default/files/publications/ICCT_policyupdate_EU-ILUC_2012-11.pdf),  
[http://ec.europa.eu/energy/renewables/biofuels/doc/biofuels/com\\_2012\\_0595\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/energy/renewables/biofuels/doc/biofuels/com_2012_0595_en.pdf)

|  |                     |                                                                                                                                |      |    |    |  |    |
|--|---------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|----|----|--|----|
|  |                     | hydrogeneren. Palmpit voor diervoeder, glycerine voor biogas en:<br>1) geen CH <sub>4</sub> -afvang, notenresten als brandstof | 1,13 | 49 | 55 |  | 64 |
|  | Used cooking oil    |                                                                                                                                | 0,16 | 8  |    |  |    |
|  | Dierlijk vet (talg) |                                                                                                                                | 0,44 | 25 |    |  |    |

Alle cijfers behalve de ILUC-emissiefactoren zijn afkomstig uit de well-to-tank studie van het JEC consortium van juli 2013<sup>6</sup> en de Biograce CO<sub>2</sub>-tool<sup>7</sup>.

Energiegebruiken zijn inclusief gebruik van hernieuwbare energie niet geproduceerd in de keten zelf. Landgebruik betreft bruto landgebruik, oftewel de reciproke van de opbrengst aan biobrandstof per hectare akkerland. Er is bij dit cijfer geen rekening gehouden met landgebruik dat wordt uitgespaard door gebruik van bijproducten als veevoeder. Hierdoor hoeft in principe minder land te worden gebruikt voor teelt van veevoedergewassen.

### Benzinevervangers

De volgende biobrandstoffen kunnen worden gebruikt in benzinemotoren in een bepaald percentage worden bijgemengd zonder dat motoren moeten worden aangepast:

- ethanol (10%, mogelijk toekomstig tot 20%), mogelijk toegepast als ETBE;
- methanol (enkele procenten);

Ethanol wordt geproduceerd door fermentatie van suikers. De suikers worden in water opgelost en door gist omgezet in ethanol en CO<sub>2</sub>, waarna de ethanol via destillatie wordt afgescheiden uit het water.

De suikers kunnen afkomstig zijn uit suikergewassen (suikerriet, suikerbiet), granen of houtachtige biomassa<sup>8</sup>. Bij granen worden de suikers vrijgemaakt door de zetmeel in de graankorrels tot suiker te koken. Bij houtachtige biomassa wordt deze:

- Of vergast waarna ethanol katalytisch wordt geproduceerd uit het gevormde synthesesgas (CO en H<sub>2</sub>).
- Of eerst afgebroken in lignine, hemicellulose en cellulose, waarna cellulose en hemicellulose door gist worden omgezet in ethanol.

Beide routes worden in de VS gedemonstreerd op commerciële schaal, de eerste voor houtige reststromen uit papierindustrie en bosbouw, de tweede voor stro.

Methanol wordt uit biomassa geproduceerd door vergassing, waarna synthesesgas wordt omgezet in de beoogde methanol. Het verschil met ethanolproductie via vergassing is de gebruikte katalysator. Methanol is trouwens ook een mogelijke grondstof voor plastics via het methanol to olefins proces.

Net als bij dieselvangers hangt het energiegebruik en de emissie van broeikasgassen af van:

- het soort biomassa dat is gebruikt,
- de wijze waarop de bijproducten van de biobrandstofproductie wordt gebruikt
- de energie efficiëntie van de productieprocessen, en de energie die daarbij wordt ingezet.

<sup>6</sup> Zie: <http://iet.jrc.ec.europa.eu/about-jec/downloads>

<sup>7</sup> Zie: <http://www.biograce.net/content/ghgcalculationtools/excelghgcalculations>

<sup>8</sup> Maar in principe uit elk suikerhoudende biomassa, dus ook aardappelen (wodka), sorghum, cassave

Ook bij deze routes kunnen volgens de verschillende studies de bijproducten blijkbaar beter voor productie van biogas worden gebruikt dan te worden gecascadeerd naar toepassingen als grondstof voor chemie of als diervoeder. Daarom maakt het voor de in de tabel gepresenteerde cijfers ook niet uit voor het landgebruik of de bijproducten wel of niet als veevoeder wordt gebruikt

| Biobrandstof | Grondstof                 | Proces                                                                                                                                                             | Energiegebruik WTT (MJ primair/ MJ biobrandstof) | GHG WTT Excl. ILUC (gr CO2/MJ) | ILUC emissies (gr CO2/MJ) | GHG WTT Incl. ILUC (gr CO2/MJ) | Land beslag (m2/GJ) |
|--------------|---------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|--------------------------------|---------------------------|--------------------------------|---------------------|
| Methanol     | Hout                      | Vergassen, katalytisch chemische reactie van CO en H2 uit synthesegas                                                                                              |                                                  | ±5                             |                           |                                |                     |
| Ethanol      | Suikerriet                | Stengels persen, sap fermenteren en ethanol uitkoken                                                                                                               | 1,32                                             | 9                              | 12                        |                                | 75                  |
|              | Suikerbiet                | Bieten persen, sap fermenteren en ethanol uitkoken. Bietenpulp:<br>1) voor veevoeder,<br>2) voor biogasproductie                                                   |                                                  | 28<br>17                       | 12<br>12                  |                                | 93<br>93            |
|              | Granen, hier alleen tarwe | Granen koken, zetmeel hydrolyseren, suikeroplossing fermenteren, ethanol uitkoken. Distiller grains:<br>1) voor veevoeder,<br>2) voor biogasproductie of brandstof | 1,62<br>1,02                                     | 65<br>35                       | 13<br>13                  |                                | 243<br>243          |
|              | Houtachtig                | Vergassen, katalytisch chemische reactie van CO en H2 uit synthesegas                                                                                              | 1,97                                             | 20                             |                           |                                |                     |
|              | Stro                      | Stro afbreken, cellulose en hemicellulose hydrolyseren, suikeroplossing fermenteren, ethanol uitkoken.                                                             | 1,95                                             | 11                             |                           |                                |                     |

Alle cijfers behalve de ILUC-emissiefactoren zijn net als bij dieselvangers afkomstig uit de well-to-tank studie van het JEC consortium van juli 2013 en de Biograce CO2-tool (zie aldaar voor de bronnen).

Energiegebruiken zijn inclusief gebruik van hernieuwbare energie niet geproduceerd in de keten zelf. Landgebruik betreft bruto landgebruik, oftewel de reciproke van de opbrengst aan biobrandstof per hectare akkerland. Er is geen rekening gehouden met landgebruik dat wordt uitgespaard door gebruik van bijproducten als veevoeder. Hierdoor hoeft in principe minder land te worden gebruikt voor teelt van veevoedergewassen.

Bij tarwe is voor de keten waarin het bijproduct wordt gebruikt als veevoeder aangenomen dat warmte voor ethanolproductie wordt geproduceerd door een WKK-installatie. Het meest gunstige concept voor productie van ethanol uit tarwe is wanneer het bijproduct wordt vergist en het geproduceerde biogas wordt gebruikt om de benodigde warmte te leveren.

### Gasvormige biobrandstoffen

De volgende biobrandstoffen kunnen worden gebruikt in wegtransport

- gecompriëerde methaan uit biomassa, zogenaamde bio-CNG
- vloeibaar gemaakte methaan uit biomassa, zogenaamde bio-LNG

Bij beide vormen van gasvormige brandstoffen wordt de methaan geproduceerd door vergisting van biomassa. Het vergistingsproces levert biogas op, een mengsel van CO<sub>2</sub> en methaan (CH<sub>4</sub>). Voor de productie van bio-LNG en bio-CBG wordt de CO<sub>2</sub> uitgewassen, waarna de methaan wordt gecompriëerd of vloeibaar wordt gemaakt.

Gebruikte soorten biomassa zijn met name reststromen als mest, GFT, reststromen uit voedingsmiddelenindustrie maar ook snijmaïs. Bij het gebruik van mest valt op dat de WTT emissies negatief zijn: de broeikasgasreductie is groter dan 100%. Dit wordt met name veroorzaakt doordat de vergisting van mest een emissie van methaan en lachgas voorkomt. In de referentiesituatie (als de mest niet wordt vergist om er bio-CNG of bio-LNG van te maken) wordt een deel van de mest in de praktijk tijdelijk opgeslagen, totdat de mest kan worden uitgereden. Tijdens deze opslag wordt de mest deels anaeroob afgebroken, hierbij komt methaan vrij via lekkages. Als de mest wordt vergist wordt deze lekkage vermeden.

| Biobrandstof | Grondstof | Proces                                                                | Energiegebruik<br>WTT<br>(MJ primair/<br>MJ<br>biobrandstof) | GHG<br>WTT<br>Excl.<br>ILUC<br>(gr<br>CO <sub>2</sub> /MJ) | ILUC<br>emissies<br>(gr<br>CO <sub>2</sub> /MJ) | GHG<br>WTT<br>Incl.<br>ILUC<br>(gr<br>CO <sub>2</sub> /MJ) | Land<br>beslag<br>(ha/MJ) |
|--------------|-----------|-----------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|---------------------------|
| Bio-CNG      | GFT       | Vergisting,<br>biogasopwerking,<br>geïsoleerde methaan<br>comprimeren | 0,99                                                         | 15                                                         |                                                 |                                                            |                           |
|              | Mest      | Vergisting,<br>biogasopwerking,<br>geïsoleerde methaan<br>comprimeren | 2,01                                                         | -70                                                        |                                                 |                                                            |                           |
|              | Maïs      | Vergisting,<br>biogasopwerking,<br>geïsoleerde methaan<br>comprimeren | 1,28                                                         | 41                                                         | 13 ÷ 5 ?                                        |                                                            | 71                        |
| Bio-LNG      |           |                                                                       |                                                              |                                                            |                                                 |                                                            |                           |

Alle cijfers behalve de ILUC-emissiefactoren zijn net als bij dieselvangers afkomstig uit de well-to-tank studie van het JEC consortium van juli 2013 en de Biograce CO<sub>2</sub>-tool (zie aldaar voor de bronnen).

Energiegebruiken zijn inclusief gebruik van hernieuwbare energie niet geproduceerd in de keten zelf. Landgebruik betreft bruto landgebruik, oftewel de reciproke van de opbrengst aan biobrandstof per hectare akkerland. Voor biogas uit snijmaïs is geen ILUC-factor berekend.

Omdat

- de opbrengst ongeveer 5 maal hoger is als bij gebruik van korrelmaïs voor productie van ethanol
- snijmaïs en korrelmaïs respectievelijk uitsluitend en in belangrijke mate worden gebruikt als veevoeder
- voor ethanol uit korrelmaïs wordt uitgegaan van een ILUC-emissiefactor van 13 g/MJ

zou bij benadering kunnen worden aangenomen dat de ILUC-emissiefactor voor biogas uit snijmaïs ongeveer 20% is van die voor ethanol uit korrelmaïs.

Voor bio-LNG zal het eigen energiegebruik wat hoger zijn dan voor bio-CNG omdat vloeibaar maken van methaan meer energie kost dan comprimeren.

### Toekomstige ontwikkelingen

De toekomst van biobrandstoffen en biochemicalïen lijkt voornamelijk gebaseerd op suiker:

- zowel in de EU als in Noord Amerika zijn commerciële installaties opgestart of in ontwikkeling waarbij houtachtige biomassa wordt omgezet in ethanol. Voorbeelden zijn
  - o Betarenewables, Italië met een 60.000 ton/jaar installatie;
  - o Fibreright LLC heeft een concept ontwikkeld voor verwerking van huisvuil waarbij o.a. ethanol (Thrashanol) uit GFT en niet herverwerkbaar papier wordt geproduceerd. Hun eerste fabriek is in aanbouw in Iowa.
  - o Een ander op basis van GFT en papierafval gebaseerd concept is ontwikkeld door Ineos (VS) en is inmiddels op commerciële schaal operationeel in Indian River (Florida)
  - o POET/DSM, Abengoa hebben installaties op commerciële schaal (beide 75 kton/jaar) gebouwd of in aanbouw voor productie van ethanol uit stro en andere agrarische reststromen.
  - o Andere partijen die vergelijkbare technologie voor conversie van lignocellulose biomassa in ethanol ontwikkelen zijn Clariant, Inbicon, Iogen, Dupont, BP, Petrobras en Mascoma
- Amyris (VS) produceert een C15 koolwaterstof (farnaseen) uit suikers door fermentatie met genetisch gemodificeerde micro-organismen. Er zijn inmiddels 4 commerciële installaties operationeel in Brazilië, Spanje, . De koolwaterstof kan worden verwerkt tot een dieselachtige brandstof, maar ook tot hoogwaardigere producten als plastics, weekmakers, smeermiddelen en grondstoffen voor consumentenproducten.
- Virent (VS) ontwikkelt een technologie waarbij suikers via katalytische chemische processen in

Producenten van geavanceerde biobrandstoffen uit vetten en oliën zijn met name Dynamic Fuels en Neste. In beide gevallen betreft het hydro deoxygenatie (het verwijderen van zuurstof door reactie met waterstof).

Door Enerkem (Edmonton) en BioMCN (Delfzijl) wordt gewerkt aan vergassingsinstallaties op commerciële schaal voor respectievelijk afval en hout, waarna het geproduceerde synthesesgas wordt omgezet in methanol en – in de Enerkem technologie – ethanol en andere alcoholen. Vergelijkbare concepten worden ontwikkeld door Tembec (Canada) en Värmland (Zweden).

Niet direct gerelateerd aan de biobrandstoffenmarkt zijn initiatieven in Göteborg en Alkmaar voor de productie van SNG (synthetisch aardgas) geproduceerd via vergassing van hout.

Een overzicht van installaties is te vinden op de website van IEA Bioenergy Task 39<sup>9</sup>.

De ontwikkelingen spelen zich met name in de VS af. In het geval van Abengoa en DSM/POET is de technologie in de EU ontwikkeld en in de VS op commerciële schaal gebouwd. Dit hangt vooral samen met het biobrandstoffenbeleid en de mate waarin nieuwe installaties kunnen rekenen op financiële ondersteuning door overheden. De VS heeft een duidelijke wettelijke doelstelling voor de in de komende jaren op de markt te brengen zogenaamde 2e generatie biobrandstoffen en heeft al meerdere jaren een programma waarin subsidies van tientallen tot honderden miljoenen aan subsidies worden verstrekt. Inmiddels heeft de EU ook subsidiebudgetten voor nieuwe technologie (bijvoorbeeld voor BioMCN's Wood Spirit project), maar harde wettelijke doelstellingen ontbreken tot nu toe.

Over de potentie van de teelt van algen bestaat nog veel onduidelijkheid.

<sup>9</sup> Zie: <http://demoplants.bioenergy2020.eu/projects/mapindex> voor het directe webadres

### 3.4 Eerste schatting beschikbaarheid van biomassa (kennisvraag 2.1)

|                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Brandstofatfel:  | <b>Wegvervoer gasvormig, vraag 2.1</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| Gestelde vraag:  | Hoeveel biomassa kan in 2030 beschikbaar zijn voor transport.<br><br>Bandbreedtes van beschikbaarheid op basis van gezaghebbende (inter)nationale studies (IEA annexen etc); in tabelvorm:<br>1. hoeveel biomassa EU en NL totaal. Bij aandeel NL variëren tussen veel import (NL als bioport voor EU, zoals de havenbedrijven ambieren) en met beperkte import (omdat ook andere landen eraan trekken)<br>2. hoeveel van die in NL beschikbare biomassa gaat dan naar transport. Laag aandeel bij veronderstelling dat biobased chemie en materialen lukt, hoog aandeel als het tegenvalt. |
| Type antwoord:   | Literatuurreview                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| Uitgevoerd door: | Marc Londo (ECN), Anouk van Grinsven (CE Delft)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |

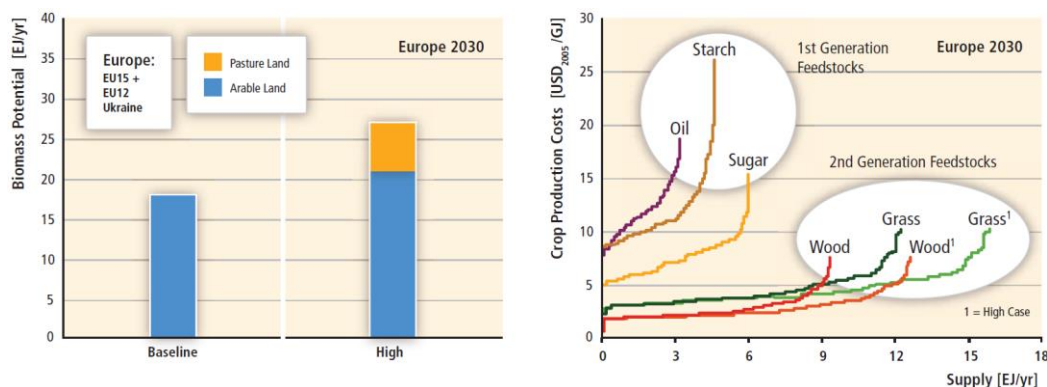
Naar deze vraag is op drie manieren gekeken:

1. Zijn er projecties of scenario's van het biomassapotentieel? Wat valt hieruit op te maken?
2. Zijn er internationale ramingen in energiescenario's die iets zeggen over het gebruik van biomassa in transport in 2030?
3. Hoe zijn die scenario's te vertalen naar de Nederlandse context?

#### 3.4.1 Biomassa-potentieelschattingen

Er bestaat bepaald geen wetenschappelijke consensus over de beschikbaarheid van (duurzame) biomassa voor energie en andere non-food voedseltoepassingen. Dat geldt voor de beschikbaarheid op dit moment en zeker ook voor de beschikbaarheid in de komende decennia.

Het IPCC Special Report on Renewable Energy bijvoorbeeld, geeft een mondiaal technisch potentieel van 170 EJ (zonder jaartal) aan biomassa voor non-food toepassingen, rekening houdend met de grondgebonden vraag naar onder meer voedsel en veevoeder. Voor Europa wordt in dit rapport het totale biomassapotentieel geschat tussen 18 en 27 EJ (zie figuur 1) in 2030, uit gewassen en reststromen, of pakweg kwart tot bijna de helft van de totale primaire energievraag in 2030 (EC 2013). Alleen al uit oliehoudende gewassen (het type gewas met het grootste ruimtebeslag) zou al 3 EJ (125 Mtoe) aan biobrandstoffen kunnen worden geproduceerd, of pakweg de helft van de EU-energievraag in transport in 2030. Ook voor andere regio's in de wereld schat het IPCC-rapport substantiële biomassapotentiëlen op de middellange termijn.



Figuur: Europese potentiëlen voor biomassa totaal (links) en cost-supply curves voor specifieke energiegewassen in Europa (EU plus Oekraïne) in 2030. Bron: IPCC (2011).

Andere partijen en studies stellen echter kritische vragen bij dergelijke potentieelschattingen. Bijvoorbeeld rond de aannames in de landbouwproductiviteit en de beschikbaarheid van water (Bindraban et al 2010), de mate waarin voedselmarkten zullen worden beïnvloed (een VN-official heeft in deze context biobrandstoffen ooit een “misdaad tegen de menselijkheid” genoemd), en de mate waarin biobrandstoffen gepaard gaan met ontbossing en andere niet-duurzame praktijken. Maar weer andere studies en partijen nuanceren dit beeld en laten vooral zien dat de onderliggende mechanismen fundamenteel complex zijn (Schmidhuber 2006, Langeveld 2013, Gao et al. 2011). Al met al is de toekomstige beschikbaarheid van duurzame biomassa nog met grote onzekerheden omgeven. De voorwaarden waaronder er duurzame biomassapotentieel gecreëerd kan worden zijn echter wel redelijk in kaart:

#### Beschikbaarheid van biomassa:

- Ontwikkelingen landbouwproductiviteit. Het stimuleren van een verdere stijging van de landbouwproductiviteit zorgen ervoor dat de voedselvraag met minder land kan worden gedekt en dat er land kan worden ‘vrijgespeeld’ voor bioenergie. Wanneer dit gepaard gaat met verdere efficiencyverbetering (en niet intensivering zonder meer) hoeft dit niet op voorhand te leiden tot negatieve neveneffecten.
- Ontwikkelingen in de voedselconsumptie, de vlees- en zuivelconsumptie in het bijzonder. Een snelle stijging van de consumptie van dierlijke producten leidt tot een toename van de hoeveelheid grond nodig voor voedselteelt. Omgekeerd kan een verschuiving van dierlijk naar plantaardig eiwit in onze consumptie grond vrijmaken voor andere doeleinden.
- De beschikbaarheid van residuen uit bossen en andere biomassa-reststromen is weliswaar minder onzeker dan die in de landbouw, maar ook hier kunnen bijvoorbeeld ontwikkelingen in de bosbouw, vraag naar andere houtige producten en alternatieve toepassingen van reststromen de beschikbaarheid sterk doen veranderen.

#### Duurzaamheid van biomassa:

- Effecten van biomassa op voedselmarkten kunnen alleen worden beschouwd in samenhang met de diverse bijzondere eigenschappen en imperfecties van voedselmarkten (Schmidhuber 2006).
- De mechanismen achter ontbossing zijn complex, waardoor ook de relatie tussen biobrandstoffen en ontbossing niet eenduidig kan worden bevestigd of ontkracht (Gao et al 2011). Maar voor verantwoord gebruik van biomassa zal actief beleid tegen ontbossing een essentiële voorwaarde zijn (IPCC 2011).
- Dit soort complexiteit maakt ook het inschatten van ILUC-effecten onzeker, zeker voor de langere termijn. Wat niet wegneemt dat er concrete maatregelen kunnen worden voorgesteld (Commissie Corbey 2009).

De vraag of te verwachten valt dat het mondiaal gaat lukken om met effectief flankerend beleid de potentiële aan duurzame biomassa ook op een duurzame manier te ontsluiten valt buiten het kader van deze notitie. De huidige worstelingen met certificering van duurzame biomassa en het al dan niet opnemen van ILUC-factoren in de Europese Richtlijn hernieuwbare energie geven in elk geval aan dat dit geen eenvoudige opgave is.

#### 3.4.2 IEA-indicaties voor gebruik biomassa in transport in 2030

Ondanks alle onzekerheden van paragraaf 1, die maken dat de vraag naar beschikbaarheid van biomassa in essentie niet te beantwoorden is, komt biomassa natuurlijk voor in diverse mondiale scenario's. Ter illustratie geven we hier enkele gegevens voor biobrandstoffen uit de meest recente World Energy Outlook (IEA 2013). Daarin het IEA drie scenario's uitgewerkt voor de mondiale energiehuishouding:

- “Existing policies”: ontwikkelingen op basis van bestaand beleid
- “New policies”: ontwikkelingen op basis van concrete beleidsvoornemens
- “450 scenario”: een scenario waarbij de inspanningen zodanig worden opgevoerd dat de mondiale CO<sub>2</sub>-concentratie de 450 ppm niet overschrijdt, wat wordt verondersteld overeen te komen met een gemiddelde temperatuurstijging van maximaal 2 °C.

Dit laatste scenario is goed vergelijkbaar met het ambitieniveau van de transportvisie: de ambitie van 60% emissiereductie in 2050 in transport is consistent met de EU-roadmap die ook past binnen een 2 °C-strategie.

De aandelen biobrandstoffen in de totale EU-transportmix in de New Policies en 450 scenario's zijn samengevat in onderstaande tabel.

Tabel: Energiemix in de transportsector in de EU in 2030 in twee verschillende IEA-scenario's (IEA 2013).

|                            | New policies scenario |     | 450 scenario |     |
|----------------------------|-----------------------|-----|--------------|-----|
|                            | Mtoe                  | %   | Mtoe         | %   |
| Olie                       | 212                   | 77% | 137          | 59% |
| Biobrandstoffen            | 35                    | 13% | 58           | 25% |
| Elektriciteit              | 10                    | 4%  | 16           | 7%  |
| Overig (incl. gas)         | 5                     | 2%  | 5            | 2%  |
| Totaal<br>(2013: 320 Mtoe) | 275                   |     | 233          |     |

De tabel geeft aan dat bij voorgenomen beleid het aandeel biobrandstoffen in transport in de EU zal liggen in de ordegrootte van 13%, maar dat inzet van 25% biobrandstoffen naar verwachting nodig is om de klimaatambities te realiseren. De Energy Outlook vermeldt ook dat in 2035 naar verwachting 20% van de geprojecteerde biobrandstoffen zal bestaan uit geavanceerde biobrandstoffen (2<sup>e</sup> generatie, met laagwaardige biomassa als grondstof). Het grootste deel bestaat dus nog uit conventionele biobrandstoffen. In beide scenarios loopt de energievraag in transport overigens terug in vergelijking met heden, door efficiencyverbeteringen.

### 3.4.3 Vertaling naar de Nederlandse context

Voor een indicatieve vertaling naar de Nederlandse context is het 450 scenario genomen, met een combinatie van de volgende variaties:

- “Bioport”: Nederland gebruik 150% van het proportionele EU-aandeel aan biobrandstoffen, versus ‘Lowbio’ met 75% van dat proportionele aandeel
- “Chemie”, waarin 75% van het proportionele aandeel naar biobrandstoffen gaat, versus “fuels” waarin dit aandeel 125% bedraagt.

Voor de Nederlandse vraag in de transportsector is gebruik gemaakt van de Referentieraming 2012 (PBL/ECN 2012).

De resulterende hoeveelheden en aandelen biobrandstoffen voor de vier gecombineerde varianten in de Nederlandse transportmix zijn weergegeven in tabel 2. Gegeven deze indicatieve aannames ligt de bandbreedte voor het aandeel biobrandstoffen in Nederland in 2030 tussen de 14% en 47%, hetgeen illustreert dat de onzekerheid op dit punt nog substantieel is. Deze bandbreedte is consistent met de scenario's die door TNO, CE en ECN zijn opgesteld (Cuelenaere et al 2014).

*Tabel: Aandeel biobrandstoffen in Nederland, uitgaande van het IEA-WEO '450 scenario', met een differentiatie in het aandeel van Nederland in de totale vraag naar biobrandstoffen, en een differentiatie in de verhouding tussen biobrandstoffen en chemie.*

|                                                | Bioport-<br>chemie | Bioport-<br>fuels | Lowbio-<br>chemie | Lowbio-<br>fuels |
|------------------------------------------------|--------------------|-------------------|-------------------|------------------|
| Hoeveelheid biobrandstoffen NL (Mtoe)          | 3,5                | 5,8               | 1,7               | 2,9              |
| Aandeel biobrandstoffen in totaal transport NL | 28%                | 47%               | 14%               | 23%              |

## Referenties

Bindraban, P., E. Bulte, S. Conijn, B. Eickhout (PBL), M. Hoogwijk, M. Londo (2010): Can biofuels be sustainable by 2020? An assessment for an obligatory blending target of 10% in the Netherlands. WAB-programma, Den Haag.

Commissie Corbey (2009): Maak landbouw deel van de oplossing! Advies over Indirect Land Use Change (ILUC). Commissie Corbey, Den Haag.

Cuelenaere, R.; Koornneef, G.P.; Smokers, R.; Essen, H. van; Grinsven, A. van; Hoen, M. 't; Londo, H.M.; Zuijlen, C.L. van; Wilde, H.P.J. de; Usmani, O.A. (2014): Scenarios for energy carriers in the transport sector. TNO/CE Delft/ECN.

EC (2013): Impact assessment accompanying the Energy Roadmap 2050. Europese Commissie, Brussel.

Gao Y, M. Skutsch, O. Masera, P. Pacheco (2011): A global analysis of deforestation due to biofuel development. Center for International Forestry Research, Bogor Barat.

IEA (2013): World Energy Outlook. International Energy Agency, Parijs.

IPCC (2011): IPCC Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation. Prepared by Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Langeveld J.W.A. J. Dixon, H. van Keulen en P.M. F. Quist-Wessel (2013): Analyzing the effect of biofuel expansion on land use in major producing countries: evidence of increased multiple cropping. Biofuels, Bioprod. Bioref; DOI: 10.1002/bbb.

PBL/ECN (2012): Referentieraming energie en emissies: actualisatie 2012; Energie en emissies in de jaren 2012, 2020 en 2030, PBL/ECN, Bilthoven/Petten.

Schmidhuber J. (2006): Impact of an increased biomass use on agricultural markets, prices and food security: A longer-term perspective. Paper was prepared for the "International symposium of Notre Europe", Paris, 27-29 November, 2006.

### 3.5 Nadere specificatie beschikbaarheid biomassa (kennisvraag 7.6)

|                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Brandstofafel:   | 7. Duurzame energie en groene groei                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| Gestelde vraag:  | <p><b>7.6.</b> Nadere specificatie beschikbaarheid biomassa i.v.m. grote onzekerheid</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- maak een nadere specificatie van verschillende biomassastromen, geef aan hoe onzeker de beschikbaarheid is per stroom, waardoor die onzekerheid wordt bepaald en als welke gasvormige en vloeibare biofuels ze kunnen worden toegepast.</li> <li>- Wat zijn de belangrijkste knelpunten voor beschikbaarheid en wat zijn de opgaven die hieruit volgen?</li> <li>- Is er voldoende beschikbaar indien de noodzakelijke investeringen worden gedaan? (vraag gastafel)</li> <li>- Wat is maximum hoeveelheid biomassa per segment? (vraag gastafel)</li> </ul> |
| Uitgevoerd door: | Marc Londo (ECN), co-reading door Anouk van Grinsven en Harry Croezen (CE).                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |

De beantwoording op vraag 2.1 geeft een grote bandbreedte in de mogelijke beschikbaarheid van biobrandstoffen voor Nederland in 2030. Daarom hebben we een nadere opsplitsing gemaakt aan de hand van de volgende vragen;

1. Welke biomassastromen zijn relevant voor biobrandstoffen (en voor welke soorten biobrandstoffen), hoeveel biomassa kan er per stroom beschikbaar zijn voor Nederland in 2030, en van welke onzekerheden is dit afhankelijk?
2. Hoeveel van deze biomassa zou beschikbaar kunnen komen als biobrandstoffen voor het Nederlandse transport over land en water, en waar is dat van afhankelijk?
3. Voor welke PMC's zouden deze biobrandstoffen beschikbaar kunnen zijn?
4. Hoe zou kunnen worden omgegaan met de grote mate van onzekerheid in de beschikbaarheid van biobrandstoffen in 2030?

Deze opsplitsing leidt niet tot een verkleining van de onzekerheden maar geeft meer gericht inzicht in de oorzaken ervan en de mogelijkheden om in het actieplan maatregelen op te nemen om de beschikbaarheid te vergroten.

De methode voor vragen 1 en 2 is samengevat in onderstaand schema. Deze redeneerlijn wordt verder onderbouwd en van voorstellen voor aannames voorzien in secties 1 en 2.

#### Hoeveel duurzame biobrandstoffen zijn er in 2030 beschikbaar voor Nederlandse sectoren?

|   |                                                             |                                                                                                                                               |
|---|-------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 | Start: Mondiale beschikbaarheid duurzame biomassa           | PBL                                                                                                                                           |
| 2 | Omrekenen: Beschikbaarheid duurzame biomassa voor Nederland | <p>Verdeelsleutel: in 2030</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Per capita</li> <li>• Primair energieverbr.</li> <li>• GDP</li> </ul> |

|   |                                                                                  |                                                      |
|---|----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|
| 3 | Omrekenen: Inzet over sectoren: Chemie, elektriciteit, warmte, transport         | Chemie: Groenboek, Corbey<br>E,W,T: EEA, Ecofys, IEA |
| 4 | Omrekenen: Omzetting biomassa in biobrandstof                                    | Eigen expertise                                      |
| 5 | Af: Reservering voor internationale sectoren (int. scheepvaart, int. luchtvaart) | IMO, ICAO<br>naar NL via verdeelsleutel              |
| 6 | Af: Beperking 2 <sup>e</sup> generatie door vereiste technologie-ontwikkeling    | IEA ETP                                              |
| 7 | Resultaat: Beschikbare duurzame biobrandstoffen voor Nederlandse sectoren        | Gegeven onzekerheden:<br>hoge en lage variant        |

Bij de beantwoording zijn we uitgegaan van technische potentiën. Economische potentiën zijn primair afhankelijk van de koopkracht vanuit verschillende sectoren, en dus ook van kostenverhouding tussen andere technieken voor de productie van elektriciteit, warmte en brandstoffen en die van biobased opties. Een dergelijke analyse valt buiten de scope van deze studie. Impliciet is er wel rekening mee gehouden omdat studies die iets zeggen over de inzet van biomassa (zie sectie 2.1) dat doen.

### 3.5.1 Welke biomassastromen zijn relevant voor biobrandstoffen en hoeveel is ervan beschikbaar in 2030?

Tabel 1 geeft een overzicht van de beschikbaarheid van biomassa zoals die in verschillende studies is ingeschat. Wat direct opvalt is dat de onzekerheden groot zijn. Op basis van de onzekerheid in mondiale beschikbaarheid, gecombineerd met het verschil in toerekening naar Nederland op per capita basis of gerelateerd aan energiegebruik, levert al een factor 7 op tussen de bovenkant en de onderkant van de bandbreedte. Studies die naar Europa en Nederland kijken laten zien dat Nederland in elk geval netto biomassa zal importeren, en in mindere mate ook Europa als geheel. Wat betreft de oorzaken voor de grote bandbreedte in deze indicaties:

- Alle bekeken studies gebruiken duurzaamheidscriteria. Zo mag de productie van voedsel en veevoeder niet in gevaar komen, mogen geen beschermde natuurgebieden worden ingezet voor productie van (rest)hout, mag een reststroom als stro niet onbeperkt worden afgevoerd, en wordt rekening gehouden met alternatief gebruik van residuen en afval. Dit betekent uiteraard niet dat duurzaamheidscriteria geen rol meer spelen, in de praktijk zullen die nodig zijn om zeker te stellen dat de geproduceerde biomassa ook daadwerkelijk duurzaam is. Er zijn daarom diverse initiatieven zoals de Roundtable on Sustainable Biomaterials die duurzaamheidscriteria ontwikkelen.
- Issues als ILUC, en carbon neutrality en concurrerend gebruik zijn dan ook meegenomen in de schattingen. Ook daarvoor geldt dat dat in de praktijk moet worden geborgd.
- De onzekerheden in deze schattingen worden niet veroorzaakt door het strenger of minder streng toepassen van duurzaamheidscriteria. De onzekerheden zitten vooral in ontwikkelingen van concurrerend gebruik:
  - Landbouwgewassen en extra productie in de bosbouw:
    - De ontwikkeling van de voedselconsumptie (inclusief die van vlees en zuivel)
    - De ontwikkeling van de landbouwproductiviteit
    - De mate waarin in landbouw en bosbouw op marginale gronden mogelijk is,
    - Ontwikkelingen in de bosbouw
  - Droge reststromen: ontwikkeling van alternatief gebruik, onzekerheden in een verantwoord afvoerpercentage van stro
  - Afvalstromen:

- Het succes van cascadering, bioraffinage recycling, cradle-to-cradle en afvalpreventie in het algemeen: hoe meer reststromen worden voorkomen of hoogwaardig worden hergebruikt, hoe minder er beschikbaar is als biomassa.

Ook de vertaling van mondiale technische potentiëlen naar wat er voor Nederland beschikbaar is kan op verschillende manieren worden gedaan, met consequenties voor de beschikbaarheid:

- Op basis van het aandeel van de Nederlandse bevolking in de wereldbevolking in 2030. Deze verdeelsleutel redeneert vanuit het idee dat iedere wereldburger evenveel biomassa zou mogen gebruiken. In dat geval wordt ongeveer een kwart procent van het mondiale potentieel aan Nederland toegerekend.
- Op basis van het aandeel van Nederland in het mondiale energieverbruik (TPES), vanuit het idee dat landen die meer energie gebruiken ook meer biomassa zouden mogen gebruiken. Dan wordt de verdeelsleutel ongeveer een half procent.
- Op basis van het aandeel van Nederland in het mondiale GDP, vanuit het idee dat rijke landen (met navenant een hogere opgave om CO<sub>2</sub>-emissies te reduceren) meer biomassa zouden mogen gebruiken; dan krijgt Nederland ongeveer een procent toegewezen.

Merk op dat niet al deze biomassa ook als primaire grondstof naar Nederland hoeft te worden verscheept. Zeker in het geval van diverse reststromen is dat niet waarschijnlijk. Lokale conversie naar brandstof die dan internationaal verhandeld wordt ligt dan meer voor de hand.

*Voorstel:* Gegeven de onzekerheden, laten we conform PBL uitgaan van een bandbreedte in de mondiale biomassabeschikbaarheid van 50-150 EJ in 2030, oftewel een lage variant van 50 EJ en een hoge variant van 150 EJ. Vertaling naar Nederland: Op basis van per capita aandeel in de lage variant, op basis van aandeel in primair energieverbruik in de hoge variant. Dat leidt dan tot 120-780 PJ aan biomassa voor Nederland in 2030.

**Tabel: Technische potentiëlen van duurzame biomassa (primair energie) uit verschillende stromen in 2030, en belangrijkste issues per stroom.**

| Soort biomassa                                              | Omvang grondstof NL 2030 (PJ) bij terugrekenen wereldpotentieel |                        | Omvang grondstof NL bij terugrekenen EU-pot. | Omvang grondstof in Nederland nationale schattingen |                        | Grondgebonden speelt ILUC?           | Spelen concurrerende toepassingen? Welke?    | Speelt carbon neutrality? | Mogelijk te produceren biobrandstof                        |
|-------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|------------------------|----------------------------------------------|-----------------------------------------------------|------------------------|--------------------------------------|----------------------------------------------|---------------------------|------------------------------------------------------------|
| Bron                                                        | Ros et al. (2012) en PBL (2013)                                 |                        | Elbersen et al. (2012)                       | Van Stralen (2012)                                  | Koppejan et al. (2012) |                                      |                                              |                           |                                                            |
| Scenario                                                    | Laag (50 EJ mondiaal)                                           | Hoog (150 EJ mondiaal) | Sustainability scenario (15EJ)               | Sustainability scenario                             | L-H scenario's         |                                      |                                              |                           |                                                            |
| Verdeelsleutel                                              | Capita                                                          | TPES                   | TPES                                         |                                                     |                        |                                      |                                              |                           |                                                            |
|                                                             |                                                                 |                        |                                              |                                                     |                        |                                      |                                              |                           |                                                            |
| Landbouw                                                    |                                                                 |                        |                                              |                                                     |                        |                                      |                                              |                           |                                                            |
| a. Natte afvalstromen uit landbouw en voedselketen          | 50                                                              | 160                    | 140                                          | 160                                                 |                        | Deels                                | Veevoeder (deels)                            |                           | Biomethaan                                                 |
| b. Droge reststromen uit landbouw (bijvoorbeeld stro)       | 10                                                              | 80                     | 100                                          | 5                                                   |                        | -                                    | Bodemkoolstof                                |                           | 2 <sup>e</sup> generatie biobrandstoffen                   |
| c. Landbouwproducten                                        | 10                                                              | 130                    | 0                                            | 0                                                   |                        | Ja                                   | Voedsel, veevoeder                           |                           | 1 <sup>e</sup> generatie biobrandstoffen                   |
|                                                             |                                                                 |                        |                                              |                                                     |                        |                                      |                                              |                           |                                                            |
| Bosbouw                                                     |                                                                 |                        |                                              |                                                     |                        |                                      |                                              |                           |                                                            |
| a. Afvalstromen hout (sloophout, houtstof)                  | 10                                                              | 80                     | 120                                          | 30                                                  |                        | -                                    |                                              | Nee                       | 2 <sup>e</sup> generatie biobrandstoffen                   |
| b. Reststromen bosbouw (twijgen, toppen)                    | 10                                                              | 80                     | 100                                          | 10                                                  |                        | -                                    | Biodiversiteit, deels materiaal-toepassingen | Deels                     | 2 <sup>e</sup> generatie biobrandstoffen                   |
| c. Extra productie (inclusief snelgroeiend hout en grassen) | 25                                                              | 240                    | 170                                          | 10                                                  |                        | Deels                                | Materiaal-toepassingen                       | Ja                        | 2 <sup>e</sup> generatie biobrandstoffen                   |
|                                                             |                                                                 |                        |                                              |                                                     |                        |                                      |                                              |                           |                                                            |
| Aquatische biomassa                                         |                                                                 |                        |                                              |                                                     |                        |                                      |                                              |                           |                                                            |
| a. Algen, wieren                                            | 0                                                               | 20                     | n/a                                          |                                                     |                        | Niet bij off-shore, wel bij on-shore |                                              |                           | 1 <sup>e</sup> en 2 <sup>e</sup> generatie biobrandstoffen |
| Totaal                                                      | 120                                                             | 780                    | 630                                          | 220                                                 | 220-280                |                                      |                                              |                           |                                                            |

### 3.5.2 Hoeveel van deze biomassa zou beschikbaar kunnen komen als biobrandstoffen voor het Nederlandse transport over land en water, en waar is dat van afhankelijk?

Voor een vertaling van beschikbare biomassa naar beschikbare biobrandstoffen spelen in elk geval drie zaken:

- Biomassa kan worden ingezet voor elektriciteit, warmte, biobrandstoffen en materialen.
- Een deel van de biobrandstoffen zal niet voor nationale sectoren beschikbaar zijn omdat ook de internationale scheepvaart en het vliegverkeer moeten worden verduurzaamd.
- De conversietechnologie om 2<sup>e</sup> generatie biobrandstoffen te produceren is nog niet op grote schaal beschikbaar.

Daarnaast kan het nuttig zijn om de aannames die hierbij spelen specifiek te maken voor drie brandstofcategorieën:

- Biomethaan (uit natte agrarische reststromen, grondstofpotentieel maximaal 160 PJ)
- 1<sup>e</sup> generatie biobrandstoffen (primair uit voedselgewassen, maximaal 130 PJ)
- 2<sup>e</sup> generatie biobrandstoffen (uit lignocellulose grondstoffen, maximaal 500 PJ)

### 3.5.3 Waar inzet biomassa?

Drie studies (Ecofys 2010, IEA 2013 en EEA 2013) geven een relatieve inzet van biomassa over de sectoren warmte, elektriciteit en transport (als biobrandstof). Deze zijn samengevat in Tabel 2. Ook hieruit blijkt dat de verdeling over de sectoren sterk afhankelijk is van scenario-aannames en uitgangspunten. De EEA-studie komt bijvoorbeeld op een laag aandeel biobrandstoffen omdat de inzet van biomassa voor warmte per ton biomassa veel meer hernieuwbare energie oplevert. De Ecofys-studie richt zich op 100% hernieuwbare energie in 2050, en daarvoor moeten in alle sectoren alle opties uit de kast worden gehaald. Duurzame warmte en elektriciteit kunnen op diverse manieren worden opgewekt maar de transportsector heeft minder opties, waardoor dan een groter aandeel richting biobrandstoffen gaat. Het IEA richt zich op CO<sub>2</sub>-emissiereductie, waardoor ook 'schoon fossiel' opties worden meegenomen, waardoor het aandeel biomassa naar transport een waarde heeft tussen die in beide andere studies.

**Tabel: Inzet van biomassa (warmte, elektriciteit, biobrandstof) in verschillende studies.**

| Sector                                    | Warmte | Elektriciteit | Biobrandstof |
|-------------------------------------------|--------|---------------|--------------|
| Ecofys (2010)                             | 36%    | 16%           | 48%          |
| EEA (2013) (resource efficiency scenario) | 52%    | 38%           | 10%          |
| IEA (2013) (450 scenario)                 | 42%    | 35%           | 21%          |

Deze studies houden niet expliciet rekening met de inzet van biomassa voor de chemie, de toepassing met potentieel de hoogste toegevoegde waarde. Het platform Groene Grondstoffen heeft in haar Groenboek gesteld dat 25% van de grondstofvraag in de chemie in 2030 kan worden vervangen door biomassa: deels op basis van agrarische producten en reststromen, deels op basis van houtachtig materiaal (PGG 2007). Dit zou voor Nederland neerkomen op een biomassavraag van 140 PJ (Rabou et al 2006). Ook het advies van de commissie Corbey op dit onderwerp sluit aan bij deze ambitie (Commissie Corbey 2012).

*Voorstel:* Op basis van bovenstaande informatie stellen we voor om in een lage variant 50 PJ aan biomassa te reserveren voor toepassing in de chemie, en van het restant uit te gaan van 20% inzet in transport, en in een hoge variant de beschikbaarheid eerst met 140 PJ te verminderen voor toepassingen in de chemie, en van het restant 40% toe te rekenen aan de transportsector. In de praktijk zullen deze stromen overigens niet op deze manier fysiek gescheiden worden: veel toepassingen in de chemie gaan uit van bioraffinage, waarin delen van de gebruikte biomassa voor hoogwaardige (chemie-) toepassing wordt ingezet en de resterende biomassa voor bijvoorbeeld

warmte. Ook cascadering (biomassa in eerste instantie hoogwaardig inzetten en daarna de reststroom voor energie) kan dit beeld nog doen veranderen. Het gaat hier dus slechts om 1<sup>e</sup> orde rekenregels.

### 3.5.4 *Hoeveel biomassa is niet beschikbaar voor nationale sectoren wegens ambities in de internationale lucht- en scheepvaart?*

Naast inzet van biobrandstoffen voor het binnenlandse weg- en watervervoer zullen biobrandstoffen ook een belangrijke optie zijn om de internationale lucht- en scheepvaart te verduurzamen. De sectoren hebben immers weinig andere opties. In een aparte notitie over de internationale scheep- en luchtvaart worden deze sectoren in meer detail besproken; de voorgestelde aannames zijn op hoofdlijnen consistent met deze notitie. In deze notitie maken we geen uitgebreide analyse van wat Nederland specifiek zou kunnen doen gegeven onze sterke positie in internationale bunkering. Wel maken we een correctie van de biomassabeschikbaarheid voor nationale sectoren in Nederland in het geval internationale afspraken voor de scheep- en luchtvaart leiden tot inzet van biomassa in deze sectoren. Dit betekent immers dat er voor de andere sectoren, ook in Nederland, minder biomassa beschikbaar is.

Twee aannames zijn in dit kader relevant: De omvang van de energievraag van beide sectoren in 2030, en het aandeel biobrandstoffen daarin.

#### *Energievraag in internationale lucht- en scheepvaart*

De meeste mondiale energiescenario's zoals die van het IEA geven geen concrete data voor de internationale lucht- en scheepvaart. Ook sectorale studies zoals de second IMO GHG study (IMO 2009), de Global Marine Fuel trends (Lloyds en UCL 2014), en ICAO publicaties geven geen eenduidig beeld van de toekomstige energievraag; er is zelfs grote onzekerheid over het huidige energiegebruik in deze sectoren (IMO 2009). Het mondiale integrated assessment model TIAM-ECN geeft wel een schatting van de energievraag in deze sectoren: totaal 21 EJ in 2030 in een "2°C-scenario" waarbij de klimaatverandering binnen deze 2 graden blijft (TIAM-ECN 2014). Deze schatting is redelijk consistent met de gegevens in de andere bronnen.

#### *Inzet biobrandstoffen in internationale lucht- en scheepvaart*

Het beeld voor inzet van biobrandstoffen verschilt tussen beide sectoren.

- De luchtvaartsector heeft voor 2020 een ambitie van 6% gebruik van biobrandstoffen geformuleerd (Greenaironline 2013); en in ICAO-verband is de ambitie geformuleerd van 'carbon-neutral growth' na 2020, oftewel een groei van de mondiale luchtvaartsector zonder additionele CO<sub>2</sub>-emissies (ICAO 2013). Met een trendmatige groei in de energievraag in deze sector van 3-4% per jaar (bij een volumegroei van 4-5%) zal een substantieel aandeel biobrandstoffen nodig zijn in 2030. Het is overigens niet duidelijk of carbon-neutral growth hier op basis van TTW of WTW is gedefinieerd. Deze vraag naar biobrandstoffen zal deels worden ingevuld met 2<sup>e</sup> generatie biobrandstoffen, deels met een hoge-kwaliteit biobrandstof zoals HVO op basis van landbouwgewassen. De EU heeft voor deze sector in het Witboek (EC 2011) een doelstelling voor 2050 geformuleerd van minimaal 40% koolstofarme brandstoffen.
- De internationale scheepvaart heeft geen expliciete doelstelling of ambitie op CO<sub>2</sub>-emissiereductie geformuleerd. Scenario's laten zien dat vloeibare brandstoffen dominant zullen blijven, al is de sector sterk in beweging op het gebied van LNG: waar Lloyds en UCL (2014) nog een mondiaal aandeel van maximaal 10% LNG in 2030 voorzien, spreekt een recentere studie van Lloyds (2014) over mondiaal 24% LNG in 2025. Het mogelijke aandeel biobrandstoffen zijn in deze studies niet expliciet gemaakt. Als biobrandstoffen worden ingezet in de internationale scheepvaart dan zal dat deels zijn als bio-LNG, deels als relatief laagwaardige vloeibare biobrandstoffen (plantaardige olie, FAME, deels wellicht in

laagwaardige kwaliteit). De doelstelling in het EU witboek voor deze sector is minimaal 40% en indien mogelijk 50% CO<sub>2</sub> reductie in 2050 t.o.v. 2005

*Voorstel:* Uitgaan van deze mondiale energievraag van TIAM-ECN; voor de lage variant een aandeel van 10% biobrandstoffen voor 2030 in internationale lucht- en scheepvaart aannemen met vertaling naar Nederland op per capita basis. Voor de hoge variant een aandeel van 25% biobrandstoffen aannemen, vertaling naar Nederland op basis van primair energieverbruik.

### 3.5.5 *Hoe de technologische ontwikkeling van 2<sup>e</sup> generatie biobrandstoffen in te schatten?*

Voor de grootschalige introductie van 2<sup>e</sup> generatie biobrandstoffen zijn nog doorbraken nodig in de enzymatische afbraak van cellulose (voor geavanceerde ethanolproductie) en voor grootschalige vergassing en synthese van brandstoffen (voor geavanceerde diesel, kerosine en methaan via vergassing). Het jaar 2030 is zodanig dichtbij dat deze technologieën tegen die tijd nog niet volledig ontwikkeld zullen zijn. Dit vormt een potentiële belemmering voor de inzet van 2<sup>e</sup> generatie biobrandstoffen.

In de IEA Energy Technology Perspectives (IEA 2012) wordt de wereldwijde productie van geavanceerde biobrandstoffen (inclusief jetfuel) in 2030 ingeschat op ruim 6 EJ. Dit komt overeen met (vertaling op basis van primair energieverbruik) 33 PJ voor Nederland.

*Voorstel:* De hoeveelheid 2<sup>e</sup> generatie biobrandstoffen voor het transport in totaal maximeren op deze 33 PJ in 2030 in de hoge variant. In de lage variant is de beschikbaarheid van biobrandstoffen voor transport zo beperkt dat deze cap geen rol speelt.

### 3.5.6 *Samenvatting voorgestelde rekenregels en specificatie per grondstof/brandstoftype*

In de onderstaande tabel zijn de voorgestelde aannames samengevat. Daarnaast is voor de hoge variant een specificatie gegeven voor aannames specifiek voor de drie soorten grondstof/brandstoftypen (methaan uit landbouwreststromen, 1<sup>e</sup> generatie biobrandstof uit voedselgewassen, 2<sup>e</sup> generatie uit de andere stromen). Overwegingen bij de toedeling per type biobrandstof:

- In de vertaling van het mondiale potentieel naar dat voor Nederland is geen onderscheid gemaakt per grondstofstroom. Wel is voor de grondstoffen voor methaan een vergelijking gemaakt met studies op dit punt specifiek voor Nederland (Van Stralen 2012), die op een vergelijkbare biomassabeschikbaarheid uitkomt. Dit is relevant omdat deze natte stromen naar verwachting minder internationaal verhandeld zullen worden dan de andere twee.
- Bij de inzet in de chemie is ervan uitgegaan dat dit relatief iets meer zal optreden bij natte stromen (denk aan VGI-residuen en andere suiker- en eiwithoudende reststromen) en relatief het minst bij de grondstoffen voor 2<sup>e</sup> generatie biobrandstoffen.
- Van de resterende potentiële worden de voedselgewassen vrijwel volledig ingezet voor de productie van biobrandstoffen: inzet voor elektriciteit of warmte valt niet te verwachten. Biogas uit vergiste natte stromen zal deels direct worden ingezet voor warmte en/of elektriciteit, en bij opwerking tot groen gas zal een deel elders dan in de mobiliteitssector worden ingezet; eerste schatting is dat pakweg een derde van dit potentieel naar bio-CNG of bio-LNG kan gaan. Ook de grondstoffen voor 2<sup>e</sup> generatie biobrandstof zullen tot 2030 hoofdzakelijk nog naar elektriciteit en/of warmtetoepassingen gaan.
- In de conversierendementen is gaan differentiatie gemaakt tussen de verschillende routes.
- Bij de reservering voor internationale lucht- en scheepvaart is ervan uitgegaan dat een deel van het geproduceerde biomethaan als LNG wordt ingezet in de internationale scheepvaart: een derde van de opgave in deze sector wordt ingevuld met bio-LNG, twee derde met vloeibare biobrandstof (1<sup>e</sup> generatie). De luchtvaart maakt alleen gebruik van vloeibare (1<sup>e</sup> en 2<sup>e</sup> generatie) biobrandstoffen.

**Tabel: Samenvatting aannames, uitkomsten voor een lage en een hoge variant, en uitsplitsing hoge variant over de drie brandstofcategorieën.**

|                                                                                | Algemeen |      | Specificatie hoge variant |                                 |                                |
|--------------------------------------------------------------------------------|----------|------|---------------------------|---------------------------------|--------------------------------|
|                                                                                | laag     | hoog | Methaan<br>(natte str.)   | 1 <sup>e</sup> gen<br>(voedsel) | 2 <sup>e</sup> gen<br>(overig) |
| 1. Mondiaal potentieel (EJ)                                                    | 50       | 150  | 30                        | 20                              | 100                            |
| 2. NL potentieel (PJ)                                                          | 120      | 780  | 160                       | 130                             | 500                            |
| Verdeelsleutel voor vertaling naar NL                                          | capita   | TPES | TPES                      | TPES                            | TPES                           |
| 1. Waar inzet biomassa?                                                        |          |      |                           |                                 |                                |
| Reservering chemie, materialen (PJ)                                            | 50       | 140  | 60                        | 30                              | 50                             |
| Aandeel biobrandstof in resterend potentieel                                   | 10%      | 40%  | 35%                       | 90%                             | 30%                            |
| 2. Conversierendement biomassa-biobrandstof                                    | 60%      | 60%  | 60%                       | 60%                             | 60%                            |
| 3. Niet beschikbaar nationaal wegens internationale lucht- en scheepvaart      |          |      |                           |                                 |                                |
| Energievraag int. lucht- en scheepv. 2030 (EJ)                                 | 21       | 21   |                           |                                 |                                |
| Aandeel biobrandstof int. lucht –en scheepv.                                   | 10%      | 25%  |                           |                                 |                                |
| Verdeelsleutel voor nationale reservering                                      | Capita   | TPES |                           |                                 |                                |
| Nationale reservering (PJ)                                                     |          |      | 4                         | 12                              | 11                             |
| Waarvan voor internationale luchtvaart                                         | 5        | 27   | -                         | 3                               | 11                             |
| Waarvan voor internationale scheepvaart                                        |          |      | 4                         | 9                               | -                              |
| 4. Beperking omvang 2 <sup>e</sup> generatie opties                            |          |      |                           |                                 |                                |
| Maximale omvang 2 <sup>e</sup> generatie (PJ)                                  | 33       | 33   | -                         | -                               | 33                             |
| 5. Resultierend potentieel biobrandstoffen voor NL weg- en watertransport (PJ) | 5        | 80   | 16                        | 42                              | 22                             |
| Aandeel energievraag transport 2030 (500 PJ)                                   | 1%       | 16%  | 3%                        | 8%                              | 4%                             |
| Vergelijking: Inzet biobrandstoffen 2012 (PJ)*                                 |          |      | 0,5                       | 16**                            | 0                              |

\*: Bron: NEA (2013). Daadwerkelijke PJ's, zonder gebruik van de dubbeltellingsregels

\*\*: Inclusief productie biodiesel uit afvalolieën en –vetten (4,5 PJ) en methanol/MTBE uit glycerine (0,5 PJ).

### 3.5.7 Voor welke PMC's zouden deze biobrandstoffen beschikbaar kunnen zijn?

In de lage variant van de analyse in secties 1 en 2 zijn er in 2030 nauwelijks biobrandstoffen beschikbaar voor de Nederlandse transportsector. Dit geeft een duidelijke ondergrens: Wanneer de diverse onzekere ontwikkelingen die de lange-termijn beschikbaarheid van biobrandstoffen bepalen (zie hoofdstuk 4) zich ongunstig ontwikkelen kan van deze optie geen serieuze bijdrage aan de verduurzaming van de transportsector worden verwacht.

De hoge variant geeft uiteraard een beeld de bovenkant van wat er beschikbaar kan zijn bij gunstige ontwikkelingen en maximale inspanningen om bijvoorbeeld de productie van biomassa op een

duurzame manier te verhogen, ook op marginale gronden. Daarnaast is het in hoge mate afhankelijk van (duurzame) productiviteitsstijging in de landbouw, ontwikkelingen in de mondiale voedselconsumptie (vooral die van vlees en zuivel) en gunstige ontwikkelingen in de omgang met waterschaarste. Voor deze hoge variant kan ook een ruwe schets gemaakt worden van een mogelijke verdeling tussen de verschillende modaliteiten.

#### *Methaan uit natte stromen*

Het theoretische maximum van 16 PJ aan bio-methaan voor de transportsector kan worden ingezet als bio-LNG en als bio-CNG. Ter vergelijking: in de meest recente referentieraming (Verdonk en Wetzels 2012) wordt er in 2030 alleen CNG ingezet in het wegtransport (personen- en bestelauto's), ter grootte van 9 PJ. Afhankelijk van de mate waarin het maximum aan bio-methaan ook gerealiseerd wordt is mogelijk dus nog enige extra groei in het gebruik van gas in de transportsector nodig om de bio-methaan ook te kunnen absorberen. Maar bij een sterke inzet van gas in transport is het potentieel aan bio-methaan niet meer voldoende om deze inzet volledig te vergroenen.

#### *Vloeibare biobrandstoffen (1<sup>e</sup> en 2<sup>e</sup> generatie)*

Vanuit de motortechnologie zijn er nauwelijks barrières te verwachten voor het bijmengen van biobrandstoffen in fossiele brandstoffen (zie het antwoord op vraag 1.3). Ook bij een sterke inzet op alternatieve opties in transport zal de resterende vraag naar vloeibare brandstoffen zo hoog zijn dat het gemiddelde aandeel biobrandstoffen daarin niet boven de 20% komt, ook niet in het geval dat het maximum potentieel van 64 PJ daadwerkelijk beschikbaar komt.

### 3.5.8 Hoe om te gaan met de grote mate van onzekerheid in de beschikbaarheid van biobrandstoffen in 2030?

Zoals in sectie 2 al kort aangekaart: de onzekerheden in deze schattingen zijn groot. In het ongunstigste geval is er in 2030 nagenoeg geen biobrandstof beschikbaar voor de Nederlandse transportsectoren, in het gunstigste geval circa 80 PJ. Dat betekent in elk geval dat niet zonder meer kan worden gerekend op dit maximum aandeel biobrandstoffen; het kan niet als zekerheid worden ingeboekt.

Een verstandige manier om hiermee om te gaan is om:

- Rekening te houden met een beperkt potentieel;
- Sterk in te zetten op activiteiten die bijdragen aan een verdere vergroting van de beschikbaarheid van (duurzame) biomassa en -brandstoffen, inclusief de zekerstelling van het duurzame karakter ervan;
- De verwachtingen en ontwikkeling rond biomassa beschikbaarheid, duurzaamheid, technologische ontwikkelingen in de toepassing ervan en het concurrerend gebruik goed te monitoren zodat waar snel kan worden bijgestuurd in het geval van gunstige of ongunstige ontwikkelingen.

Per brandstof/grondstof-combinatie een aantal suggesties:

*Biomethaan uit natte stromen:*

- Deze route maakt vooral gebruik van rest- en afvalstromen. De beschikbaarheid daarvan is niet makkelijk te stimuleren, omdat het vooral afhankelijk is van het product of proces waarbij de reststroom vrijkomt.
- Er is een routekaart groen gas in de maak (door Groen Gas NL, De Gemeiynt en ECN), waarbij aanbevelingen worden gedaan voor het verantwoord mobiliseren en toepassen van groen gas. De routekaart bevat daarmee naar verwachting waardevolle ingrediënten voor deze visie.

*1<sup>e</sup> generatie biobrandstoffen uit landbouwgewassen:*

- ILUC en de food- fuel competitie zijn in deze categorie de belangrijkste bron van zorg.
- ILUC kan als norm worden meegenomen, bij voorkeur met ruimte om ILUC-verminderende maatregelen te belonen; denk aan biofuel-productie in een regio waar de leverancier ook investeert in landbouwproductieverbetering, ook buiten zijn eigen percelen.
- Het verband tussen voedselprijzen en biobrandstoffen is buitengewoon gecompliceerd. De meningen zijn nog steeds verdeeld over de vraag in welke mate de hoge voedselprijzen in 2006/7 nu te wijten waren aan het toenemend gebruik van biobrandstoffen.
- (nieuwe) duurzaamheidseisen voor deze categorie moeten bij voorkeur in EU-verband worden ingevoerd.

*2<sup>e</sup> generatie biobrandstoffen uit houtig materiaal:*

- Belangrijkste voorwaarde voor de groei van deze categorie is de doorbraak van geavanceerde technologieën om van deze grondstoffen hoogwaardige brandstoffen te maken. Nederland kan deze ontwikkeling stimuleren maar inspanningen in Nederland zullen niet doorslaggevend zijn: het gaat om mondiale inspanningen.
- Ook voor deze categorie grondstoffen zal certificering nodig zijn, inclusief aandacht voor carbon neutrality, op termijn mogelijk ILUC. In het kader van het nationaal energieakkoord worden nu criteria ontwikkeld voor biomassa
- Op korte termijn wordt deze biomassa vooral gebruikt voor elektriciteit en warmte. Beschouw dit als een goede opstap voor het ontwikkelen van bijbehorende biomassalogistiek maar voorkom lock-ins: biomassa-inzet die zodanig is vastgelegd dat er geen ruimte meer is voor nieuwe toepassingen.

## Literatuur

Commissie Corbey (2012): Advies duurzame biomassa in de chemiesector. Commissie Corbey, Utrecht.

EC (2011): *Witboek. Stappenplan voor een interne Europese vervoersruimte – werken aan een concurrerend en zuinig vervoerssysteem*. COM(2011) 144. Brussel.

Ecofys (2010): The Energy Report; 100% renewable energy by 2030. Ecofys, WWF and OMA, Utrecht.

EEA (2013): EU bioenergy potential from a resource efficiency perspective. European Environmental Agency, Copenhagen.

Elbersen, B., I. Startisky, G. Hengeveld, M.J. Schelhaas, H. Naeff and H. Böttcher (2012): Atlas of EU biomass potentials; Spatially detailed and quantified overview of EU biomass potential taking into account the main criteria determining biomass availability from different sources. Biomass Futures Project; Alterra/IIASA, Wageningen/Laxenburg.

Greenaironline (2014): \$70 billion investment required to meet aviation biofuel ambitions, although industry denies setting target. Website <http://www.greenaironline.com/news.php?viewStory=1228>, geraadpleegd op 7 april 2014.

ICAO (2013): Resolution on the implementation of the aviation “CNG2020” strategy. International Civil Aviation Organisation, Quebec.

IEA (2012): Energy Technology Perspectives 2012. International Energy Agency, Paris.

IEA (2013): World Energy Outlook 2013. International Energy Agency, Paris.

IMO(2009): Second IMO GHG Study 2009. International Maritime Organization, London.

Lloyds (2014): Nieuwsbericht over de rol van LNG in schepvaart. Zie [http://www.porttechnology.org/news/lng\\_to\\_meet\\_24\\_of\\_global\\_bunker\\_fuel\\_supply\\_by\\_2025/#.U0e-elf6R29](http://www.porttechnology.org/news/lng_to_meet_24_of_global_bunker_fuel_supply_by_2025/#.U0e-elf6R29), geradpleegd op 11 april 2014.

Lloyds en UCL (2014): International Marine Fuel Trends 2030. Lloyds Register Marine en UCL Energy Institute, London.

NEA (2013): Naleving jaarverplichting 2012 hernieuwbare energie vervoer en verplichting brandstoffen luchtverontreiniging. Nederlandse Emissieautoriteit, Den Haag.

PBL (2013): Biomassa: wensen en grenzen. Interactieve website over beschikbaarheid en gebruik van biomassa. <http://infographics.pbl.nl/biomassa/>. Bilthoven.

PGG (2007): Groenboek energietransitie. Platform Groene Grondstoffen, Sittard.

Koppejan, J., W. Elbersen, M. Meeusen en P. Bindraban (2009): Beschikbaarheid van Nederlandse biomassa voor elektriciteit en warmte in 2020. Procede Biomass BV., Wageningen.

Rabou, L.P.L.M., E.P. Deurwaarder, H.W. Elbersen en E.L. Scott (2006): Biomassa in de Nederlandse energiehuishouding in 2030. ECN en Wageningen UR, Petten/Wageningen.

Ros, J, J. Olivier, J. Noteboom, H. Croezen en G. Bergsma (2012): Sustainability of biomass in a bio-based economy ; A quick-scan analysis of the biomass demand of a bio-based economy in 2030 compared to the sustainable supply. PBL en CE Delft, Bilthoven/Delft.

Stralen, J. van (2012): Nederlandse biomassapotentieën in Biomass Futures. Interne Excel-sheet. ECN, Amsterdam.

TIAM-ECN (2014): Supplementary information on TIAM-ECN modeling results to LIMITS project results database (<http://www.feem-project.net/limits>).

Verdonk, M. en W. Wetzels (2012): Referentieraming energie en emissies: actualisatie 2012; Energie en emissies in de jaren 2012, 2020 en 2030. PBL en ECN, Petten/Bilthoven.

### 3.6 Afwegingskader inzet biomassa (kennisvraag 2.2)

|                    |                                                                                                                             |
|--------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Brandstofafdeling: | <b>Wegvervoer gasvormig, vraag 2.2</b>                                                                                      |
| Gestelde vraag:    | In welke modaliteiten binnen de transportsector is de inzet van de beschikbare biomassa voor transport het meest wenselijk? |
| Type antwoord:     | Uiteenzetting van argumenten                                                                                                |
| Uitgevoerd door:   | Anouk van Grinsven (CE Delft)                                                                                               |
|                    |                                                                                                                             |

#### 3.6.1 Inleiding

Bij de afweging van de inzet van biomassa in de verschillende modaliteiten spelen verschillende argumenten een rol, bijvoorbeeld kosten, CO<sub>2</sub>-emissiereductie, hoogste toegevoegde waarde, externe effecten en de beschikbaarheid van alternatieven. Zo kan de optie waarin biomassa het meest rendabel wordt inzet vanuit het oogpunt van beschikbare alternatieven toch niet wenselijk zijn. Omdat de keuze hierbij een politieke keuze is en deze niet zomaar gemaakt kan worden, bestaat het antwoord op deze vraag uit een uiteenzetting van de argumenten, zodat dit antwoord als startpunt van de discussie kan dienen.

#### 3.6.2 Transport in breder perspectief

##### **Biobased economy en beschikbare biomassa voor de transportsector**

Volgens de Hoofddlijnennotitie Biobased economy biedt de inzet van biomassa in verschillende sectoren economische kansen en een oplossing voor maatschappelijke problemen, zoals klimaatverandering, energiezekerheid en de schaarste aan grondstoffen. Door de transitie naar een biobased economy groeit de vraag vanuit verschillende sectoren naar biomassa. De inzet van biomassa in transport kan daarom niet los gezien worden van de ontwikkeling in andere sectoren.

Volgens de inschatting van het biomassabeschikbaarheidspotentieel, zoals gegeven bij het beantwoorden van een andere kennisvraag, lijkt er voldoende biomassa beschikbaar te zijn om de aan de geschatte vraag in transport te kunnen voldoen. Omdat deze beschikbaarheid van veel factoren afhankelijk is, blijft deze echter in hoge mate onzeker. Denk hierbij aan de ontwikkelingen op mondiale voedselmarkten, in de bosbouw en in de landbouw. Ook is het nog in hoge mate onzeker of de duurzaamheid van biomassa in voldoende mate kan worden gegarandeerd via bijvoorbeeld certificeringsschema's.

##### **Biocascadering**

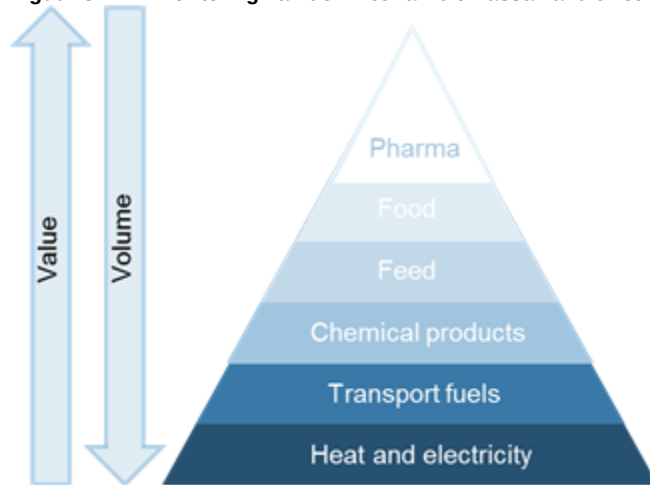
Aangezien meerdere sectoren gebruik willen maken van een beperkt potentieel van biomassa, is het van belang tot een optimale benutting van biomassa in de verschillende sectoren te komen. Ook het Energieakkoord stelt dat allereerst voor de meest hoogwaardige toepassing gekozen moet worden en vervolgens pas voor laagwaardige toepassing. Zo voorkomt men de inzet van hoogwaardige biomassa in laagwaardige toepassingen, waarbij de waarde van biomassa niet optimaal benut wordt. Dit principe is weergegeven in **Figuur 31** en laat zien dat de inzet in transport een van de meest laagwaardige toepassingen is. Om tot consistent beleid te komen is het van belang dat de inzet van biomassa in verschillende transportmodaliteiten in lijn is met het algemene biocascaderingsbeleid.

Het toepassen van dit hoogwaardigheids criterium leidt ruwweg tot de volgende rangorde van toepassingen:

1. Chemie en materialen
2. Biobrandstoffen
3. Elektriciteit
4. Warmte

Waar in de transportsector biobrandstoffen vervolgens worden ingezet is in feite niet relevant in deze rangorde.

**Figuur 31** : Prioritering van de inzet van biomassa vanuit het oogpunt van biocascadering (bron: TNO)



### 3.6.3 CO<sub>2</sub>-efficiëntie

De CO<sub>2</sub>-emissies van de transportsector kunnen met behulp van biomassa op twee manieren afnemen:

- **Efficiëntievoordelen:** CO<sub>2</sub> kan allereerst gereduceerd worden door efficiëntievoordelen behaald in de keten. Zo is de inzet van biomassa elektriciteit efficiënter dan de inzet van biomassa via biobrandstoffen. Door deze voordelen kan met minder energie aan dezelfde transportvraag voldaan worden en bespaart men met dezelfde hoeveelheid primaire biomassa meer CO<sub>2</sub>.
- **Type biomassa:** de CO<sub>2</sub>-reductie is naast de route ook afhankelijk van het type biomassa. Zo reduceren biobrandstoffen van oliehoudende gewassen (zoals koolzaad) bijv. minder CO<sub>2</sub> door de hoge directe en indirecte emissies als gevolg van indirect landgebruik.

In een andere kennisvraag is er een kwantitatieve inschatting gemaakt van de verschillen tussen verschillende routes om biomassa in transport in te zetten. Efficiëntievoordelen komen hier indirect tot uitdrukking in de benodigde MJ/km (WTW).

### 3.6.4 Kosteneffectiviteit

De kosteneffectiviteit van CO<sub>2</sub>-besparingen door de inzet van biomassa in transport vormen ook een belangrijke overweging om voor een bepaalde route en modaliteit te kiezen. De effectiviteit in bijv. kosten per vermeden ton CO<sub>2</sub> kan bijv. een belangrijke indicator zijn. Het is hierbij wel belangrijk op te merken dat deze kosten vaak door verschillende groepen in de samenleving gedragen worden. Zo kan er onderscheid gemaakt worden tussen kosten voor de overheid en total cost of ownership voor de gebruiker. Hoewel de meeste aandacht vaak gaat naar het verschil in brandstofprijzen en additionele kosten van biobrandstoffen ten opzichte van fossiele brandstoffen, moeten de kosten van voertuigen en infrastructuur ook worden meegenomen. Hoge kosten voor de gebruiker brengen namelijk het risico met zich mee dat de voertuigontwikkelingen niet voldoende snel gaan en de afzet van biomassa dus geremd wordt. (zie ook: 'Garantie op afzet en mogelijkheid tot switchen naar duurzamere alternatieven')

Vanuit dit criterium geldt de volgorde voorkeursvolgorde:

1. Elektriciteit en warmte
2. Biobrandstoffen

Onbekend, waarschijnlijk ketenspecifiek: chemie, materialen

Ook in deze rangorde is het niet relevant waar in de transportsector biobrandstoffen worden ingezet.

### 3.6.5 Neveneffecten op het gebied van andere beleidsterreinen

De kosteneffectiviteit van bepaalde opties kan sterk verbeteren wanneer niet alleen CO<sub>2</sub>-effecten, maar ook neveneffecten op andere beleidsterreinen worden meegenomen. Zo kan de inzet van biomassa in transport, afhankelijk van de gekozen route en modaliteit, ook leiden tot verbetering van de luchtkwaliteit en het beperken van geluidshinder. Deze neveneffecten zijn met name wenselijk in stedelijk gebied, waar deze milieuproblemen meer knelpunten vormen dan in rurale gebieden. In onderstaande tabel is voor verschillende afzetmogelijkheden aangegeven welke invloed op luchtkwaliteit en geluid verwacht kan worden.

**Tabel: Effecten van inzet van biomassa op luchtkwaliteit en geluid**

| Sector      | Afzet biomassa                           | Vervangt        | luchtkwaliteit | geluid |
|-------------|------------------------------------------|-----------------|----------------|--------|
| luchtvaart  | biokerosine                              | Kerosine        | 0              | 0      |
| wegvervoer  | vloeibare biobrandstoffen                | Benzine, diesel | 0              | 0      |
|             | biogas (LNG en CNG)                      | Diesel          | +              | +      |
|             | Inzet van biomassa via elektrisch rijden | Benzine, diesel | ++             | ++     |
|             | waterstof                                | Benzine, diesel | ++             | ++     |
| binnenvaart | biodiesel                                | Diesel          | 0              | 0      |
| spoor       | biodiesel                                | Diesel          | 0              | 0      |

Over het algemeen leidt de inzet van biomassa via elektriciteit tot de meeste verbetering van deze aspecten. Biogas draagt in mindere mate bij aan verbetering. Qua geluidshinder is de verbetering wel sterk afhankelijk van de snelheden en het wegtype. De aandrijving van elektrische voertuigen en gasvoertuigen kan stiller zijn, maar de rolweerstand is ook voor een groot gedeelte verantwoordelijk voor het geluidsniveau.

#### Energiezekerheid en diversificatie van energiedragers

In de gehele discussie rond energiedragers in transport speelt energiezekerheid en diversificatie van energiedragers ook vaak een rol. Hoewel een bepaalde route energetisch als winnaar uit de bus kan komen, staat een volledige inzet op deze route diversificatie van energiedragers in de weg wat de kwetsbaarheid van het systeem kan vergroten.

### 3.6.6 Garantie op afzet en mogelijkheid tot switchen naar duurzamere alternatieven

#### Risico op lock-in: randvoorwaarden voertuigen en infrastructuur

Op basis van bovenstaande argumenten kan het wenselijk zijn om biomassa in een bepaalde route en in een bepaalde modaliteit in te zetten. Tegelijkertijd is daarmee de daadwerkelijke inzet in transport nog niet gegarandeerd. Er bestaan namelijk meer randvoorwaarden dan alleen de biomassabeschikbaarheid: ook het wagenpark en de infrastructuur moet aan een aantal voorwaarden voldoen om afzet te kunnen garanderen.

Wanneer we de inzet van biobrandstoffen via bijmenging vergelijken met de inzet van biomassa via elektrisch vervoer, valt op dat vloeibare biobrandstoffen relatief gemakkelijk in te zetten zijn. Door het op grote schaal bijmengen van lage percentages biobrandstoffen zijn geen voertuigaanpassingen nodig en hoeft niet een gehele nieuwe infrastructuur uitgerold te worden, terwijl toch een relatieve grote afzet wordt bereikt.

In het geval van elektrisch vervoer is de inzet van biomassa via deze weg afhankelijk van de groei in elektrische voertuigen (volledig elektrisch, dan wel plug-in hybrides) en de uitrol van laadinfrastructuur. Wanneer deze ontwikkelingen tegengestaan kunnen dit resulteren in het niet tijdig halen

van de doelstellingen. Dit risico geldt ook voor de inzet van biogas en de inzet van biomassa via waterstof, omdat deze inzet ook afhangt van ontwikkelingen in de vloot en de uitrol van infrastructuur.

Op basis van deze overwegingen zou dus de rangorde van inzet in de transportsector zijn:

1. Vloeibare biobrandstoffen
2. Gasvormige biobrandstoffen
3. Via elektriciteit
4. Via waterstof

### **Risico op lock-in effecten en no-regret opties wanneer de biomassabeschikbaarheid tegenvalt**

Hoewel het bijmengen van biobrandstoffen de makkelijkste weg lijkt te zijn, brengt deze keuze ook het risico op lock-in effecten met zich mee. Als de beschikbaarheid van biomassa namelijk tegenvalt, biedt deze route weinig alternatieven: weer terugvallen op fossiel is het meest voor de hand liggend, omdat een shift naar andere energiedragers niet zomaar gemaakt kan worden. Bij de inzet via elektriciteit speelt dit minder, omdat overstappen op andere vormen van CO<sub>2</sub>-neutrale elektriciteit als wind- en zonne-energie en schoon fossiel mogelijk is. Door de inzet van deze energievormen en de efficiëntievoordelen kan bij een gebrek aan biomassa toch CO<sub>2</sub> gereduceerd worden in de transportsector. Ook gas kan gezien worden no-regret optie: wanneer de biogasbeschikbaarheid tegenvalt levert de overstap op gas toch nog wel (weliswaar een meer beperkte) milieuwinst op.

Op basis van deze overwegingen zou dus de rangorde van inzet in de transportsector zijn:

1. Via elektriciteit
2. Via waterstof
3. Gasvormige biobrandstoffen
4. Vloeibare biobrandstoffen

#### **3.6.7** *Het halen van de transportdoelstellingen*

##### **Beschikbaarheid alternatieven binnen een modaliteit**

Een belangrijk argument om biomassa in transport in te zetten in de vorm van biobrandstoffen is de beschikbaarheid van alternatieven om een modaliteit te verduurzamen. De modaliteiten waarbij de minste alternatieven bestaan zijn de luchtvaart, langeafstandsvervoer en de zee- en binnenvaart. Elektrificatie van deze modaliteiten is momenteel nog moeilijk te bereiken vanwege de grote vraag naar energie in combinatie met nog beperkte accucapaciteiten. Biogas in de vorm van LNG vormt wel een (te ontwikkelen) alternatief voor het langeafstandsvervoer en de zee- en binnenvaart. Men is echter wel van mening dat het doel van -60% in 2050 alleen haalbaar is als in alle modaliteiten verduurzaming plaatsvindt, dus ook in de modaliteiten waar het aantal alternatieven beperkt is. Dit kan een afweging zijn om biomassa juist in deze modaliteiten in te zetten.

Een belangrijk punt hierbij is de noodzaak om snel tot CO<sub>2</sub>-reducties te komen. Als er voldoende de tijd is om andere alternatieve technologieën uit te rollen, is het minder noodzakelijk om biomassa toe te passen. Bij het spoor is bijvoorbeeld een trend te zien van elektrificatie van spoorwegen waardoor het aandeel diesel zal afnemen en het aandeel elektriciteit zal stijgen. De inzet van biodiesel is daarmee met name zinvol wanneer sneller CO<sub>2</sub>-winst behaald moet worden dan dat de diesel op het spoor vervangen wordt.

#### **3.6.8** *Beleidscontext*

Bij bovenstaande argumenten is geen rekening gehouden met de beleidscontext. Bepaalde beleidsmaatregelen en berekeningsmethoden kunnen voor verschillende incentives zorgen. Zo schrijft de huidige RED-methodologie voor met welke elektriciteitsmix gerekend moet worden en biedt het feit dat biobrandstoffen geen TTW-emissies kennen binnen de IPCC-berekeningen en WTT-emissies niet worden meegenomen geen prikkel om voor de meer efficiëntere biomassa inzet te

kiezen, Omdat de beleidscontext in 2030 moeilijk te voorspellen is, wordt hier nu niet verder op in gegaan.

### 3.6.9 *Conclusie*

Gezien de verschillende argumenten is de meest gewenste biomassa-inzet van biomassa in transport niet gemakkelijk te bepalen. Om toch een beter beeld te krijgen van de aantrekkelijkheid van bepaalde routes is een tabel opgenomen met daarin een indicatie van de plus- en minpunten per route en per argument.

| Sector      | Afzet biomassa                           | Vervangt        | Biocas-cadering | Energie-efficiëntie | Kosten-effectiviteit | Lucht-kwaliteit | Geluid | Beperkt risico lock-in gerelateerd aan voertuigen en infrastructuur | No-regret opties (tegenvallende biomassa-beschikbaarheid) | Weinig beschikbare alternatieven |
|-------------|------------------------------------------|-----------------|-----------------|---------------------|----------------------|-----------------|--------|---------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|----------------------------------|
| Luchtvaart  | biokerosine                              | Kerosine        | +               | -                   | --                   | 0               | 0      | ++                                                                  | -                                                         | ++                               |
| Wegvervoer  | vloeibare biobrandstoffen                | Benzine, diesel | +               | -                   | -                    | 0               | 0      | ++                                                                  | -                                                         | -                                |
|             | biogas (LNG en CNG)                      | Diesel          | +               | -                   | -                    | +               | +      | +                                                                   | +                                                         | -                                |
|             | Inzet van biomassa via elektrisch rijden | Benzine, diesel | -               | ++                  | +                    | ++              | ++     | -                                                                   | ++                                                        | -                                |
|             | waterstof                                | Benzine, diesel | -               | ++                  | 0                    | ++              | ++     | --                                                                  | ++                                                        | -                                |
| Binnenvaart | biodiesel                                | Diesel          | +               | -                   | -                    | 0               | 0      | ++                                                                  | -                                                         | +                                |
| Spoor       | biodiesel                                | Diesel          | +               | -                   | -                    | 0               | 0      | ++                                                                  | -                                                         | 0                                |

### 3.7 Inpasbaarheid duurzame elektriciteit (kennisvraag 7.2)

|                  |                                                                                                                                                                            |
|------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Vraagnummer:     | 7.2                                                                                                                                                                        |
| Gestelde vraag:  | Beïnvloedt de vraag naar alternatieve energiedragers in het verkeer de grootschalige inpasbaarheid van duurzame elektriciteit en de stabiliteit van het elektriciteitsnet? |
| Type antwoord:   | De beantwoording volgt de lijn van de gestelde deelvragen. Globale analyse, zo mogelijk cijfermatig onderbouwd. Geen detailberekeningen.                                   |
| Uitgevoerd door: | R. Cuelenaere (TNO), met medewerking van Ab de Buck en Bettina Kampman (CE) en Marc Londo (ECN)                                                                            |
|                  |                                                                                                                                                                            |

#### 3.7.1 Vraag 1: Wat betekent een scenario met veel elektriciteit, of veel waterstof/PTG/PTL globaal voor de vraag naar duurzame elektriciteit? Hoe verhouden (energie-)rendementen van de verschillende opties zich tot elkaar?

(Duurzame) elektriciteit kan direct in het verkeer worden ingezet in elektrische voertuigen of via een omzettingsschakel naar vloeibare (PtL – Power-to-Liquid) of gasvormige brandstof (PtG – Power-to-Gas; H<sub>2</sub>). Verondersteld mag worden dat PtL en PtG worden gebruikt in een voertuig met verbrandingsmotor en H<sub>2</sub> in een voertuig met brandstofcel (HFCEV).

Duurzame elektriciteit direct leveren aan een elektrische auto heeft een hoog ketenrendement: de netverliezen zijn beperkt en het rendement van de accu en de elektromotor is hoog. Voor PtG en PtL treden er forse verliezen op, zowel in de verbrandingsmotor (die veel minder efficiënt – ongeveer een factor 3 - is dan de elektromotor), als ook bij de productie van PtG en PtL uit duurzame elektriciteit. De waterstof-route zit er tussenin. Deze rendementsverschillen vertalen zich ook direct in verschillen in de benodigde elektriciteitsvraag. Om een auto op PtG of PtL te laten rijden is ruim 4 maal, tot mogelijk zelfs 10 maal, zoveel elektriciteit nodig als voor een elektrische auto.

|                                         | Verondersteld TTW-rendement | Verondersteld WTT-rendement | Indicatie ketenrendement |
|-----------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|--------------------------|
| Elektrisch rijden                       | Max                         | 95%                         | Max                      |
| HFCEV: H <sub>2</sub> uit elektriciteit | Max/1,5                     | 75%                         | Max/2                    |
| PtG of PtL <sup>10</sup>                | Max/3                       | 30-65% <sup>11</sup>        | Max/4 à max/10           |

Uit het oogpunt van ketenrendement zal grootschalige inzet van elektriciteit in de verkeerssector bij voorkeur gaan via directe levering aan elektrische auto's. In de scenario's met maximale groei van elektrisch rijden wordt in 2030 bijna 10% van de benzine en diesel vervangen door elektriciteit. In 2050 kan dat oplopen tot ruim 40%, wat overeenkomt met een elektriciteitsvraag van 85 PJ. Dat is ruim 15% van de totale elektriciteitsvraag in 2050. Indien een route als PtG/PtL in dezelfde mate zou worden ingezet, dan zou de verkeerssector zo'n 50% van de Nederlandse elektriciteitsvraag voor zijn rekening nemen.

<sup>10</sup> Cijfers voor PTG. Voor PTL liggen de rendementen lager. Het WTT-rendement van PtL is lager dan voor PTG, omdat er ook energie gebruikt wordt voor de conversie van Gas naar Liquid (vloeibare brandstof).

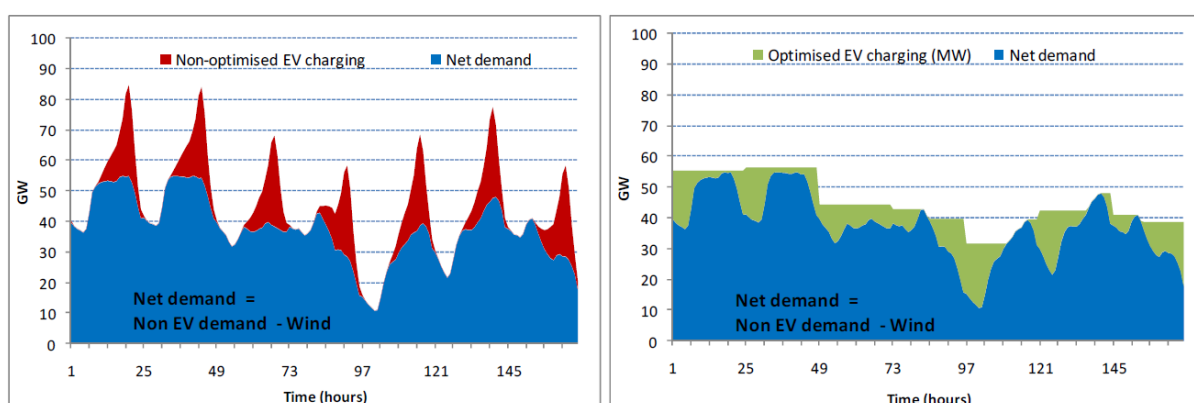
<sup>11</sup> Op basis van bestaande literatuur <http://www.tab-beim-bundestag.de/de/pdf/publikationen/berichte/TAB-Arbeitsbericht-ab147.pdf> is het rendement van elektrolyseurs 75%, en van de methanisering 40%. Dit resulteert in een overall-rendement van 30%. Volgens opgave van Audi worden in een recent geopende 6,3 MW installatie aanzienlijk hogere totaalrendementen gerealiseerd, die in toekomstige installaties kan oplopen tot zo'n 65%.

Ter illustratie de invloed van grootschalige inzet van enkele energiedragerroutes op de Nederlandse elektriciteitsvraag.

|                             | Vraag naar alternatieve brandstof |           |           | (Duurzame) elektriciteitsvraag |           |           | % van totale NL elektriciteitsvraag |      |
|-----------------------------|-----------------------------------|-----------|-----------|--------------------------------|-----------|-----------|-------------------------------------|------|
|                             | Verondersteld TTW-rendement       | 2030 (PJ) | 2050 (PJ) | Verondersteld WTT-rendement    | 2030 (PJ) | 2030 (PJ) | 2030                                | 2050 |
| Elektrisch rijden           | Max                               | 20        | 85        | 95%                            | 20        | 90        | 5                                   | 15   |
| HFCEV: H2 uit elektriciteit | Max/1.5                           | 30        | 125       | 75%                            | 40        | 150       | 10                                  | 25   |
| PtG of PtL                  | Max/3                             | 60        | 250       | 65%                            | 90        | 400       | 20                                  | 50   |

### 3.7.2 Vraag 2: Wat is de mogelijke invloed op de periodiciteit van de vraag naar elektriciteit.

De impact van elektrisch rijden op de periodiciteit van de elektriciteitsvraag zit vooral in dagritmes. Dit is nader bekeken in kennisvraag 3.5 en daarin goed geïllustreerd met onderstaande figuur:



Figuur Grafische weergave van door slimme vraagsturing verbeterde benutting van een elektrische distributienet. Links de situatie met intermitterende opwekking (wind + zon), maar zonder sturing van EV laden (vloot 100% EV!). Maximale netlast groter dan 80 GW. Rechts: gelijke energiedoorgifte, maar met sturing van EV laden: << 60GW

De ontwikkeling van PtG richt zich op dit moment vooral op kleinere, flexibele, snel startende installaties. De installaties zouden geschikt zijn om fluctuaties in elektriciteitsvraag en –aanbod op te vangen en het elektriciteitsnetwerk te balanceren. In ieder geval wordt een lage stroomprijs, die samenhangt met momenten van hoog aanbod en/of lage vraag, gezien als een vereiste voor een positieve business-case. PtG is nog geen uitontwikkelde technologie en daarmee is onzeker hoe de kostprijs en de toepassingsmogelijkheden van PtG-productie zich zullen ontwikkelen.<sup>12</sup>

Intermezzo: PtG en de verkeerssector

Er is geen directe koppeling tussen PtG en de verkeerssector: een PtG installatie zal in beginsel invoeden in het gasnet. De koppeling wordt wel gezocht om de business-case te verbeteren. Daarnaast kan PtG een bijdrage leveren aan het vergroenen van de gasroutes

<sup>12</sup> Een PtG-installatie bevat een H2-productie eenheid. De beschreven kenmerken van het PtG-spoor gelden ook voor H2-productie gebaseerd op dezelfde technologie.

voor de verkeerssector. De omvang wordt beperkt door de (noodzakelijke) beschikbaarheid van goedkope stroom. Tevens is voor PtG/PtL een goedkope, geconcentreerde CO<sub>2</sub>-bron nodig. Interessant zou kunnen zijn om CO<sub>2</sub> te gebruiken die vrijkomt bij het opwerken van biogas naar aardgaskwaliteit. Dat verbetert de CO<sub>2</sub>-prestatie van de biogas-route.

**3.7.3** *Vraag 3: Wat voor bufferingsvraag wordt er in 2030 verwacht? Omvang en frequentie van de overschotten en tekorten (onderscheid naar korte termijn (dag-nacht en langere termijn dagen/weken).*

Vooraf in het Duitse domein is veel informatie openbaar beschikbaar over de inpassing van duurzame elektriciteit. Er zijn veel verkenningen uitgevoerd naar de inpasbaarheid van duurzame elektriciteit en de mogelijkheden om aanbod en vraag te matchen. In Nederland begint de aandacht te groeien, maar blijft veel info nog binnen (netwerk)bedrijven.

Voor de inpassing van fluctuerende hoeveelheden geproduceerde elektriciteit zijn twee typen situaties van belang: situaties met een overschot aan elektriciteitsproductie (productie is groter dan de vraag) en situaties met een tekort aan elektriciteitsproductie (productie is kleiner dan de vraag). Bij situaties met een overschot kan bijvoorbeeld gedacht worden aan periode in lente en zomer met veel zon en wind. Bij tekort aan windstille, bewolkte winterdagen zonder wind en zon. De mogelijkheden om beide fluctuaties op te vangen verschillen.

De belangrijkste conclusie in Duitsland is, dat grootschalige elektriciteitsopslag/buffering pas in beeld komt als zo'n 70% van de elektriciteit uit wind+PV komt. Bij lagere percentages variabele duurzame elektriciteit zijn andere maatregelen in de elektriciteitssector toereikend en goedkoper. Hierbij past de kanttekening dat het genoemde percentage van 70% vooral moet worden gezien als een orde van grootte en slechts geldig is als het lukt om alle andere maatregelen in de elektriciteitssector volledig uit te nutten.

Nu is de Duitse situatie niet direct vergelijkbaar met de Nederlandse. In Duitsland is het probleem enerzijds minder snel nijpend, omdat de basislastcentrales voor een deel worden uitgefaseerd (zoals kerncentrales), terwijl die in Nederland nog in aanbouw zijn (kolencentrales). Anderzijds ligt het aanbod van duurzame elektriciteit in Duitsland zeker nog decennia lang ver boven het Nederlandse niveau. Uitgaande van realisatie van de doelstellingen van het SER Energie-akkoord, de te verwachten verdere groei van duurzame elektriciteit in omringende landen en de koppeling met buitenlandse netten, is niet uit te sluiten dat zich ook in Nederland eerder dan verwacht situaties van overschot en/of tekort zullen voordoen.

**3.7.4** *Vraag 4: Hoe verhouden opties in de verkeerssector zich ten opzichte van de oplossingen die vanuit de energiesector ontwikkeld worden (koppeling netten, waterkracht, wkk, koude-warmte opslag, etc.)?*

In dit kader wordt vaak onderscheid gemaakt tussen lokale productie (PV op daken) en grootschalige productie (bv. windparken) en daaraan verbonden oplossingsrichtingen.

Lokaal:

De groei van PV-vermogen in wijken en van elektrische auto's leidt tot vergelijkbare effecten: een toename van de piekbelasting in de lokale netten. Wel met het verschil dat PV leidt tot een piek in het aanbod en elektrische auto's tot een piek in de vraag. Oplossingen zijn beschikbaar, variërend van eenvoudige vraagsturing via tariefstelling, tot kostbare ingrepen zoals de aanleg van smart grids. De keuze kan worden afgestemd op zowel de uitrol van elektrische auto's als de ontwikkeling van PV-vermogen. Bij de beantwoording van kennisvraag 3.5 is hier nader op ingegaan. De strekking van dat antwoord is dat zich op korte termijn al situaties zouden kunnen voordoen die een vorm van sturing vragen. Het ligt niet voor de hand dan direct te starten met de uitrol van smart grids. Logischer zou

zijn om te starten met eenvoudige sturing van laadgedrag door tariefstelling bij lage aantallen elektrische auto's, overgaand in complexere communicatiesystemen bij hogere aantallen.

Grootschalige productie:

Op basis van kosten/baten-analyses is in Duitsland een ranglijst<sup>13</sup> opgesteld. Aangevuld met recente inzichten voor de Nederlandse situatie leidt dit tot de volgende indicatieve lijst, gerangschikt naar effectiviteit en kosteneffectiviteit). Hierbij is een onderscheid gemaakt tussen opties die vooral geschikt zijn voor tekort- en voor overschotsituaties.

*Tekort- en overschotsituaties:*

1. Uitbouw interconnectie/ opslag in waterkrachtcentrales: uitbreiden van (de verbindingen tussen) hoogspanningsnetten (grotere geografische spreiding leidt tot vlakker aanbod duurzame elektriciteit, maakt het makkelijker veranderingen in vraag/aanbod op te vangen). Voor Nederland is met name uitbouw van interconnectie met Noorwegen van belang: in Noorwegen is nog veel potentie beschikbaar voor opslag via waterkracht<sup>14</sup>.
2. Basislastcentrales maximaal stuurbaar maken (prijstructuur in Duitsland werkt dat meer in de hand dan Nederlandse; nieuwe kolencentrales in Nederland zijn overigens beter voorbereid op op- en afschakelen dan de oude basislasteenheden).

*Tekortsituaties:*

3. Pieklastvermogen bouwen (de terugkeer van de snel regelbare gasturbines; goedkoop in bouw en door weinig draaiuren nauwelijks brandstofkosten en CO<sub>2</sub>-emissie).
4. Flexibele WKK (snel productie van elektriciteit bijschakelen)eventueel gekoppeld aan warmteopslag.
5. Vraagsturing bij grote industriële afnemers (blijkt in de VS goed te werken als de prijsstructuur goed is, zeer goed mogelijk bij koel/vries faciliteiten).
6. Vraagsturing bij warmtepompen: warmtepompen kunnen tijdelijk warmte bufferen.

*Overschotsituaties:*

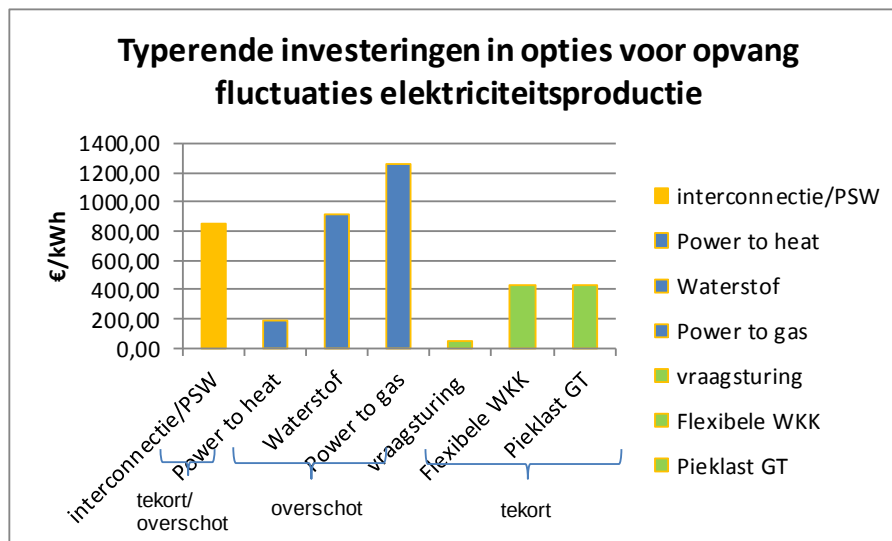
7. Power to Heat: Hiermee wordt elektriciteit via een boiler omgezet in warm water of stoom. Dit kan worden ingezet voor de warmtevraag in onder andere de industrie.
8. H<sub>2</sub>, PtG of PtL (inzet van PtG/PtL zeer goed regelbaar; binnen deze groep is H<sub>2</sub> goedkoper dan PtG en dat weer goedkoper dan PtL)

In Duitsland wordt verwacht dat door een combinatie van de maatregelen 1 (interconnectoren) en 2 (maximaal sturen centrales) in 2022 slechts gedurende 200 u het aanbod van elektriciteit de vraag zal overstijgen. Dat is in een situatie dat 40% van de elektriciteit door wind + PV wordt opgewekt. Dit heeft negatieve invloed op de business-case van maatregelen die lager in de lijst staan. Met diezelfde maatregelen 1 en 2, gecombineerd met maatregel 3 (bouw pieklastvermogen) wordt verwacht dat ook de meeste situaties van tekorten kunnen worden opgevangen. Voor eventueel overblijvende tekorten, is de ontwikkeling van ketens als PtG/PtL/PtH<sub>2</sub> niet voor de hand liggend, mede omdat het inzetten van die ketens voor teruglevering leidt tot dubbel rendementsverlies. Onderstaande figuur geeft een indicatie van de investeringskosten van de belangrijkste opties. Deze zijn uitgedrukt in €/MW, d.w.z. de investering om een MW aan geproduceerd vermogen op te slaan, bij te schakelen of tijdelijk te verschuiven. De ramingen zijn exclusief investeringen in distributie in de transportsector. De kosten van alle opties worden overigens sterk bepaald door de frequentie waarmee ze worden gebruikt: naarmate ze vaker worden toegepast nemen de kosten (uitgedrukt in €/kWh opgeslagen/ geleverde elektriciteit) sterk af. Naast de investeringen zijn er de operationele kosten. Deze zijn relatief beperkt

<sup>13</sup> Een heldere bron is: "12 Insights on Germany's Energiewende", Agora, februari 2013

<sup>14</sup> Er is een 700 MW interconnectie naar Noorwegen gerealiseerd, een tweede interconnectie van 700 MW is in studie.

voor interconnectie/opslag in waterkracht (PSW), vraagsturing en power to heat, en groter voor de andere opties.



bronnen: Technikfolgen Abschätzung Deutschen Bundestag, 2012; Laborelec, 2013 (vraagsturing); CE Delft

### 3.7.5 Vraag 5: is het handig om elektriciteit in de verkeerssector te stoppen als de bufferingsvraag ook impliceert dat je in periodes van energietekort teruglevering wil?

In principe zou het mogelijk zijn om elektriciteit uit elektrische auto's of afgedankte autoaccu's terug te leveren op momenten van energietekort. Er tekenen zich echter ontwikkelingen af, dat zonnecellen gekoppeld gaan worden aan een accu voor stationaire gebruik, met een beperkte buffercapaciteit. Ook zijn er aankondigingen van technologische doorbraken in opslagcapaciteit en/of kostprijsreductie van accu's voor stationair gebruik. Deze ontwikkelingen verminderen de noodzaak om autoaccu's voor buffering in te zetten.

Verwacht wordt dat eigenaren van elektrische auto's huiverig zullen zijn voor teruglevering aan het net, omdat de levensduur van accu's in belangrijke mate afhangt van het aantal laad/ontlaad-cycli. Voor afgedankte autoaccu's geldt dat ze op z'n vroegst vele jaren na de aanschaf van een elektrische auto beschikbaar komen. Als accu's een kortere levensduur zouden hebben, dan komt elektrisch rijden zeker niet van de grond. De beschikbaarheid van afgedankte autoaccu's is daarom een afspiegeling van de verkopen van 5-10 jaar daarvoor en loopt ver achter bij de totale omvang van de vloot elektrische voertuigen. Tevens zou het met het oog op de beschikbaarheid van grondstoffen gewenst kunnen zijn, om afgedankte accu's te recyclen tot nieuwe accu's met een hogere energiedichtheid.

Dit neemt niet weg dat het voor individuele gebruikers(groepen) aantrekkelijk kan zijn om de elektrische auto of een afgedankte autoaccu in te zetten voor periodes van energietekort, bijvoorbeeld vanwege tariefstructuren of uit een wens om zelfvoorzienend te zijn.

### 3.8 Internationaal kader: beleidskader en automobielfabrikanten (kennisvraag 8.4)

|                  |                                                                                                                                                  |
|------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Brandstofafel:   | Algemeen                                                                                                                                         |
| Gestelde vraag:  | Wat zijn de beleidsprioriteiten bij andere landen rond verduurzaming van de transportsector? Welke prioriteiten leggen de automobielfabrikanten? |
| Type antwoord:   | Korte notitie                                                                                                                                    |
| Uitgevoerd door: | Marc Londo en Bronia Jablonska (ECN), co-reading door Richard Smokers (TNO) en Marcel Weeda (ECN)                                                |

#### 3.8.1 Achtergrond

Hoe verhouden de ambities in de brandstofvisie zich tot de ambities en ontwikkelingen in andere landen in Europa? Om hier een beeld van te schetsen is een korte inventarisatie gedaan van visies en plannen in enkele andere EU-landen, te weten Duitsland, Frankrijk, het Verenigd Koninkrijk, Noorwegen, Zweden en Denemarken. Deze notitie vat de belangrijkste bevindingen samen, op de volgende punten:

- Welke CO<sub>2</sub>-emissiereductiedoelstellingen hebben de landen geformuleerd voor de transportsector?
- Welke brandstoffen/PMC's worden momenteel fiscaal gestimuleerd?
- Welke ambities voor nieuwe brandstofinfrastructuur hebben de landen geformuleerd?
- Welke ambities wat betreft nieuwe voertuigtypen hebben de landen geformuleerd?
- Welke andere zaken vallen op bij deze inventarisatie?
- De focus ligt op het wegtransport; welke ambities liggen er rond andere modaliteiten?
- Welke prioriteiten lijken voertuigproducenten (OEMs) te stellen?

Deze notitie vat de resultaten samen. Meer achterliggende informatie is op verzoek verkrijgbaar.

#### 3.8.2 Algemeen

- Ambities en plannen van de diverse landen verschillen sterk in mate van concreetheid. Het Duitse visiedocument bijvoorbeeld bevat veel verstandige overwegingen, maar maakt nauwelijks concrete keuzes. De Franse visie is vrij concreet over elektrische voertuigen en blijft veel algemener over andere opties. In vergelijking bevat de Nederlandse visie veel kwantitatief materiaal.
- Over de toekomst van transport in de diverse landen is veel informatie beschikbaar, maar de status niet altijd duidelijk. Wij hebben ons beperkt tot documenten die een duidelijke overheidsachtergrond hebben, en tot Engelstalige informatie.

#### 3.8.3 CO<sub>2</sub>-emissiereductiedoelstellingen voor de transportsector

Enkele landen hebben de ambitie geformuleerd om de transportsector klimaatneutraal te maken in 2050, en gaan hiermee verder dan de Nederlandse ambitie in het Energieakkoord. Deze landen zijn Zweden & Denemarken (die deze ambitie voor hun gehele energiehuishouding hebben) en het Verenigd Koninkrijk. Zweden wil in 2030 de reducties in transport al met 80% hebben verminderd ten opzichte van 1990. Voor de andere buitenlandse landen zijn nog geen specifieke transportdoelstellingen voor deze termijn gevonden.

### 3.8.4 Huidige fiscale stimulerings

De fiscale stimulerings van personenvervoertuigen in de onderzochte landen is samengevat in de onderstaande tabel.

|    | Biobrandstoffen<br>(hoge blends) | Aardgas/<br>biogas | Zuinige<br>voertuigen | PHEV | FEV | FCEV |
|----|----------------------------------|--------------------|-----------------------|------|-----|------|
| D  |                                  |                    | XX                    |      | XX  |      |
| F  | XX                               | XX                 | XX                    | XX   | XX  | XX   |
| UK |                                  |                    |                       | XX   | XX  | XX   |
| N  |                                  |                    |                       |      | XXX | XXX  |
| SE | XX                               |                    | XX                    |      | XXX | XXX  |
| DK |                                  |                    |                       |      | XX  | XX   |
| NL |                                  | XX                 | XX                    | XX   | XXX | XXX  |

XX: fiscale stimulerings voor sommige voertuigen in deze categorie

XX: fiscale stimulerings voor alle voertuigen in deze categorie

XXX: fiscale stimulerings voor alle voertuigen in deze categorie via meer dan één instrument (aanschafbelasting, jaarlijkse belasting)

Indrukken:

- Fiscale stimulerings richt zich momenteel vooral op FEVs (in mindere mate op PHEVs) en op gedifferentieerde belasting van conventionele voertuigen op basis van hun CO<sub>2</sub>-uitstoot.
- Voertuigen op biobrandstoffen (hoge blends) en aardgas worden maar in enkele landen apart fiscaal behandeld. Naar de accijns op deze brandstoffen is niet apart gekeken.
- In de meeste landen vallen FCEVs onder dezelfde regelingen als FEVs, in de categorie zero-emissie voertuigen (N, F) of Ultra-low emission vehicles (SE,UK), met de bijbehorende fiscale stimulerings.

### 3.8.5 Ambities infrastructuur

Ambities rond de benodigde infrastructuur voor alternatieve brandstoffen en voertuigen staan samengevat in onderstaande tabel.

|    | Biobrandstoffen<br>(hoge blends)                     | Aardgas/ biogas                             | Elektriciteit                                                                                      | Waterstof                                                   |
|----|------------------------------------------------------|---------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|
| D  |                                                      | Groei naar 10% van de tankstations          | Ambitie “substantiële toename” laadpalen                                                           | 100 vulpunten in 2017; 400 in 2023; en 900 in 2030          |
| F  | E85, ambitie niet gekwantificeerd in aantal stations |                                             | > 4 miljoen laadstations in 2020                                                                   |                                                             |
| UK |                                                      | Biogas genoemd, specifieke ambitie onbekend | Programma voor 8.500 publiek gefinancierde laadstations, 25.000 laadpunten in regio Londen in 2015 | 65 vulpunten in 2020; 330 in 2025 en 1150 vulpunten in 2030 |
| N  | Beperkt op E85                                       |                                             | Circa. 4.200 laadstations halverwege 2013; 120 quick chargers eind 2013.                           | Vrachtroute Oslo-Stavanger voorzien van vulpunten           |
| SE | 100% dekking                                         |                                             |                                                                                                    |                                                             |

|    |                                                          |  |                             |  |
|----|----------------------------------------------------------|--|-----------------------------|--|
|    | vraag vloeibare brandstof met biobrandstoffen vanaf 2040 |  |                             |  |
| DK |                                                          |  | 20.000 laadstations in 2020 |  |

## Indrukken:

- Wat betreft de ontwikkeling van infrastructuur ligt de nadruk momenteel op elektrische voertuigen. Voor Noorwegen zijn geen concrete doelstellingen gevonden maar met de substantiële fiscale stimulering van FEVs en de snelle groei van het aantal voertuigen zal ook het aantal laadpunten snel stijgen.
- Duitsland is het eerste land met een concrete ambitie voor waterstofinfrastructuur: het H2 mobility initiatief hierop wordt gesteund door de centrale overheid.
- Noorwegen heeft de meest succesvolle markt voor EV's (het resultaat van 20 jaar beleid).
- Zweden wil al in 2040 de gehele vraag naar vloeibare energiedragers dekken met biobrandstoffen. In de meest andere landen reiken de doelstellingen voor biobrandstoffen niet verder dan de EU-verplichting uit de richtlijn hernieuwbare energie; alleen Duitsland verwacht hier in 2020 enkele procenten boven te zitten.

## 3.8.6 Ambities voertuigen

Kwantitatieve doelstellingen in aantallen voertuigen zijn alleen gevonden voor elektrische voertuigen:

- De Franse overheid zet in op 2 miljoen elektrische voertuigen in 2020
- De Duitse overheid op 1 miljoen elektrische voertuigen, ook in 2020
- De Britse overheid wil 100.000 elektrische voertuigen in de regio Londen 'as soon as possible', waaronder 1.000 die gekocht zullen worden door de lokale overheid in 2015.
- Doelstelling van 200.000 (10%) plug-in voertuigen op Noorse wegen in 2020 (ca. 16.000 eind 2013, dat is penetratie van meer dan 3%).
- Denemarken heeft de ambitie van 200.000 elektrische voertuigen in 2020.
- Zweden wil naar 600.000 elektrische voertuigen in 2020.

## Andere specifieke punten in beleid, ook voor andere sectoren

|    |                                                                                                                                                                                                                                    |
|----|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| D  | Biokerosine voor de luchtvaart is geen prioriteit op dit moment. Wel een "10,000 ton biokerosene" onderzoeksprogramma.<br>Scheepvaart: inzetten op LNG (en walstroom).<br>Spoor: Deutsche Bahn 100% CO <sub>2</sub> -vrij in 2050. |
| F  | Onderzoeksprogramma's voor duurzame energie, groene chemie en low-emissie voertuigen                                                                                                                                               |
| UK | Sterke steun voor ultra-low emission vehicles, (een verzamelcategorie voor FEVs, PHEVs en EVs met een range extender) met budgetten tot 2020                                                                                       |
| N  | Hoogste penetratie van EV's door genereuze stimulering van zero-emissie voertuigen, hoge prijzen van fossiele brandstoffen en relatief goedkope elektriciteit (veel waterkracht)                                                   |
| SE | Ambitie van 'fossiel-onafhankelijk' wagenpark in 2030. De definitie van 'fossiel-onafhankelijk' is echter nog niet geheel duidelijk.                                                                                               |
| DK | Schepen 23% efficiënter in 2030                                                                                                                                                                                                    |

### 3.8.7 Korte indruk prioriteiten OEMs

Hier richten we ons vooral op de ontwikkelingen in batterij-, plug-in hybride en brandstofcel-elektrische voertuigen. De technische uitdagingen bij rijden op aardgas en hoge blends biobrandstoffen zijn zodanig beperkt dat in principe elke fabrikant deze modellen kan bouwen wanneer de markt er om vraagt.

#### *Batterij- en plug-in hybride voertuigen*

Vrijwel alle automerken hebben inmiddels één of meer (batterij- of plug-in) elektrische voertuigen in hun gamma. De markt wordt mondiaal momenteel gedomineerd door Toyota, GM en Nissan. Voor Franse merken als PSA en Renault is de productie van elektrische voertuigen onderdeel van een overeenkomst met de Franse overheid. Maar ook Duitse merken (bijvoorbeeld BMW en VW) komen momenteel met nieuwe modellen. Tot 2014 hebben Duitse fabrikanten 15 modellen van EVs geïntroduceerd. Er is een onderscheid te maken tussen:

- Elektrische modellen die vooral een variant zijn op een conventioneel model. Zo heeft Fiat een elektrische 500, en ook Volkswagen heeft dergelijke afgeleide versies. Fabrikanten proberen deze elektrische voertuigen zoveel mogelijk te laten aansluiten bij de huidige behoeften van klanten.
- Elektrische modellen die nieuw zijn ontwikkeld, zoals de Nissan LEAF (ca 70.000 verkocht tot mid 2013, of ca 50% van de totaalverkoop) en de Tesla. Ook BMW bewandelt dit spoor. In deze modellen worden relevante innovaties gecombineerd, bijvoorbeeld in materiaalgebruik (gewichtsreductie), aandrijflijn en batterijen. Ook de ontwikkeling van elektrische 'micro vehicles' past in deze lijn.

Uitgebreide en tot 2018 gegarandeerde stimulering (financieel en anders) van zero-emissie voertuigen, opbouw van infrastructuur (grotendeels gesubsidieerd) heeft OEM's aangespoord om zich op het toeleveren van EV's op de Noorse markt te richten. Noorwegen is de eerste markt met in de wereld met 100% EVs (Nissan LEAF) in de top 10 sales. Nissan LEAF heeft een 34% aandeel van EVs op de weg in Noorwegen. Van de EVs verkocht in 2012 in Noorwegen is Nissan met 53% de marktleider, gevolgd door Mitsubishi (14%), Citroen (12%) en Peugeot (10%).

#### *Waterstof-elektrische voertuigen*

De introductie van waterstof-elektrische voertuigen uit serieproductie lijkt binnen enkele jaren aan de orde te zijn. Toyota heeft aangekondigd een middenklasser uit te brengen in 2015, en Hyundai voorziet een productie van 10.000 waterstofauto's voertuigen voor de Europese markt. Ford, Daimler en Nissan werken samen aan dit type met zichtjaar 2017. Ook Honda is hierin actief. Diverse OEMs beschouwen fuel cell elektrische voertuigen als de lang-termijn optie wanneer een substantiele actieradius vereist is.

Geen van de autofabrikanten kiest radicaal voor de ene of de andere technologie. Hoewel dat in mediaberichten soms anders wordt voorgesteld houden fabrikanten momenteel een portfolio aan opties aan, simpelweg omdat de onzekerheden in de technologie en de markt nog te groot zijn voor het kiezen van een bepaald spoor.

### 3.8.8 Bronnen beleidsoverzicht

The Mobility and Fuels Strategy of the German Government (MFS) - New Pathways for Energy (June, 2013) <http://www.bmvi.de/SharedDocs/EN/Anlagen/UI-MKS/mfs-strategy-final-en.pdf>

Progress Toward Low-Carbon Transport: Experiences from Germany  
<http://www.sou.gov.se/content/1/c6/21//33/45/16774bf7.pdf>

A Global Comparison of Fiscal Incentive Policy for Electric Vehicles (in 2013)  
[http://www.theicct.org/sites/default/files/publications/ICCT\\_EV-fiscal-incentives\\_20140506.pdf](http://www.theicct.org/sites/default/files/publications/ICCT_EV-fiscal-incentives_20140506.pdf)

“Energy transition in the transport sector”(leaflet); ESEC (Economic, Social and Environmental Council); the section for Sustainable Management of Territories; 2013. Full text in French available at: [www.lecese.fr](http://www.lecese.fr)

UK Policy , Procedures, Measures and Interventions  
Greenhouse Gas Abatement in the Norwegian Transport Sector; 2012

Transport Policies Related to Climate Change Mitigation - the Case of Denmark.  
[http://vbn.aau.dk/files/76311117/Transport\\_policies\\_related\\_to\\_climate\\_change\\_mitigation.pdf](http://vbn.aau.dk/files/76311117/Transport_policies_related_to_climate_change_mitigation.pdf)

DELRAPPORT Transporter - Underlag till fardplan 2050 (Zweden):  
[http://publikationswebbutik.vv.se/shopping/ShowItem\\_5884.aspx](http://publikationswebbutik.vv.se/shopping/ShowItem_5884.aspx)

<https://www.gov.uk/government/policies/reducing-greenhouse-gases-and-other-emissions-from-transport/supporting-pages/ultra-low-emission-vehicles>

<https://www.gov.uk/government/policies/reducing-greenhouse-gases-and-other-emissions-from-transport>

EC Impact assessments Accompanying the document Proposal for a Directive on the deployment of alternative fuels infrastructure. <http://www.consilium.europa.eu/meetings/open-sessions/related-documents?debateid=2173&lang=en>

### 3.8.9 Bronnen OEM-overzicht

<http://www.theicct.org/blogs/staff/show-vehicles-or-all-differing-electric-vehicle-strategies-emerge>

[http://www.iea.org/publications/globalevoutlook\\_2013.pdf](http://www.iea.org/publications/globalevoutlook_2013.pdf)

[http://www.iedonline.org/clientuploads/Downloads/edrp/IEDC\\_Electric\\_Vehicle\\_Industry.pdf](http://www.iedonline.org/clientuploads/Downloads/edrp/IEDC_Electric_Vehicle_Industry.pdf)

[http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/natural\\_gas\\_vehicles.pdf](http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/natural_gas_vehicles.pdf)

<http://www.technologyreview.com/news/516711/why-toyota-and-gm-are-pushing-fuel-cell-cars-to-market/>

<http://www.technologyreview.com/view/510416/ford-daimler-and-nissan-commit-to-fuel-cells/>

Christoph Mazur et al.: Understanding the automotive industry: German OEM behaviour during the last 20 years and its implications; EVS27; Barcelona, 2013

<http://www.anwb.nl/auto/themas/elektrisch-rijden/elektrische-autos/welke-autos-zijn-er/hyundai-ix35-fuel-cell>

### 3.9 Gedrag en de transitie naar duurzaam (kennisvraag 3.6)

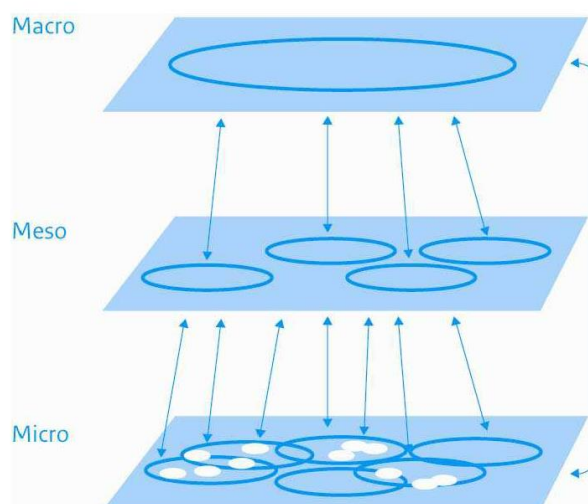
|                  |                                                                     |
|------------------|---------------------------------------------------------------------|
| Vraagnummer:     | <b>3.6</b>                                                          |
| Gestelde vraag:  | Kennen we gedragseffecten die duurzame transitie kunnen versnellen? |
| Type antwoord:   | Discussiestuk ter voorbereiding van een eventuele workshop          |
| Uitgevoerd door: | Geerte Paradies en Guido Sluijsmans (TNO)                           |

In kennisvraag 3.6a (hoofdstuk 6.4) wordt nader ingegaan op instrumenten voor de stimulering van de aanschaf van elektrische voertuigen.

#### 3.9.1 *Gedrag is een serieus beleidsinstrument*

Mensen handelen anders dan verwacht, maar wel op een voorspelbare manier. Zo overschatten we systematisch onze kennis en ons vermogen tot zelfcontrole. Zo blijkt 93% van de automobilisten hun rijvaardigheid boven de mediaan te schatten. Bijna iedereen denkt beter te rijden dan de rest (Svenson, 1981).

De sociale psychologie en gedragseconomie verklaren waarom traditionele beleidsinstrumenten soms ineffectief of zelfs contraproductief zijn, en laten bovendien zien dat er een onderbenut instrumentarium van beleid is. Op een aantal terreinen staat het gedrag van de burger hoog op de beleidsagenda. Te denken valt aan de omgang met gezondheid, natuurlijke grondstoffen, geld en de houding ten opzichte van de naaste en de gemeenschap als geheel. Het belang dat beleidsmakers hieraan hechten komt tot uitdrukking in regelgeving, financiële stimuli, gedragscodes, oproepen en waarschuwingen, campagnes ter bewustwording, en ook educatie, informatie en transparantie. Binnen de mobiliteitssector is gedrag echter nog *up-coming*. De recente studie 'Grip op gedrag'<sup>15</sup> laat een veelheid aan gedragsinterventies zien en geeft ook een rode draad voor het opzetten van toekomstige interventies weer. Een belangrijke conclusie uit deze studie is echter ook dat gedragsmaatregelen tot op heden vrijwel niet geëvalueerd zijn, waardoor de harde effecten veelal ontbreken.



<sup>15</sup> Grip op gedrag, 5 november 2013, XTNT, & Morgen, Tabula Rasa.

Bij gedragsbeïnvloeding maken we onderscheid tussen 3 niveaus<sup>16</sup>:

1. macroniveau (de rijksoverheid, zoals het ministerie van IenM),
2. mesoniveau (gemeenten, OV bedrijven en werkgevers) en
3. microniveau (de burger, de reiziger, de autobestuurder)

Dit onderscheid is relevant omdat ook binnen de mobiliteitssector de overheid maar beperkt invloed kan uitoefenen. Getuige alleen al de visievorming energiedragers dan is het een samenwerking van vele spelers, waarbij de reiziger zelf niet aan tafel zit, cq hooguit vertegenwoordigd wordt. Echter er is niet een reiziger.

Daarnaast zijn er verschillende aangrijpingspunten om het gebruik van energie te verlagen. We kunnen daarbij onderscheid maken in:

- no-trip: overwegen om niet op reis te gaan (bijv. thuiswerken, prijsprikkels)
- pre-trip: je hebt toch besloten om op reis te gaan, dan kun je nog de vervoerswijze kiezen (OV, fiets, (type) auto, etc.) en het tijdstip (bijv. buiten de files)
- on-trip: en tijdens de trip (met de auto) kun je
  - o efficiënter reizen door de files te omzeilen (individueel routeadvies) of het verkeer zo loodsen dan het blijft doorstromen (dynamisch verkeersmanagement),
  - o zuiniger rijden en/of meer elektrisch rijden en/of
  - o voor het laatste stuk van je reis over te stappen op een alternatief.
- post-trip kun je reizigers feedback geven over hun gedrag.

### **Enkele feiten en cijfers**

Op alle aangrijpingspunten zijn onderzoeken uitgevoerd dan wel veel feiten en cijfers bekend. Effecten van maatregelen in deze aangrijpingspunten zijn verschillend en kennen vrijwel altijd een technologie component. De inschattingen zijn dat de gedragsgerelateerde maatregelen kunnen resulteren tot enkele tientallen procenten tot 2050. Hieronder worden enkele bekende effecten opgesomd:

- eco-driving support systemen: het ecoDriver project<sup>17</sup> streeft naar een 20% reductie (een groter effect dus dan dat was van Het Nieuwe Rijden te verwachten is, door de actieve ondersteuning). Ook ander onderzoek toont aan door een goede bestuurdersondersteuning in de praktijk 20% reductie is te realiseren. Bij een gemiddelde rijstaal kan een verbeterde rijstijl zeker tussen de 5%–10% opleveren<sup>18</sup>. Een krachtig element is het gebruik van bestuurdersprofielen. De feedback aan de bestuurder wordt op die manier beter opgevolgd. Dat de praktijk weerbarstiger is dan mensen zelf denken, blijkt uit een studie van TNO uit 2009. In die studie is het brandstofverbruik en rijgedrag gemeten van bestuurders die zeiden de regels van Het Nieuwe Rijden toe te passen. Er wordt geconcludeerd dat de subjectieve beleving dat men tips van HNR toepast niet overeenkomst met het daadwerkelijke rijgedrag.<sup>19</sup> Zogenaamde gear-shift indicators realiseren slechts een marginale reductie.
- verbetering verkeersregelingen: effecten zijn sterk afhankelijk van de uitgangssituatie en of er wel of niet coördinatie/coöperatie plaatsvindt. Schattingen in de range van 5-15% worden gegeven (op kruispunten).
- coöperatieve Advanced Cruise Control (C-ACC): de effecten op CO<sub>2</sub> emissies van C-ACC zijn nog onbekend, maar kunnen substantieel zijn omdat homogener gereden wordt en files uitgesteld/voorkomen kunnen worden.
- road-pricing: het effect is afhankelijk van de grootte van het gebied/wegennet waarop de road pricing zou worden ingevoerd. Een voorzichtige schatting ligt in de orde 25%-30%. Het

<sup>16</sup> Gedrag in beleid, Met psychologie en gedragseconomie het mobiliteitsbeleid versterken, Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid, Jaco Berveling ea, juli 2011]

<sup>17</sup> [www.ecodriver-project.eu](http://www.ecodriver-project.eu)

<sup>18</sup> Final Report on the Fuel Saving Effectiveness of Various Driver Feedback Approaches, Jeffrey Gonder, Matthew Earleywine, and Witt Sparks, National Renewable Energy Laboratory, March 2011

<sup>19</sup> Daadwerkelijk rijgedrag met Het Nieuwe Rijden, M. de Goede, M. Hoedemaeker, augustus 2009.

grootste deel van dit effect wordt naar verwachting gehaald op het HWN, omdat daar de meeste wegekilometers worden afgelegd.

- synchromodaliteit: dit bestaat momenteel als concept, maar dient verder ingevuld worden met concrete afspraken tussen partijen die samen willen werken. De effecten op CO<sub>2</sub> emissies zijn nog onbekend maar kunnen substantieel zijn omdat het systeem helpt om onnodige km's te voorkomen.
- electronic freight exchange: deze zijn operationeel; effect hangt af van aantal deelnemende partijen. De effecten op CO<sub>2</sub> emissies zijn nog onbekend maar kunnen substantieel zijn omdat het systeem helpt om onnodige km's te voorkomen.
- Bij mobiliteitsbudgetten maakt de medewerker zelf een afweging tussen reistijd, comfort, kosten. Uitgespaard geld kan hij laten uitbetalen als loon. De organisatie biedt medewerkers maatwerk en vrijheid op het gebied van reizen. Daarnaast kan ze via een mobiliteitsbudget duurzame mobiliteit bevorderen. De voordelen van mobiliteitsbudgetten werden voor het eerst aangetoond door de Taskforce Mobiliteitsmanagement en ook de B50 van het Platform Slim Werken Slim Reizen<sup>20</sup>. Volgens die berekeningen worden door een Slim Reisbudget 1,7% minder autokilometers gemaakt binnen woon-werkverkeer. Daarnaast verwacht men ook een verschuiving naar goedkopere en duurzamere vervoersvormen. Het budget kan zorgen voor een afname van zo'n 2% autokilometers voor woon-werkverkeer.
- Spitsmijden: het instrument 'belonen voor spitsmijden' kan een (kosten-) effectief instrument zijn voor het tijdelijk mitigeren van een bereikbaarheidsprobleem en de realisatie van duurzame bereikbaarheid. In de Nederlandse spitsmijden projecten hebben in totaal 28.000 weggebruikers meegedaan aan spitsmijden projecten. Die deelnemers gingen tussen de 30 en 60% van hun spitsritten mijden vanwege de projecten. Na afloop van de projecten blijft een deel van de deelnemers ook ander gedrag vertonen: bij een aantal is dus een nieuw gewoontegedrag ontstaan. Binnen de projecten is geëxperimenteerd met verschillende varianten. Een recente eindstudie geeft inzichten over de inzetbaarheid van deze interventie<sup>21</sup>.

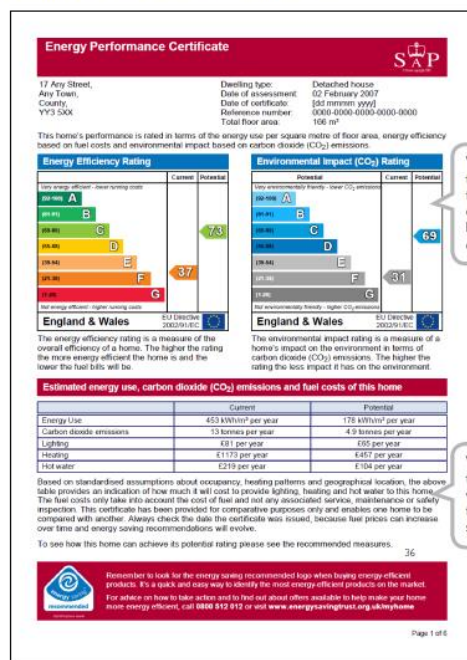
In Engeland wordt al veelvuldig het Behavioural Insight Team ingezet voor het optimaliseren van gedragsinterventies. Hierna volgen twee voorbeelden uit een studie over energieverbruik<sup>22</sup>. Het Amerikaanse bedrijf Opower bedient consumenten met het zogenaamde 'Home Energy Reporting Program'. Daarbij voorzien ze consumenten van informatie over hun energieverbruik en vergelijken ze dat met eenzelfde type burens. Het inzicht gaat gepaard met een persoonlijke feedback over het energieverbruik en aanbevelingen op maat hoe energie en geld te besparen. Diverse onafhankelijke evaluaties hebben aangetoond dat de gemiddelde energiebesparingen 2 tot 3% is.

<sup>20</sup>[http://www.slimwerken Slim Reizen.nl/index.html?artikel\\_ID=925&loc1=2&soc1=2&pagina=1&art=2&lv=925&pagina=1&naam=Nieuws&search\\_term=mobiliteitsbudgetten&#abc925](http://www.slimwerken Slim Reizen.nl/index.html?artikel_ID=925&loc1=2&soc1=2&pagina=1&art=2&lv=925&pagina=1&naam=Nieuws&search_term=mobiliteitsbudgetten&#abc925)

<sup>21</sup> Leren van spitsmijden-projecten, Prof H. Meurs, NM Magazine, nr 4 2013

<sup>22</sup> Behaviour Change and Energy Use Behavioural Insights, Published by the Cabinet Office Behavioural Insights Team, July 2011

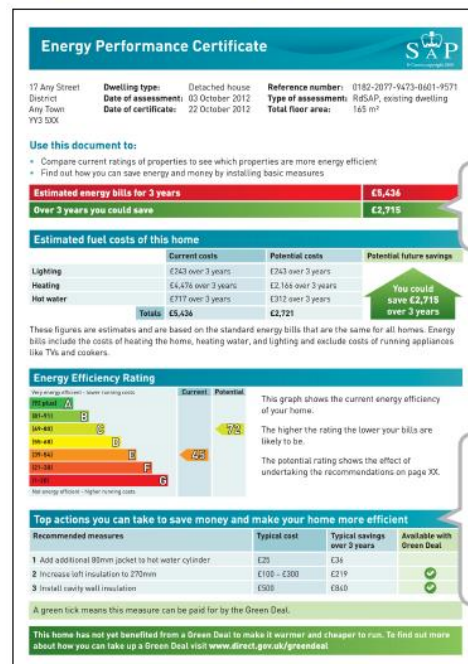
Front page of the EPC before April 2012



We will be removing this second graph from the front page of the EPC, as it had the potential to confuse consumers

We have simplified these messages, which many people found complex or simply ignored.

Front page of the EPC after April 2012



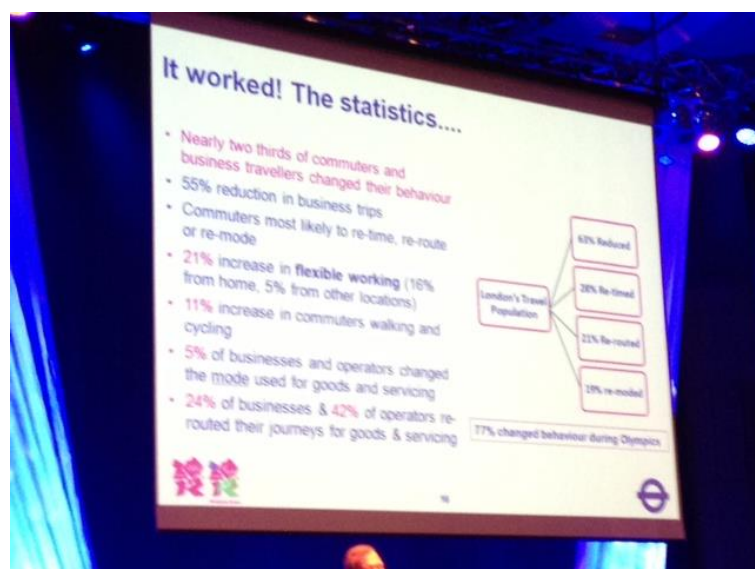
The savings of having an energy-efficient home will be made clearer

The new EPCs will highlight a small number of things which can be done to achieve savings – many of which will be eligible for the Green Deal and will incur no upfront cost

Figuur 32 Voorbeeld voor en na optimalisatie Energy Performance Certificates

Een ander voorbeeld is het optimaliseren van de 'Energy Performance Certificates'. Mensen zijn gevoelig voor deze certificaten en een deel handelt hier ook naar. De vormgeving van die certificaten kan echter grote impact hebben op het percentage mensen dat hiernaar handelt. Door vanuit gedragsoogpunt hiernaar te kijken en het ontwerp te optimaliseren kan dit percentage verhoogd worden.

Een mooi voorbeeld waarbij ook de druk hoog was het gedrag te veranderen is de casus van London tijdens de Olympische Spelen. Daarbij heeft een groot deel van de Londenaren zijn gedrag aangepast.



Figuur 33 77% van de Londenaren veranderde zijn gedrag tijdens de Olympische spelen [Ian Macbeth, Transport for London, foto genomen tijdens de recente ECOMM]

### Matig evaluatie onderzoek

De effectiviteit van maatregelen is matig aangetoond. Getuige een recente studie in opdracht van het Ministerie Infrastructuur en Milieu<sup>23</sup>. Diezelfde studie geeft ook aan dat maatregelen slechts beperkt gericht zijn op structurele veranderingen en gedragsbehoud. De korte termijn effecten bepalen het beeld. Dit zien we ook bij initiatieven als Rij2op5 en Van5naar4<sup>24</sup>. Dit type projecten zijn ook zelden onderdeel van een breder pakket aan maatregelen. Hierdoor is nauwelijks zicht te krijgen op welke interventies in de praktijk bewezen bewijskracht hebben op het gebied van duurzame gedragsverandering.

Ook zijn er ervaringen met interventies op een meso-niveau. Het MKB Voucherprogramma is daar een voorbeeld van. Dat programma heeft een positieve invloed op de bewustwording van MKB bedrijven over de mogelijkheden van Mobiliteitsmanagement<sup>25</sup>.

### 3.9.2 Trends en ontwikkelingen

Ook is er een aantal (gedrags)ontwikkelingen op de lange termijn die invloed hebben op de mobiliteitsvraag. In principe zitten deze ontwikkelingen in mobiliteitsprognose modellen. Echter (recente) ontwikkelingen zoals Het Nieuwe Werken, de beweging van het bedrijfsleven om haar CO<sub>2</sub> emissie te reduceren (bijv. door deel te nemen aan Lean&Green Mobility), de opkomst van deelauto's of het veranderende mobiliteitspatroon van jongeren zitten niet (direct) in dergelijk modellen. Daarom verdienen deze ontwikkelingen bijzondere aandacht de komende jaren.

In deze paragraaf worden enkele daarvan nader toegelicht en de stand van zaken op dit moment weergegeven. In de bijlage zijn uitgebreidere uitsneden uit studies van het Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid (KiM) opgenomen.

Een andere interessante rapportage van trends betreft het rapport "Blik op personenmobiliteit" (Lucas Harms ea, KiM, nov 2011).

#### Verdere toename in thuis- en telewerken

TNO heeft op basis van gegevens uit de Nationale Enquête Arbeidsomstandigheden (NEA) en CBS een inschatting gemaakt van de verdere groei van thuis- en telewerken voor 2020 en 2030<sup>26</sup>. Op basis daarvan zijn de CO<sub>2</sub> effecten berekend. Voor 2020 is de reductie 87 duizend ton CO<sub>2</sub> en voor 2030 is de reductie in totaal 119 duizend ton CO<sub>2</sub> (zie verderop voor de onderbouwing).

Het percentage werknemers dat telewerkt is over de periode 2007–2011 van 12 tot 16 procent gegroeid. De voorlopige cijfers uit de NEA 2012 geven aan dat dit percentage verder gegroeid is. In 2011 werkt ca. 28% van de Nederlandse beroepsbevolking minimaal een uur per week thuis. 9% werkt 8 uur of meer per week thuis. We kunnen veronderstellen dat deze werknemers een dag per week niet reizen. De verwachtingen zijn als volgt:

- een verdubbeling in 2020 van het aantal mensen dat 8 uur of meer per week thuiswerkt, dus naar ca. 18%. Dit doordat het steeds meer gebruikelijk en gestimuleerd wordt om thuis te werken en de technologie ondersteuning daarbij. Ook het onderzoek van Rotterdam School



<sup>23</sup> Grip op gedrag, 5 november 2013, XTNT, &Morgen, Tabula Rasa

<sup>24</sup> V5N4 is een serious game voor mobiliteit. Bij dit interactieve spel maken werknemers kennis met alle aspecten van mobiliteitsmanagement en worden ze op een sympathieke manier uitgedaagd om slimmer te reizen en te werken. V5N4 zorgt voor 20% minder autoverkeer in de spits, omdat de deelnemers slimmer reizen en werken.

<sup>25</sup> Evaluatie MKB Voucherprogramma, Hoofdrapport, 3 nov 2011

<sup>26</sup> Factsheets Het Nieuwe Werken, G. Sluijsmans, iov Rijkswaterstaat, april 2013

of Management support deze stijging. Dit betekent een afname van het aantal daadwerkelijk gereden kilometers op jaarbasis tot 2020 met ca. 600 miljoen km.

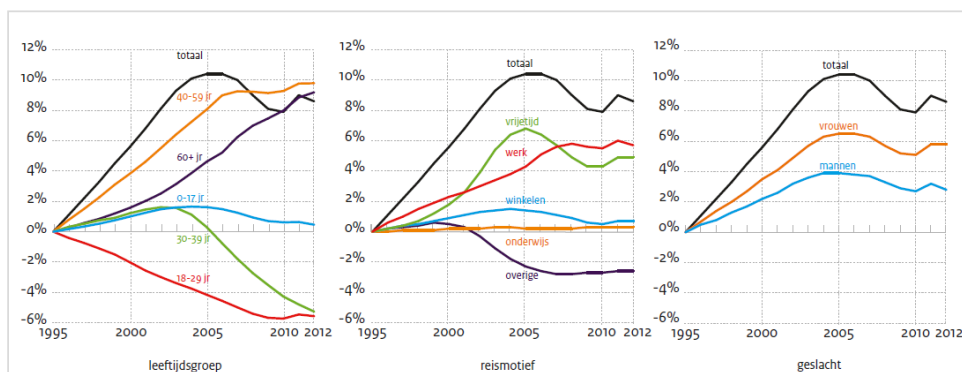
Voor 2030 verwachten we dat er nog een klein beetje extra groei zal zijn, maar deze vakt na 2020 af. We schatten in dat in 2030 maximaal 22% 8u of meer per week thuiswerkt. Dit resulteert in ca. 250 miljoen minder afgelegde kilometers per jaar (boven de besparing tot 2020).

- het % werknemers dat minimaal een uur per week thuiswerkt zal toenemen van 28% naar ca. 40%. Hierdoor zal meer flexibiliteit ontstaan, maar dit zal slechts beperkt invloed hebben op de hoeveelheid afgelegde kilometers. Wel beïnvloedt het de verdeling over de vertrektijdstoppen (meer buiten de spits).

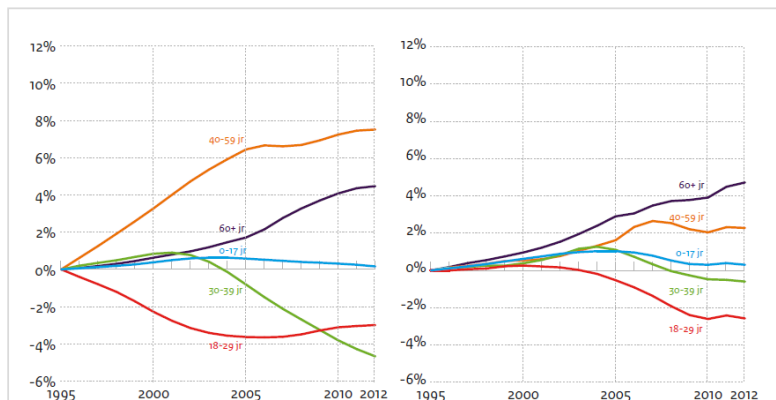
### **KIM onderzoek: Groei mobiliteit per segment verschillend**

Het zijn vooral personen boven de 40 jaar die bijdroegen aan de groei van de totale automobility, terwijl de 18- tot 29-jarigen en, vanaf 2005, de 30- tot 39-jarigen juist zorgden voor een gestage afname van die groei. Ook het reismotief 'werk' blijkt tot 2007 een flinke bijdrage te hebben geleverd aan de groei van de automobility (6 procent), een bijdrage die in de laatste jaren stabiliseerde. Bij deze stabilisatie zal de stagnerende economische ontwikkeling waarschijnlijk een rol spelen. De vrijetijdsactiviteiten droegen aanvankelijk aanzienlijk bij aan de automobilitysgroei. In 2005 zette hier echter een sterke daling in, terwijl zich vanaf 2010 weer een lichte toename aftekent. Tot slot blijkt dat vrouwen meer aan de groei hebben bijgedragen dan mannen.

Bijdrage van diverse segmenten (leeftijd, reismotief, geslacht) aan de ontwikkeling van de automobility (gemeten in afgelegde kilometers), uitgedrukt in een groeipercantage ten opzichte van de totale automobility in 1995. Bron OVG/MON/OViN, bewerking KIM.



Bijdragen aan de ontwikkeling van de automobility sinds 1995, per leeftijdsgroep, opgesplitst in effecten van veranderingen in de grootte van de groep en in de afgelegde kilometers per persoon, uitgedrukt in groeipercantage ten opzichte van de totale automobility in 1995. Bron: OVG/MON/OViN, bewerking KIM.



**Samenvatting van enkele KiM onderzoeken<sup>27</sup>:**

- Nederlandse jongvolwassenen minder automobiel. In de *Mobiliteitsbalans 2012*<sup>28</sup> is geconstateerd dat de automobilititeit van jongvolwassenen van 18-29 jaar tussen 1995 en 2009 is afgenomen, zowel in aantal verplaatsingen als in afgelegde kilometers.
- Het rijbewijs- en autobezit onder jongvolwassenen in Nederland is slechts beperkt veranderd. Zo is het rijbewijsbezit onder jongeren van 17-20 jaar eerder toe- dan afgenomen.
- Sociale media belangrijk, maar ook fysieke ontmoetingen: jongvolwassenen maken veel gebruik van internet. Jongeren van boven de 16 jaar geven volgens Nelis en Van Sar (2012: 218) unaniem de voorkeur aan *real life*-contact. Ook het trendbureau Youngworks (2013) onderzocht de relatie tussen sociale media en *face-to-face*-contact onder 177 jongeren in de leeftijd van 18-28 jaar. De onderzoeksresultaten wijzen niet op een afname van het *face-to-face*-contact.
- Status autobezit in Nederland onveranderd: Mensen kopen een auto niet alleen op basis van instrumentele, maar ook op basis van affectieve motieven, zoals status (Steg & Vlek, 1999). De auto lijkt nog weinig van zijn aantrekkelijkheid te hebben verloren. Ook in Europa lijkt de generatie Y gecharmeerd te blijven van de auto.
- Deeleconomie: De generatie Y wil diensten en producten onafhankelijk van openingstijden of locatie kunnen consumeren, op een moment dat het hen uitkomt. Mobiliteitskeuzes worden steeds flexibeler. De voorkeur gaat steeds meer uit naar combinaties van fiets, ov en autodelen. Jongeren kiezen niet meer automatisch voor de aanschaf van een eigen auto.

**3.9.3 De rol van gedrag bij transitie naar nieuwe technologie**

Gedragsverandering an sich kan geen doel zijn. Om met gedragsverandering aan de slag te gaan, moet je weten wie de eindgebruiker is en zul je doelgedrag zo concreet mogelijk moeten beschrijven. Beide elementen zijn nodig om vervolgens interventies te definiëren die helpen het doelgedrag bij de doelgroep te realiseren.

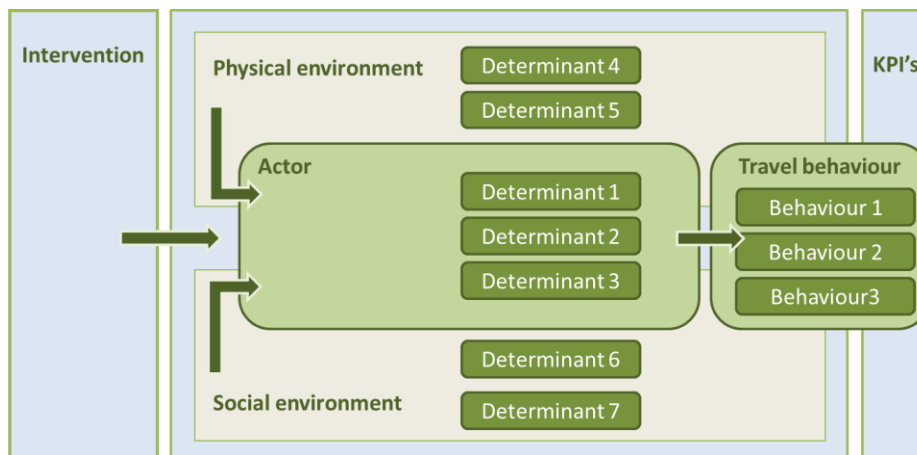
Er zijn verschillende raamwerken die helpen gedragsinterventies beter en effectiever vorm te geven. In de kern belichten al deze methodieken drie elementen:

- het begrijpen van de eindgebruiker;
- het beïnvloeden van de eindgebruiker middels interventies. Daarbij is het belangrijk zo concreet mogelijke doelgedragingen te formuleren, en tot slot
- het meten, evalueren en interpreteren van de gedragsverandering.

Zowel binnen als buiten het domein van mobiliteit worden regelmatig interventies uitgevoerd om een gedragsverandering te bewerkstelligen. Voorbeelden zijn het geven van positieve prijsprikkels om de spits te mijden en de BOB-campagne tegen rijden onder invloed. Willen interventies effect hebben dan is inzicht nodig in de beïnvloedende factoren (determinanten) van dat specifieke gedrag op verschillende niveaus, zoals op individueel niveau, organisatieniveau en maatschappelijk niveau. Deze factoren kunnen eigenschappen zijn van de actor zelf, in dit geval de automobilist, zoals zijn houding en motivatie.

<sup>27</sup> Zie bijlage, ook voor de referenties

<sup>28</sup> Savelberg et al., 2012



Figuur 34 Generiek TNO gedragsmodel

Het is daarnaast belangrijk de invloed te erkennen van de omgeving van de automobilist. TNO onderscheidt hierin:

- de fysieke omgeving, bijv. beschikbaarheid van andere modaliteiten, filedruk op trajecten en
- de sociale omgeving, bijv. bedrijfscultuur, acceptatie en voorbeeldgedrag van vrienden/kennissen.

Een effectieve interventie strategie bevat een mix van interventies die inspeelt op de belangrijkste determinanten bij een specifieke doelgroep in een specifieke context.

### Transitie

Zouden we de transitie opgave van de tafel Elektrisch hierin ontleden, dan is het allereerst belangrijk om de Key Performance Indicators te benoemen en te concretiseren. Daarin leg je vast wat je wilt bereiken.

De determinanten waarover in dit model gesproken wordt, zijn onderverdeeld in drie categorieën. Bij de fysieke omgeving kunt u denken aan de laadinfrastructuur en de kenmerken van het elektrisch voertuig zelf. De sociale omgeving is de omgeving waarin de gebruiker zich bevindt, veelal de werkgever die hierin een bepaalde rol heeft in de arbeidsvoorwaardelijke sfeer, bijv. het gebruik van een (e)tankpas of OV-chipkaart. En tot slot de gebruiker zelf: wat voor type persoon is hij/zij, welke argumenten heeft de gebruiker om elektrisch te rijden, is de persoon een koploper, zit er een maatschappelijke drijfveer achter, de competentie om een voertuig optimaal te benutten, etc. Op het moment dat, in dit specifieke voorbeeld van elektrische voertuigen, een doelgedrag wordt geformuleerd, bijv. een hoger elektrisch verbruik, en interventies worden bedacht, bijv. rijtraining of veranderingen in de fiscale bijtelling, zullen deze invloed hebben op de verschillende determinanten. Zo kan in kaart worden gebracht hoe de interventies aangrijpen op de determinanten en of de gewenste KPI's bereikt worden.

Belangrijk is om ook echt inzicht te hebben in gedragingen van de doelgroep. Er is veel informatie bij diverse partijen beschikbaar, maar niet altijd publiek. Ook kan uit literatuur of bijv CBS statistiek worden geput. Soms kan het zinvol zijn een aanvullend drijfverenonderzoek uit te voeren.

### Nederlands raamwerk

Een theoretisch raamwerk voor mobiliteit – specifiek Beter Benutten programma – wordt op dit moment door het Behavioural Insight Team van het Ministerie IenM ontwikkeld. Dat helpt om interventies te toetsen. Een eerste vervolgstap kan zijn de huidige interventies eens te toetsen op basis van dat kader, zodat we enerzijds weten wat voor type interventies nu worden gehanteerd en inzicht ontstaat welke nog ontbreken. Anderzijds kunnen de huidige interventies nog verder aangescherpt worden. Een dergelijke positieve ervaring is opgedaan met de interventies die door de

zogenaamde B50 van het Platform Slim Werken Slim Reizen<sup>29</sup> zijn uitgevoerd. Deze studie gaf partijen op een eenvoudige manier goed inzicht.

### 3.9.4 Bijlage KiM onderzoeken

#### **KiM onderzoek: Nederlandse jongvolwassenen minder automobiel**

In de *Mobiliteitsbalans 2012* (Savelberg et al., 2012) constateerden we dat de automobilititeit van jongvolwassenen van 18-29 jaar tussen 1995 en 2009 is afgenomen, zowel in aantal verplaatsingen als in afgelegde kilometers. Bij Nederlandse jongvolwassenen is dezelfde trend zichtbaar als bij Duitse, Engelse, Australische, Amerikaanse en Japanse jongeren (onder andere Kuhnimhof et al., 2011; Jones & Le Vine, 2012; Raimond & Milthorpe 2010, Delbosce & Currie, 2012, 2013; Davis et al., 2012; NHTS, 2009; Blumenburg et al., 2012; Hyodo, 2012). De factoren die op deze afname van invloed zijn, blijken echter te verschillen. In de Verenigde Staten halen jongvolwassenen bijvoorbeeld minder vaak hun rijbewijs, terwijl het rijbewijs- en autobezit onder jongvolwassenen in Nederland slechts beperkt veranderd is. Zo is het rijbewijsbezit onder jongeren van 17-20 jaar eerder toe- dan afgenomen. Het rijbewijsbezit biedt dus geen afdoende verklaring voor de geconstateerde mobiliteitsafname. Situationele factoren, zoals de arbeidsparticipatie van jonge vrouwen, de afname van het aantal werkende jongeren en de toename van het aantal studerende jongeren die bovendien in de stedelijke gebieden wonen, zijn waarschijnlijk meer van invloed geweest op de afnemende automobilititeit in Nederland. De economische crisis heeft dit proces de laatste jaren versterkt. Overigens geven de mobiliteitsprognoses geen aanleiding te veronderstellen dat op basis van de situationele factoren de afname van de automobilititeit onder jongvolwassen zal doorzetten. De opkomst van de e-society wordt vaak genoemd als mogelijke verklaring voor de afname van de jongerenmobilititeit. Hetzelfde geldt voor een afnemende oriëntatie van jongvolwassenen op de auto. Om de invloed van de sociale media en een eventuele andere houding ten opzichte van het autobezit beter te kunnen duiden heeft het KiM een literatuur-studie verricht en diverse deskundigen geïnterviewd. Daarnaast hebben we met OVG/MON-data verkend of er aanwijzingen zijn dat het mobiliteitsgedrag van jongvolwassenen verandert als zij in een andere levensfase komen.

#### **KiM onderzoek: Sociale media belangrijk, maar ook fysieke ontmoetingen**

Jongvolwassenen, ook wel aangeduid als de generatie Y (of de Facebook- of Net-generatie), maken veel gebruik van internet. Bijna 60 procent van de Nederlandse jongeren gebruikt de smartphone (bijna) dagelijks om onderweg online te gaan (Ewalds & Voncken, 2013) en 42 procent van de Nederlandse tieners surft meer dan 4 uur per dag. Vooral sociale netwerksites en, in mindere mate, e-mail worden gebruikt. Ook Twitter en LinkedIn hebben een hoge vlucht genomen. Hoewel de sociale media door alle leeftijdsgroepen worden gebruikt, zijn jongeren en jongvolwassenen toch de belangrijkste gebruikers. 91 procent van de jonge internetters (16-25 jaar) was in 2010 actief op sociale netwerken, zoals Hyves, Twitter en Facebook. Bij andere leeftijdsgroepen lag dit beduidend lager (25-55 jaar: 54%, 55-75 jaar: 30%). Binnen de Europese Unie (EU) maken alleen leeftijdgenoten uit Polen meer gebruik van sociale media (94%) (Sleijpen, 2011). Het blijft echter de vraag of, met de opkomst van de sociale media, fysiek contact (en daardoor ook autogebruik) minder noodzakelijk wordt. Jongeren van boven de 16 jaar geven volgens Nelis en Van Sar (2012: 218) unaniem de voorkeur aan *real life*-contact. Ook het trendbureau Youngworks (2013) onderzocht de relatie tussen sociale media en *face-to-face*-contact onder 177 jongeren in de leeftijd van 18-28 jaar. De onderzoeks-resultaten wijzen niet op een afname van het *face-to-face*-contact<sup>13</sup>.

#### **KiM onderzoek: Status van autobezit in Nederland onveranderd**

Mensen kopen een auto niet alleen op basis van instrumentele, maar ook op basis van affectieve motieven, zoals status (Steg & Vlek, 1999). Toch lijken er, bijvoorbeeld in Japan en de Verenigde Staten, aanwijzingen te zijn dat jongeren niet zo nodig een eigen auto hoeven te bezitten

<sup>29</sup> [www.slimwerkenlimreizen.nl](http://www.slimwerkenlimreizen.nl)

(Hargreaves, 2012; Zipcar, 2013; Roland Berger Strategy Consultants, 2011). Terwijl 30 procent van de babyboomers zichzelf als *'car enthusiast'* beschouwt, geldt dit slechts voor 15 procent van de generatie Y (Zipcar, 2013). Status lijkt in de genoemde landen nog wel een rol te spelen, maar is niet per se gebonden aan auto's. Ook aan computers, smartphones, draagbare muziekspelers en videospelletjes kan status worden ontleend (Neff, 2010).

Andere studies wijzen juist de andere kant op. In de Verenigde Staten en Australië is er (ook) onderzoek dat laat zien dat jongvolwassenen zich, vergeleken met oudere generaties, eerder meer dan minder bewust zijn van het imago dat zij met een eigen auto neerzetten (Deloitte, 2009; Delbosce & Currie, 2012; AutoTrader.com, 2013). Twee derde van de generatie Y vindt het imago van een automerk cruciaal bij de aankoop van een voertuig en is het eens met de stelling dat een voertuig veel zegt over iemands persoonlijke status (zoals welvaren) in een samenleving. De auto lijkt nog weinig van zijn aantrekkelijkheid te hebben verloren. Zodra de generatie Y het zich (weer) kan veroorloven, zullen de jong-volwassenen volgens AutoTrader.com (2013) een auto kopen.

Ook in Europa lijkt de generatie Y gecharmeerd te blijven van de auto. Méér dan ouderen zien zij de auto als uitdrukking van status (AutoScout24, 2012: 7; zie figuur 3.3). Zo blijkt uit onderzoek van Delbosce en Currie (2012: 42), dat jongvolwassenen (18 - 29 jaar) gevoeliger zijn voor de status van de auto, dan mensen van 30 jaar en ouder. Met de stelling 'Auto's zijn nog steeds een belangrijke maat voor succes' is bijna een kwart van alle ondervraagden het eens. Bij de generatie Y ligt dit percentage hoger (32 procent) (Delbosce & Currie, 2012: 42).

#### ***KIM onderzoek: Deeleeconomie***

Ook in Nederland bereidt de autobranche zich voor op de deeleeconomie. BOVAG en RAI komen tot de conclusie dat er momenteel anders tegen de auto wordt aangekeken (Capgemini Consulting, 2011; RAI Vereniging, 2013b). De generatie Y wil diensten en producten onafhankelijk van openingstijden of locatie kunnen consumeren, op een moment dat het hen uitkomt. Mobiliteitskeuzes worden steeds flexibeler. De voorkeur gaat steeds meer uit naar combinaties van fiets, ov en autodelen. Jongeren kiezen niet meer automatisch voor de aanschaf van een eigen auto.

## 4 Kennisvragen vanuit tafel “wegvervoer vloeibaar”

### 4.1 Toelichting op tabellen in startdocument (kennisvraag 1.2)

|                  |                                                      |
|------------------|------------------------------------------------------|
| Brandstofafel:   | <b>Wegvervoer vloeibaar, vraag 1.2</b>               |
| Gestelde vraag:  | Nadere toelichting op tabel 1 en 2 uit startdocument |
| Type antwoord:   | Schriftelijke toelichting in enkele A4               |
| Uitvoering door: | Rob Cuelenaere (TNO)                                 |
|                  |                                                      |

Bij een aantal cellen in de samenvattende tabellen 1 en 2 van het startdocument voor de tafel “Wegvervoer vloeibaar” vragen de deelnemers op enkele punten nadere motivatie/onderbouwing. De specifieke vragen worden afzonderlijk beantwoord

*Waarom zijn de bandbreedtes in tabel 1 zo aanzienlijk? Bijvoorbeeld van 0% – 40% bij full-electric distributietrucks.*

#### Antwoord

Dit hangt samen met de scenario-aanpak. De scenario's zijn zo geconstrueerd dat de -60% CO<sub>2</sub>-doelstelling voor verkeer in 2050 op sterk uiteenlopende wijze is ingevuld. Die verschillen zijn al in 2030 merkbaar.

Forse percentages voor full-electric voertuigen zijn reëel binnen het (consistente) beeld van de scenario's die grote doorbraken op het gebied van elektrische aandrijving veronderstellen. Als die doorbraken uitblijven blijven die percentages zeer laag.

*Is een bijmengpercentage van 17% niet te hoog en wel consistent met vigerend EU-beleid? Is een gelijk bijmengpercentage over alle categorieën aannemelijk?*

#### Antwoord

Voor een uniform bijmengpercentage is gekozen om consistent te zijn met EU-beleid. Dat schrijft voor dat een deel van het brandstofverbruik van het verkeer moet bestaan uit biobrandstoffen. De invulling wordt verder vrij gelaten. De brandstofleveranciers kunnen zelf bepalen of ze zich op een bepaalde categorie of bepaalde brandstof willen richten, zolang het gemiddelde maar uitkomt op het voorgeschreven percentage. De invulling kan zelfs nog breder zijn dan biobrandstoffen, omdat bijvoorbeeld ook elektrisch rijden meetelt. Deze keuzevrijheid is in de scenario's vertaald in een uniform bijmengpercentage variërend van 9 tot 17%.

Bij het percentage van 17% is verondersteld dat in het EU-beleid de verplichtingen voor de periode na 2020 fors worden opgehoogd. Dit zal alleen gebeuren als er voldoende echt duurzame biobrandstoffen tegen acceptabele prijs voor het verkeer beschikbaar is. Tevens is verondersteld dat de biobrandstoffen en de voertuigen compatibel zijn.

*Waarom zijn in tabel 1 geen of zeer lage aandelen ingevuld voor LNG in vrachtauto's, CNG in personen- en bestelauto's en elektrische tweewielers?*

#### Antwoord

Zoals in tabel 2 is te zien, wordt verondersteld dat in 2030, afhankelijk van het scenario, tot maximaal zo'n 300.000 personenauto's en bestelauto's op CNG rondrijden in Nederland en tot maximaal zo'n 6000 vrachtwagens op LNG of CNG. Daarnaast rijden er tot maximaal 94.000 elektrische tweewielers.

De brandstofpercentages in tabel 1 zijn hiermee niet in overeenstemming.

Op korte termijn zal een verbeterde versie van tabel 1 worden geleverd.

*Is het totaal aantal voertuigen in 2030 niet te hoog?*

Antwoord

De voertuigaantallen in tabel 2 mogen niet zonder meer bij elkaar worden opgeteld.

Ter illustratie: als het aantal elektrische voertuigen (incl. range-extender en plug-in) in 2030 uit zou komen op zo'n 1,6 miljoen – de bovengrens uit de verschillende scenario's van fase 1 – betekent dat tegelijkertijd dat het aantal benzine- en dieselauto's aan de onderkant van de gegeven bandbreedte zal zitten.

## 4.2 Ontwikkelpaden “compatibele” biobrandstoffen (kennisvraag 1.3)

|                     |                                                                                               |
|---------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|
| Brandstofafel:      | Kennisvraag 1.3                                                                               |
| Gestelde vraag:     | Wat is het potentieel en wat zijn benodigde ontwikkelpaden van "compatibele" biobrandstoffen? |
| Uit te voeren door: | Ruud Verbeek                                                                                  |
|                     |                                                                                               |

### 4.2.1 Inleiding

Vanuit de motortechnologie zullen er nauwelijks beperkingen zijn aan het aandeel duurzame brandstof. Beperkingen worden vooral bepaald door de productietechnologie en -capaciteit van de duurzame brandstoffen, de beschikbaarheid van de grondstoffen en de kosten. In tabel 1 is een overzicht gegeven van de voorkeursstrategie voor biobrandstofbijmenging.

**Tabel 1. Voorkeursstrategie voor het gebruik van biobrandstoffen voor verschillende type motoren**

|                | Voorkeursstrategie vanuit voertuig- en motortechnologie                   | binnen standaard brandstofsificatie        | max duurzame aandeel |
|----------------|---------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|----------------------|
| Dieselmotoren  | max 7% FAME, geleidelijk verhogen van bio-paraffine bijmenging (HVO, BTL) | tot 7% FAME tot ca 30% HVO, BTL            | 100%                 |
| Benzinemotoren | Geleidelijk verhogen van het ethanol bijmengpercentage                    | tot 5% ethanol in E5, 5-10% ethanol in E10 | 100%                 |
| Gasmotoren     | Bio-methaan % verhogen, als pure brandstof of als blend                   | 100% mits op aardgaskwaliteit              | 100%                 |

### 4.2.2 Motortechnologie

#### Dieselmotoren

Indien het pad gevolgd wordt zoals aangegeven in bovenstaande tabel, dan behoeven aan de voertuigkant nauwelijks aanpassingen gedaan te worden. Als het bio-paraffine (HVO, BTL) aandeel groter wordt dan ca 30%, dan wordt de dichtheidspecificatie van EN590 wellicht niet meer gehaald. Hieraan zou tegemoet gekomen kunnen worden door te zijner tijd een extra EN590 specificatie te maken met een lagere dichtheid. Hier moet de motor dan wel op getest worden (incl. bij voorkeur ook als extra brandstof bij de typekeuring).

Eventueel kan het FAME bijmengpercentage nog verhoogd worden naar bijvoorbeeld 10% of 15%.

Dit zou een voordeel kunnen zijn, als FAME (in deze hoeveelheden) goedkoper gemaakt kunnen worden dan de zeer compatibele bio-paraffine. Voor personenauto's heeft dat mogelijk wat consequenties voor de motortechnologie, voor vrachtauto's waarschijnlijk niet. De meeste autofabrikanten zijn geen voorstander van het verhogen van het FAME bijmengpercentage. Dit komt vanwege de niet heel constante kwaliteit van FAME.

#### Benzinemotoren

Bio-ethanol is doorgaans het meest economisch te produceren en heeft ook goede eigenschappen waardoor het motorrendement op termijn verhoogd kan worden. Het ethanol bijmengpercentage in benzine wordt bij voorkeur geleidelijk in stappen verhoogd afhankelijk van de beschikbaarheid.

Er moet wel goed nagedacht worden over de precieze stappen in bijmeng percentages en de bijbehorende brandstofsificatie. De huidige EN228 benzine specificaties omvatten een E5 en een E10 (respectievelijk max 5% en 5-10% ethanol). Een volgende stap zou een E20 of eventueel een E30 kunnen zijn. Het octaangetal kan omhoog bij hogere bijmengpercentages waardoor het rendement van de motoren verhoogd kan worden. Het in stappen verhogen van het bijmengpercentage in de totale benzineplas heeft de voorkeur boven het geleidelijk meer beschikbaar maken van bijvoorbeeld E85, vanwege het beter kunnen benutten van de eigenschappen van ethanol en ook vanwege de distributie-infrastructuur. Zie ook (Kampman 2013). Dit kan vrijwel alleen op Europese schaal uitgevoerd worden. Voor het bestaande of oudere voertuigpark zal gedurende enkele tientallen jaren een benzine beschikbaar moeten blijven met een lager ethanolpercentage.

### Gasmotoren

Bio-methaan kan over het algemeen zonder aanpassingen in aardgasmotoren gebruikt worden, mits de kwaliteit minimaal op hetzelfde niveau ligt. Voor CNG voertuigen is de distributie van bio-methaan over het algemeen via het aardgasnetwerk en is er geen verschil. De kwaliteit van LBG (Liquid Bio Gas of bio-LNG) is op dit moment zelfs beter dan van het fossiele LNG. Het methaangehalte van LBG is hoog in vergelijking met sommige badges van LNG, waardoor de klopvastheid hoger is en minder snel 'weathering' in de brandstoftank optreedt (ophoping van hogere koolwaterstoffen).

#### 4.2.3 Ontwikkeling (wettelijke) bijmengpercentages

De Europese doelstellingen voor bijmenging of gebruik van duurzame brandstoffen voor het wegverkeer, loopt tot aan 2020. Dit is vastgelegd in twee directieven:

- De Renewable Energy Directive (RED): target 10% duurzame brandstof aandeel in 2020 (op energiebasis)
- De Fuel Quality Directive (FQD): target 6% CO<sub>2</sub> reductie in 2020 (t.o.v 2010).

Het 10% aandeel duurzame brandstof hoeft niet geheel gehaald te worden, omdat er een dubbeltelling toegepast mag worden voor brandstof uit reststoffen. Het aandeel elektrische duurzame energie mag zelfs met 2,5 vermenigvuldigd worden. Nederland past deze dubbeltelling toe voor een flink deel van de duurzame brandstof waardoor het biobrandstofaandeel voor 2020 ergens tussen de 5% en 10% uit zal komen.

Voor 2030 is er alleen nog een algemene doelstelling voor duurzame brandstof van 27%. Naar verwachting komt er geen aparte doelstelling voor het wegverkeer. Mogelijk komt er een maximum van 10% (het 2020 RED target) op eerste generatie biobrandstoffen waarbij voedselgewassen als grondstof gebruikt worden. Mogelijk komt er voor na 2020 een eis van 5% eis voor twee generatie duurzame brandstoffen.

Het voorlopig uitstellen van een duidelijk doelstelling voor duurzame brandstof voor het wegverkeer voor na 2020 zal om verschillende redenen een remmende werking hebben op de groei van duurzame brandstof. Ontwikkelingen en investeringen rondom productie van tweede generatie biobrandstoffen kun je eigenlijk alleen op Europese schaal nemen. Afwijkende brandstofs specificaties moeten minimaal op Europese schaal worden vastgelegd en verankerd worden in typekeuring en dergelijke. Geoptimaliseerde motoren voor nieuwe brandstoffen kunnen alleen op Europese schaal ontwikkeld worden (zoals voor hoger ethanol bijmengpercentages).

#### 4.2.4 Beschikbaarheid (compatibele) biobrandstoffen

De onderbouwing voor de beschikbaarheid van duurzame brandstoffen wordt apart behandeld bij kennisvraag 7.6. Deze wordt pas later opgeleverd.

Onderstaand is wel een overzicht gegeven van de aannamen in duurzame energie-aandelen in 2050 voor de 4 scenario's van de scenariostudie (2014). Voor 2030 wordt globaal op 30-40% van deze aandelen gerekend. Gezien het ontbreken van een duidelijk Europees beleid en de uitdagingen in het algemeen, zullen de aandelen voor 2030 in veel gevallen niet haalbaar zijn (verder te onderbouwen).

**Tabel 2. Globale energie-aandelen voor transport voor 2050, volgens de scenario-studie (2014).**

|   | Senario                    | Globale energie-aandelen voor transport in 2050 in % |                                                                                                                                                              |
|---|----------------------------|------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 | Biofuels and efficiency    | 5% - 12%<br>0% - 6%<br>83%-95%                       | bio-methaan afhankelijk van het segment<br>elektrisch afhankelijk segment<br>benzine en diesel, met daarin een 55% aandeel biobrandstof                      |
| 2 | New and all renewable      | 30% - 40%<br>30% - 50%<br>10% - 30%                  | waterstof afhankelijk segment<br>elektrisch afhankelijk segment<br>benzine en diesel, met daarin een 8,5% aandeel biobrandstof                               |
| 3 | Efficient fossil energy    | 0%<br>0% - 10%<br>25% - 50%<br>40%-70%               | waterstof<br>elektrisch afhankelijk van het segment<br>bio-methaan afhankelijk van het segment<br>benzine en diesel, met daarin een 15% aandeel biobrandstof |
| 4 | Fossil electric / hydrogen | 15% - 23%<br>40% - 55%<br>10% - 30%                  | waterstof afhankelijk van het segment<br>elektrisch afhankelijk van het segment<br>benzine en diesel, met daarin een 8,5% aandeel biobrandstof               |

### 4.3 Te verwachten efficiencyverbetering (kennisvraag 1.4)

|                  |                                                                                                                                                                              |
|------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Vraagnummer:     | 1.4                                                                                                                                                                          |
| Gestelde vraag:  | Welke (autonome) efficiency verbetering is te verwachten? Vereisen nieuwe motorconcepten richting zeer hoge rendementen een nieuwe brandstof? En levert dit koppelkansen op? |
| Type antwoord:   | Beknopte memo                                                                                                                                                                |
| Uitgevoerd door: | Richard Smokers & Ruud Verbeek (TNO)<br>Huib van Essen & Maarten 't Hoen (CE Delft)                                                                                          |

#### 4.3.1 Inleiding

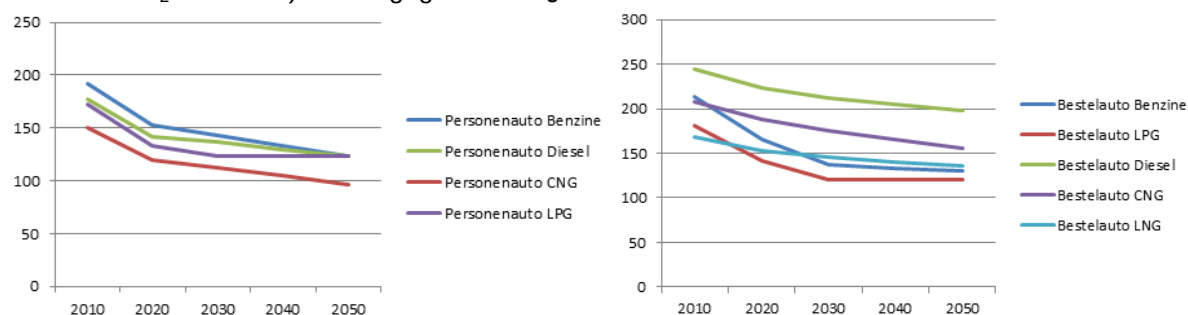
Dit memo geeft een overzicht van potentiële en kosten voor reductie van CO<sub>2</sub>-emissies van conventionele wegvoertuigen (ICEVs<sup>30</sup>) door technische maatregelen aan het voertuig. Voor de periode tot 2025 zijn gegevens beschikbaar uit gedetailleerde studies voor de Europese Commissie. Voor 2025 en verder wordt een *expert judgement* gegeven van de additionele ruimte voor vergroting van het reductiepotentieel en verlaging van kosten.

Dit memo bevat de volgende onderdelen:

- Autonome ontwikkeling t/m 2050 volgens referentiescenario
- Potentieel voor efficiencyverbetering van ICEVs in wegtransport
  - Personenauto's
  - Bestelauto's
  - Vrachtwagens
  - Bussen
- Effecten op vlootniveau
  - Personen- en bestelauto's
  - Vrachtwagens en bussen
- Relatie tussen efficiencyverbetering en brandstoffen
- Literatuur

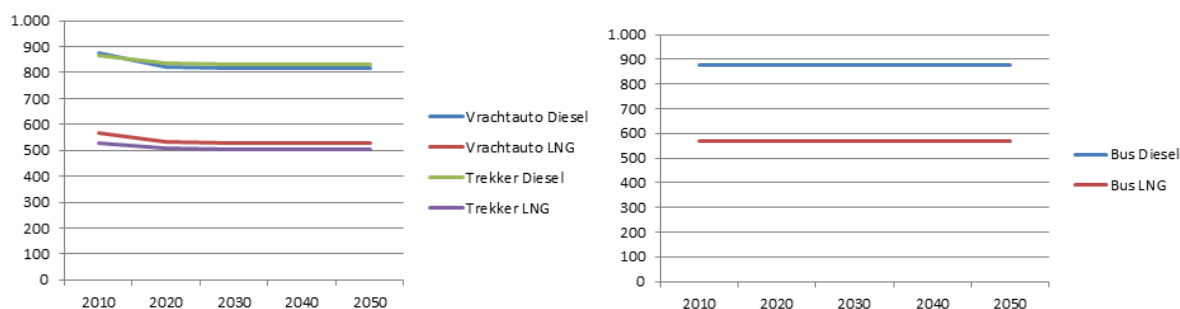
#### 4.3.2 Autonome ontwikkeling t/m 2050 volgens referentiescenario

Voor de scenariostudie [ECN/CE/TNO 2014] is een referentiescenario ontwikkeld dat tot 2030 is gebaseerd op de Referentieraming 2012 van ECN/PBL en voor de periode daarna op extrapolatie. De daarin veronderstelde autonome ontwikkeling van het gemiddelde brandstofverbruik op vlootniveau voor verschillende categorieën van wegvoertuigen in dit referentiescenario (weergegeven als de tank-to-wheel CO<sub>2</sub>-emissie<sup>31</sup>) is weergegeven in **Figuur 35**.



<sup>30</sup> ICEVs = Internal Combustion Engine Vehicles

<sup>31</sup> Zonder effecten van de bijmenging van biobrandstoffen



**Figuur 35** Autonome ontwikkeling van de gemiddelde tank-to-wheel CO<sub>2</sub>-emissies (in g/km exclusief effecten van bijmenging van biobrandstoffen) van verschillende categorieën wegvoertuigen volgens het referentiescenario dat is gebruikt in [ECN/CE/TNO 2014]

#### 4.3.3 Potentieel voor efficiencyverbetering van ICEVs in wegtransport

##### 4.3.3.1 Personenauto's

#### Reductiepotentieel op de NEDC

In [TNO 2011] is een inventarisatie gemaakt van technologieën die in 2020 beschikbaar zijn om CO<sub>2</sub>-emissies van personenauto's te reduceren. Tabel 20 geeft een overzicht van de belangrijkste technische maatregelen. De opties genoemd onder "overige maatregelen" hebben nauwelijks of geen effect op de CO<sub>2</sub>-emissies zoals gemeten op de typekeuringstest (NEDC) maar kunnen wel bijdragen om praktijkemissies van voertuigen te verlagen. Onder de Europese CO<sub>2</sub>-wetgeving voor personenauto's kunnen fabrikanten *credits* verkrijgen voor toepassing van zulke als "eco-innovations" gekwalificeerde technieken.

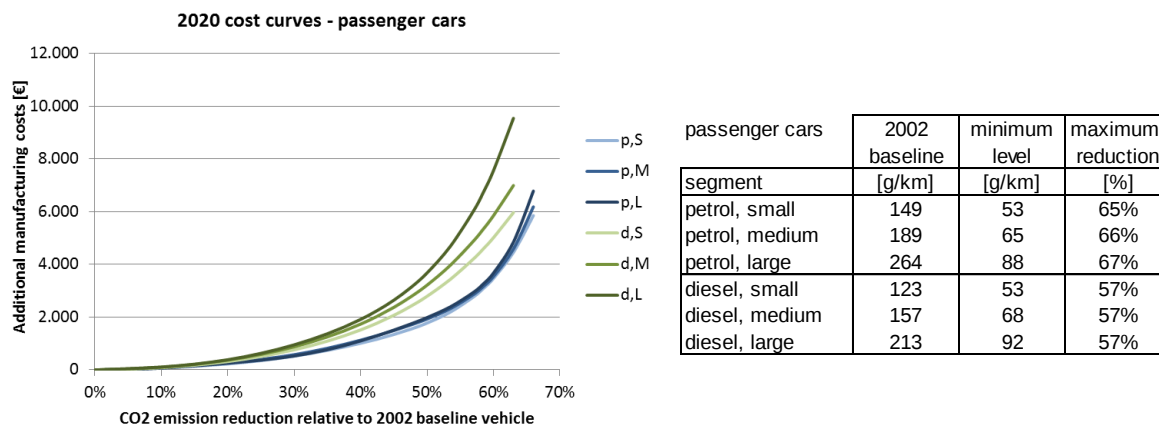
**Tabel 20** Technische maatregelen om CO<sub>2</sub>-emissies van personenauto's met een verbrandingsmotor te reduceren

| motor                                 | aandrijflijn                          |
|---------------------------------------|---------------------------------------|
| verminderen interne wrijving          | meer / geoptimaliseerde versnellingen |
| directe insputing (benzine)           | geautomatiseerde versnellingsbak      |
| mild/medium/strong downsizing + turbo | dual clutch versnellingsbak           |
| reductie aantal cilinders             | start-stop systeem                    |
| variabele kleppentiming & lift        | micro/mild/full hybride               |
| exhaust heat recovery                 |                                       |
| voertuig                              | overige maatregelen                   |
| gewichtsreductie body-in-white        | efficiënte verlichting                |
| gewichtsreductie overige onderdelen   | zonnepanelen                          |
| verbeterde stroomlijn                 | efficiënte dynamo                     |
| lage rolweerstandsbanden              | ...                                   |
| thermisch management                  |                                       |
| efficiencyverbetering in hulpsystemen |                                       |

Door combinatie van reductiepotentiëlen en kosten van individuele technieken zijn in [TNO 2011] voor verschillende segmenten kostencurves opgesteld die aangeven hoe de productiekosten van voertuigen toenemen met afnemende CO<sub>2</sub>-emissies (t.o.v. referentievoertuigen uit 2002). Deze kostencurves zijn weergegeven in **Figuur 36**. De kosten zijn ingeschat voor grootschalige toepassing in 2020. In de figuur is ook weergegeven wat de maximale reducties zijn die op basis van deze kostencurves kunnen worden gehaald. Hieruit is duidelijk dat met de nu bekende technieken de gemiddelde CO<sub>2</sub>-emissie van personenauto's op de NEDC kan worden gereduceerd tot ongeveer 65 g/km.

Voor de periode na 2020 mag worden verwacht dat het potentieel van bekende maatregelen nog wat kan worden vergroot en dat de kosten kunnen worden gereduceerd door leereffecten. Ook is het waarschijnlijk dat er nog nieuwe technieken beschikbaar komen. Hoe dat uitpakt voor kostencurves

voor 2025 en verder is nog niet bekend<sup>32</sup>. Het lijkt echter waarschijnlijk dat het op langere termijn mogelijk is om door toepassing van technische reductiemaatregelen de gemiddelde CO<sub>2</sub>-emissies van nieuwe personenauto's onder de 60 g/km te krijgen (typekeuringswaarde op de NEDC).



**Figuur 36** Kostencurves voor CO<sub>2</sub>-reductie in personenauto's (scenario b uit [TNO 2011]) en inschatting van de maximale reductie op de NEDC op basis van kostencurves voor 2020

### Relatie met praktijkemissies

In de in **Figuur 36** weergegeven kostencurves en in de hierboven genoemde schattingen voor de laagste mogelijke typekeuringswaarden is bewust geen rekening gehouden met het effect van de toegenomen uitnutting van testflexibiliteiten [TNO 2012a] in de periode tussen 2002 en nu. Op deze manier is het eenvoudiger om de ingeschatte effecten op CO<sub>2</sub>-emissies zoals gemeten op de typekeuringstest te vertalen naar effecten op de praktijkemissies<sup>33</sup>. Deze praktijkemissies zijn, afgezien van recente effecten van de toegenomen uitnutting van testflexibiliteiten, gemiddeld zo'n 20% hoger dan de NEDC-waarde<sup>34</sup>. Voor schattingen van toekomstige praktijkemissies moet rekening gehouden worden met het feit dat sommige reductietechnieken op de NEDC meer opleveren in de praktijk. Daarom is het verstandig om voor 2020 en verder een ophoging met 25% aan te houden.

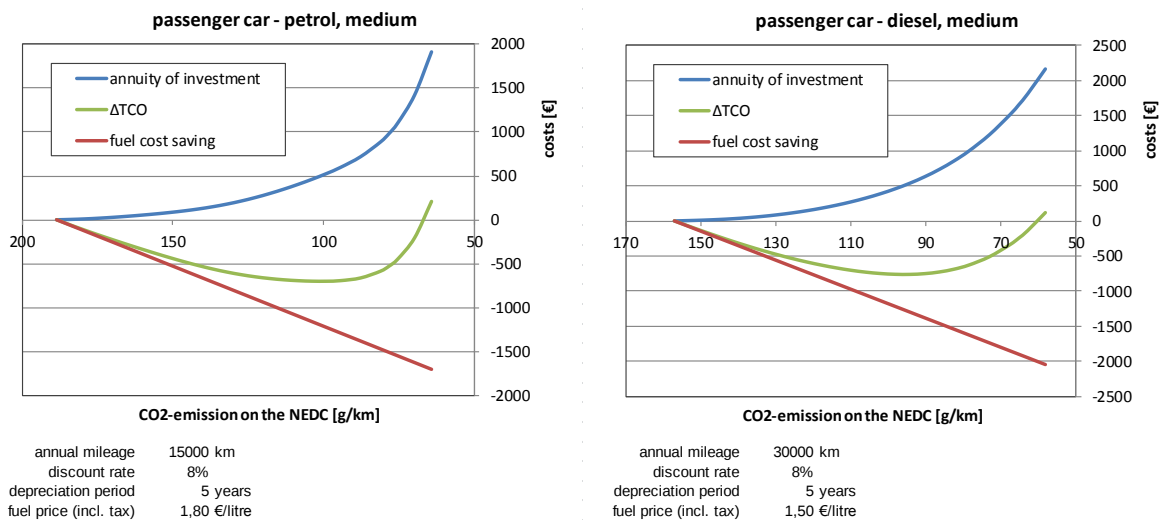
### Kosteneffectiviteit

In **Figuur 37** is te zien hoe de kosten voor CO<sub>2</sub>-reducerende technieken uitwerken op brandstofkosten en total cost of ownership, op basis van een afschrijvingsperiode van 5 jaar (eerste eigenaar). De grafieken laten zien dat bijna het volledige potentieel voor efficiencyverbetering bij personenauto's, dat tot 2020 beschikbaar is, zich binnen 5 jaar terugverdient.

<sup>32</sup> Binnenkort start er een nieuw project voor de Europese Commissie waarin dit wordt geïnventariseerd.

<sup>33</sup> Om deze potentiële te oogsten door middel van CO<sub>2</sub>-wetgeving is het wel van belang dat in het zetten van targets voor na 2020 rekening wel wordt gehouden met het potentieel voor uitnutten van testflexibiliteiten.

<sup>34</sup> [TNO 2013] laat voor een grote groep lease-auto's zien dat CO<sub>2</sub>-emissies in de praktijk gemiddeld 55 g/km hoger zijn dan op de typekeuringstest. Het effect van uitnutting van testflexibiliteiten is van ordegrootte 20-25 g/km. De resterende meeremissies van 30 g/km komen redelijk overeen met meerverbruik van 20% - 25% op een normverbruik van gemiddeld zo'n 130 g/km.



**Figuur 37** Impact van CO<sub>2</sub>-reductie in middelgrote personenauto's op brandstofkosten en total cost of ownership vergeleken met 2002 referentievoertuigen, op basis van de cost curves uit Figuur 36 (scenario b uit [TNO 2011]) en typische aannames voor toepassingen in Nederland.

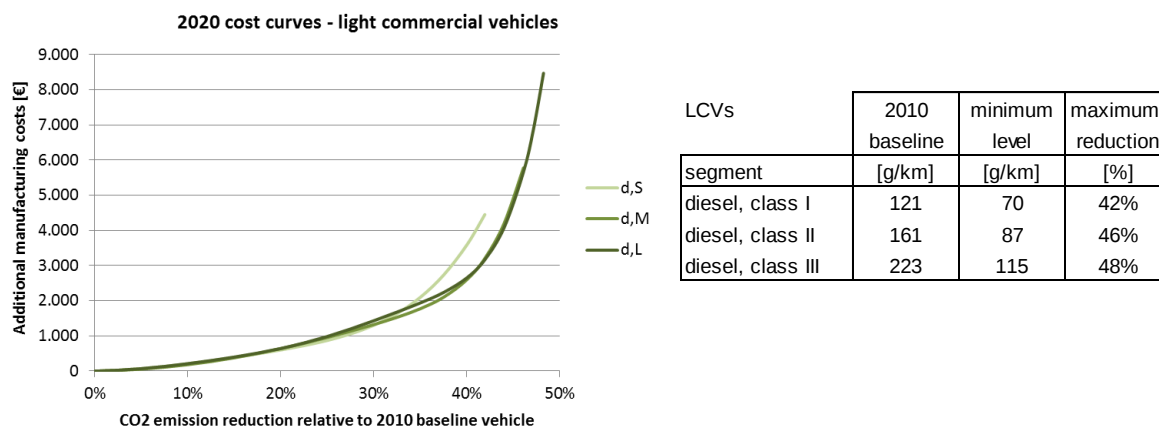
### De WLTP

De Europese Commissie heeft de intentie om vanaf 2017 een nieuwe testprocedure in te voeren voor bepaling van brandstofverbruik en emissies van lichte voertuigen (personenauto's en bestelwagens), de Worldwide harmonized Light vehicles Test Procedures (WLTP). Hoe testresultaten op de NEDC en de WLTP zich tot elkaar verhouden wordt momenteel in opdracht van de Europese Commissie onderzocht. Deze informatie zal ook worden gebruikt om de Europese CO<sub>2</sub>-normen vanaf 2020 op de WLTP te baseren. Invoering van de WLTP zal naar verwachting de volgende effecten hebben:

- Het verschil tussen praktijk en typekeuring zal ongeveer een kwart kleiner worden. De nieuwe testcyclus en andere testomstandigheden zijn weliswaar realistischer maar nog steeds onvoldoende representatief voor de Europese praktijk. Testmarges worden wel verkleind maar niet geëlimineerd.
- Door toepassing van de nieuwe testcyclus zullen fabrikanten technieken inzetten die meer dan bij de oude cyclus ook in de praktijk voordeel opleveren. Relatieve reducties op de test zullen zich daardoor beter vertalen in vergelijkbare reducties in de praktijk.

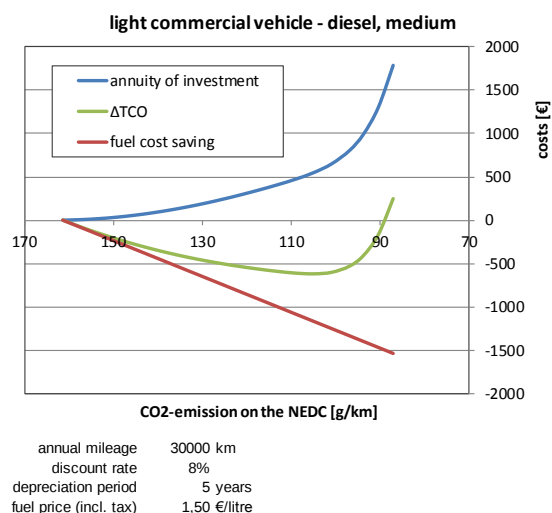
#### 4.3.3.2 Bestelauto's

Een inventarisatie van technologieën die in 2020 beschikbaar zijn om CO<sub>2</sub>-emissies van bestelauto's te reduceren is uitgevoerd in [TNO 2012b]. De beschikbare technieken zijn grotendeels dezelfde als die voor personenauto's (zie Tabel 20), maar reductiepotentiëlen en kosten zijn voor bestelauto's verschillend. Resulterende kostencurves en maximale reductiepotentiëlen zijn weergegeven in Figuur 38.



**Figuur 38** Kostencurves voor CO<sub>2</sub>-reductie in bestelauto's (uit [TNO 2012]) en inschatting van de maximale reductie op de NEDC op basis van kostencurves voor 2020

**Figuur 39** geeft voor middelgrote bestelauto's (Class II) de effecten weer van brandstofbesparende technieken op de brandstofkosten en total cost of ownership. Ook voor bestelauto's geldt dat nagenoeg het gehele reductiepotentieel zich binnen 5 jaar terugverdient.



**Figuur 39** Impact van CO<sub>2</sub>-reductie in middelgrote bestelauto's (Class II) op brandstofkosten en total cost of ownership vergeleken met 2010 referentievoertuigen, op basis van de cost curves uit Figuur 38 en typische aannames voor toepassingen in Nederland.<sup>35</sup>

#### 4.3.3.3 Vrachtauto's

##### Reductiepotentieel

Er is een groot aantal maatregelen bekend waarmee de komende decennia het brandstofverbruik van vrachtauto's kan worden verlaagd. De referentieraming van het PBL gaat uit van een beperkte autonome efficiëntieverbetering voor vrachtauto's en trekkers van ca. 5% tussen 2010 en 2020. Dit is hoofdzakelijk het gevolg van de introductie van de Euro-V emissienorm die de toepassing van nabehandelingstechnologie noodzakelijk maakt om de NO<sub>x</sub>-limiet te halen. Hierdoor kan de motor beter worden geoptimaliseerd voor brandstofverbruik. De extra technologie die nodig is om de Euro VI norm te halen gaat weer ten koste van het verbruik. Desalniettemin blijken Euro VI trucks vaak zuiniger dan Euro V voertuigen, als gevolg van de toepassing van extra brandstofbesparende maatregelen.

<sup>35</sup> Kosten zijn inclusief BTW op de meerkosten van het voertuig en op de brandstof. De terugverdientijd is gelijk wanneer op beide posten zonder BTW wordt gerekend.

Er zijn op dit moment geen CO<sub>2</sub>-normen voor zware voertuigen die een verdere verbetering zullen afdwingen. Wel is er in het goederenvervoer veel aandacht voor brandstofkosten en een sterke motivatie om die te reduceren. Desalniettemin is de verwachting dat de autonome verbetering na 2020 beperkt zal zijn en dat het volledige potentieel op basis van bekende reductie-opties niet vanzelf op korte termijn zal worden gereduceerd.

Op dit moment bereidt de Europese Commissie een strategie voor om de CO<sub>2</sub>-uitstoot van zware voertuigen verder te reduceren. CO<sub>2</sub>-normen voor zware voertuigen zijn hierin één van de opties die worden overwogen. Het ontwerpen van dergelijke normen is zeer complex vanwege de grote variatie aan voertuigen (massa, inzetprofiel, e.d.). Het is daarom niet te verwachten dat er voor 2020 al normen van kracht zullen zijn.

De nu bekende en de komende tien tot vijftien jaar toepasbare opties voor CO<sub>2</sub>-reductie in vrachtwagens zijn in verschillende studies in kaart gebracht. Een overzicht van de opties is weergegeven in **Tabel 21**.

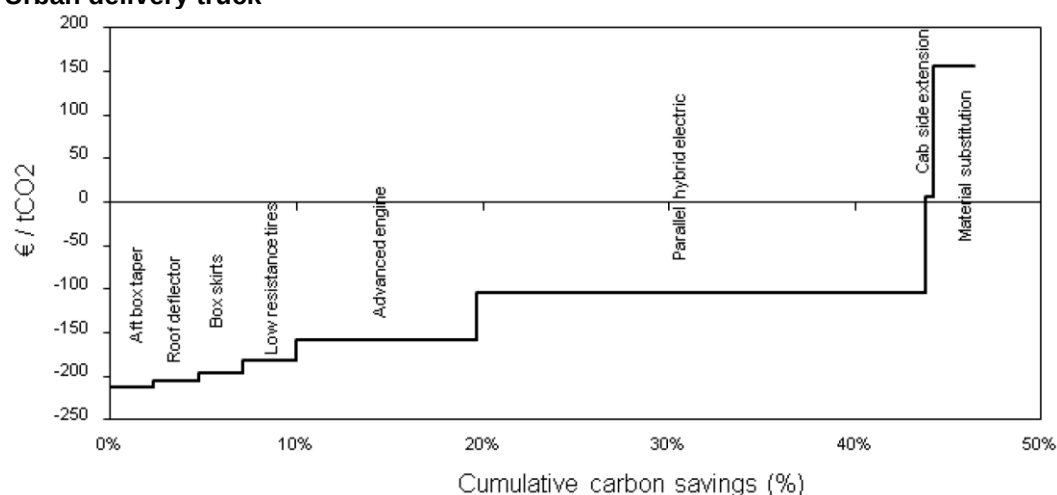
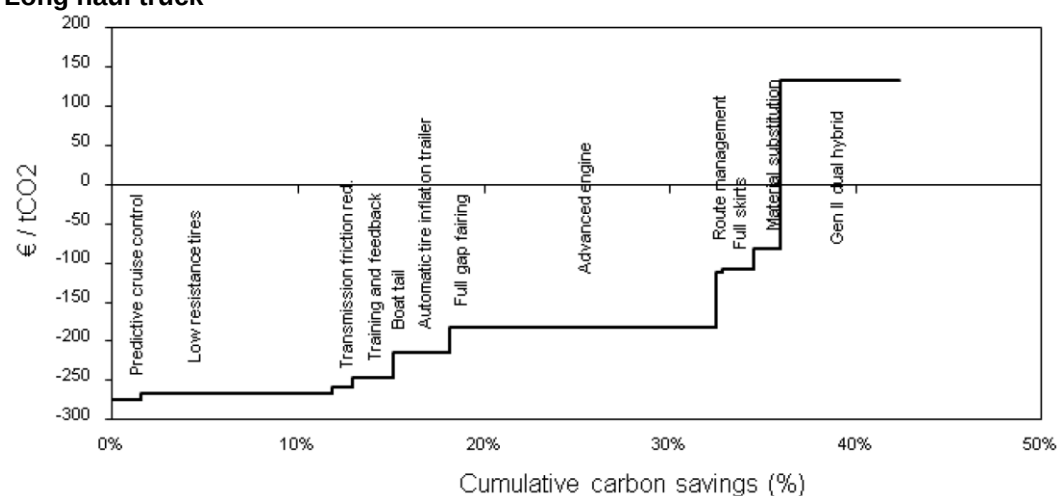
**Tabel 21 Technische maatregelen om CO<sub>2</sub>-emissies van vrachtwagens te reduceren**

| motor                                                                                                                                                                                                                                                                                  | aandrijflijn                                                                                              |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| verminderen interne wrijving<br>variabele kleppentiming & lift<br>geavanceerde motorconcepten<br>exhaust heat recovery                                                                                                                                                                 | geautomatiseerde versnellingsbak<br>dual mode / parallel / serie hybride<br>integrated powertrain control |
| voertuig                                                                                                                                                                                                                                                                               | overige maatregelen                                                                                       |
| gewichtsreductie opbouw / trailer<br>verbeterde stroomlijn<br>- dakspoiler, skirts op truck/trekker en trailer<br>- turning vanes<br>- aerodynamische neus<br>- druppelvormige trailer<br>lage rolweerstandsbanden<br>bandenspanningsautomaat<br>efficiencyverbetering in hulpsystemen | predictive cruise control<br>route management<br>driver training & feedback                               |

CE Delft heeft op basis van beschikbare studies het MACH model ontwikkeld waarmee kostencurves voor CO<sub>2</sub>-reducties van zware voertuigen kunnen worden gemaakt, met verschillende aannames voor bijv. olieprijs, discontovoet en maatschappelijk of eindgebruikersperspectief [CE Delft 2012].

Resultaten daarvan zijn voor twee voertuigcategorieën weergegeven in **Figuur 40**, in de vorm van marginal abatement cost curves. Deze geven de reductiepotentiëlen van verschillende maatregelen weer alsmede hun CO<sub>2</sub>-vermijdingskosten t.o.v. 2010 referentievoertuigen, berekend vanuit een maatschappelijk perspectief op basis van prijzen exclusief belastingen en afschrijving over de levensduur van het voertuig.

**Figuur 40** laat zien dat het maximale reductiepotentieel met de nu bekende maatregelen rond de 40% ligt. Voor veel van deze maatregelen zijn de besparingen op brandstofkosten hoger dan de kosten van de investering. **Tabel 22** geeft voor de voorbeelden uit **Figuur 40** een overzicht van kosteneffectieve reducties, d.w.z. reductiepercentages die tegen netto negatieve kosten bereikt kunnen worden. Vanuit gebruikersperspectief is het kosteneffectieve potentieel kleiner dan vanuit maatschappelijk perspectief vanwege de kortere gehanteerde afschrijvingsperiode voor de eerste gebruiker. Voor stedelijke toepassing is het verschil het grootst omdat die voertuigen binnen de afschrijvingsperiode voor de eerste gebruiker veel minder kilometers maken dan voertuigen voor de lange afstand.

**Urban delivery truck****Long haul truck**

**Figuur 40** Marginal abatement cost curves voor CO<sub>2</sub>-reductie in vrachtauto's (voorbeelden: urban delivery en long haul) relatief ten opzichte van 2010 referentievoertuigen [CE Delft 2012]

Er zijn verschillende redenen waarom de beschikbare kosteneffectieve maatregelen nog niet op grote schaal worden genomen. Sommige maatregelen zijn nog niet op voldoende grote schaal verkrijgbaar, kampen met kinderziekten of zijn nog niet voldoende bij gebruikers bekend.

**Tabel 22** Reductiepotentieel beschikbaar tegen netto negatieve reductiekosten [CE Delft 2012]

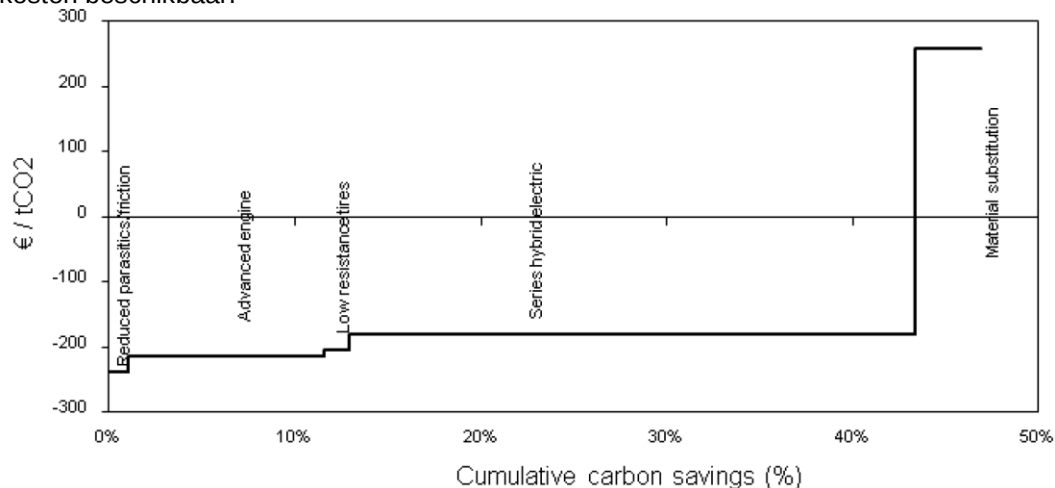
|                      | Eindgebruikerskosten<br>(afschrijftermijn 3 jaar) | Maatschappelijke<br>kosten (afschrijftermijn<br>levensduur maatregel) |
|----------------------|---------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|
| Urban delivery truck | 10 – 20%                                          | 44%                                                                   |
| Long haul truck      | 33%                                               | 36%                                                                   |

[CE Delft 2012] baseert zich voor de inschatting van kosten en potentiële van maatregelen op beschikbare studies die grotendeels voor de Europese Commissie zijn uitgevoerd. Een interne, niet gepubliceerde studie van TNO, waarin per techniek deze inschattingen kritisch gereviewed zijn, onderschrijft dat totale reductiepotentiële van 40% of meer haalbaar zijn maar. Aangepaste kostenschattingen leiden er echter toe dat TNO verwacht dat vanuit gebruikersperspectief zowel in stedelijke als in long haul toepassingen een reductiepotentieel van zo'n 40% tegen netto negatieve of nul kosten haalbaar is, uitgaande van een afschrijvingstermijn van 5 jaar. De maximale kostenbesparingen per jaar zijn in long haul toepassingen door het hogere jaarkilometrage wel significant hoger (€ 10.000 – 20.000 voor long haul versus € 2.000 – 4.000 voor stedelijke distributie).

Voor de langere termijn, voorbij 2030, lijken reducties tot zo'n 45% haalbaar in verschillende toepassingen.

#### 4.3.3.4 Bussen

Volgens [CE Delft 2012] is ook voor stads- en streekbussen een reductiepotentieel van zo'n 40% beschikbaar tegen vanuit maatschappelijk perspectief gezien negatieve kosten. Dit potentieel is ook vanuit gebruikersperspectief tegen negatieve kosten beschikbaar tenzij brandstofprijzen in de toekomst veel lager zijn dan in het referentiescenario dat in [CE Delft 2012] daarvoor is aangenomen. Voor touringcars is het potentieel kleiner: Maximaal is zo'n 35% reductie mogelijk maar vanuit gebruikers- resp. maatschappelijk perspectief is hiervan slechts 10% resp. 25% tegen netto negatieve kosten beschikbaar.



**Figuur 41** Marginal abatement cost curves voor CO<sub>2</sub>-reductie in stads en streekbussen ten opzichte van 2010 referentievoertuigen [CE 2012]

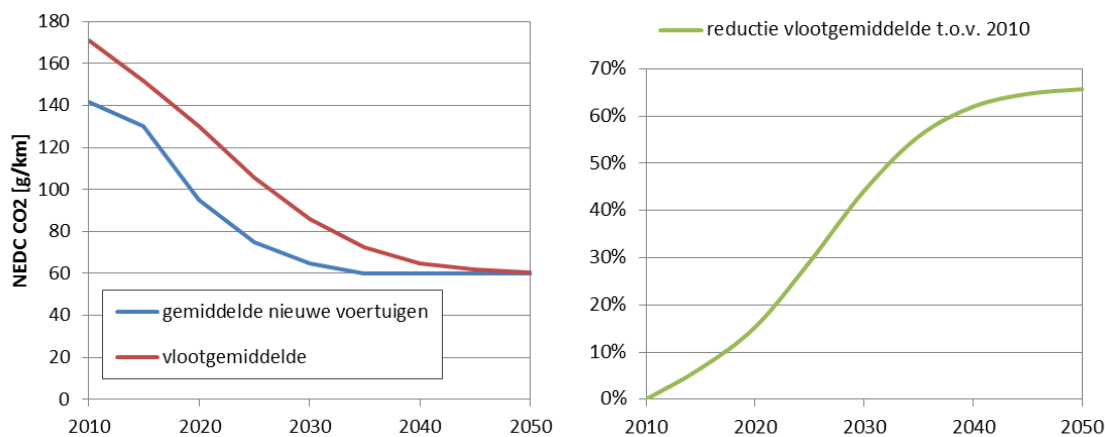
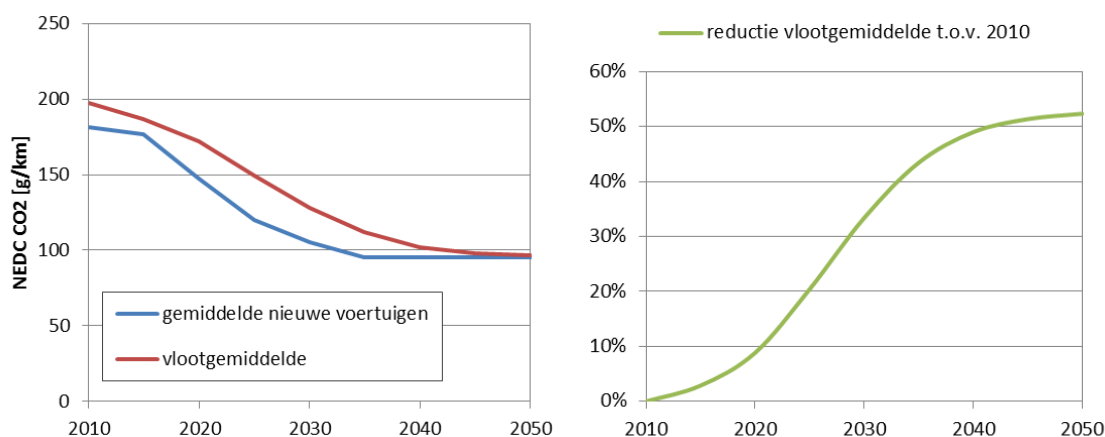
#### 4.3.4 Effecten op vlootniveau

Op basis van de hierboven gepresenteerde data is een inschatting te maken van de mogelijke CO<sub>2</sub>-reductie van vrachtauto's en bussen op de langere termijn, bijv. onder druk van CO<sub>2</sub>-normen. Een belangrijke factor hierbij is de snelheid waarmee de vloot wordt vernieuwd.

##### 4.3.4.1 Personenauto's en bestelauto's

De grafieken in het linker deel van **Figuur 42** geven aan hoe de vlootgemiddelde CO<sub>2</sub>-emissie (typekeuringswaarde op basis van NEDC zonder gebruikmaking van testflexibiliteiten)<sup>36</sup> zich tot 2050 zou kunnen ontwikkelen als reducties alleen zouden kunnen worden gerealiseerd door efficiencyverbetering in ICEVs en er geen elektrische of andere alternatief aangedreven voertuigen zouden worden toegepast. Daarbij is rekening gehouden met de bestaande normen voor 2015/17 en 2020.

<sup>36</sup> Gemiddelde gewogen over de aandelen van auto's van verschillende bouwjaren in het totale kilometrage van personenautovloot, uitgaande van data voor de Europese vloot uit TREMOVE voor 2020 die vervolgens ook voor de andere zichtjaren zijn aangenomen.

**personenauto's****bestelauto's**

**Figuur 42** Inschatting van de mogelijke ontwikkeling van de vlootgemiddelde typekeuringsemissies (links) en praktijkemissies (rechts) voor personenauto's (boven) en bestelauto's (onder) tot 2050 indien door middel van aanscherping van de CO<sub>2</sub>-normen het volledige potentieel voor CO<sub>2</sub>-reductie bij ICEVs benut wordt en er geen alternatieven worden ingezet (zoals elektrische voertuigen).

Voor personenauto's is aangenomen dat voor 2025 en 2030 normen van 75 resp. 65 g/km worden ingesteld en dat voor 2035 het maximale potentieel wordt toegepast, resulterend in typekeuringswaarden van zo'n 60 g/km. Voor bestelauto's is uitgegaan van de normen van 175 en 147 g/km voor 2017 resp. 2020, en is aangenomen dat deze worden bijgesteld naar van 120 en 105 g/km in 2025 resp. 2030 en dat voor 2035 het maximale potentieel wordt toegepast, resulterend in zo'n 95 g/km.

De grafieken in het rechter deel van **Figuur 42** geven aan hoe de reducties van vlootgemiddelde typekeuringsemissies uitwerken op de vlootgemiddelde praktijkemissies, uitgedrukt als reductiepercentage ten opzichte van de vlootgemiddelde emissies voor 2010 uit het referentiescenario. Hierbij is rekening gehouden met het effect van de toegenomen uitnutting van testflexibiliteit tussen ongeveer 2002 en 2015. Dit is gebeurd door de gemiddelde typekeuringswaarden hiervoor te corrigeren. Hiervoor nemen we aan dat het effect lineair is gestegen van 0 g/km in 2002 naar 25 g/km in 2015 voor personenauto's en 15 g/km voor bestelauto's<sup>37</sup>. Vervolgens is aangenomen dat dit effect gehandhaafd blijft tot na 2020, omdat in de normen voor 2020 is geen rekening gehouden met deze uitnutting. Wanneer er bij het zetten van targets voor 2025 en verder voor wordt gezorgd dat of uitnutting van flexibiliteiten niet meer mogelijk is of het target

<sup>37</sup> Bij bestelauto's zijn de normen voor 2017 en 2020 minder ambitieus dan voor personenauto's. Daarnaast zijn er minder fiscale prikkels die aanschaf van zuinige bestelauto's stimuleren. Deze twee gegevens maken dat fabrikanten voor bestelauto's minder geneigd zullen zijn om testflexibiliteiten maximaal uit te nutten.

aangepast is aan het effect van de uitnutting van testflexibiliteiten, dan zijn de netto reducties die leiden tot de in **Figuur 36** aangegeven minimale typekeuringswaarden in de periode na 2030 alsnog haalbaar.

#### 4.3.4.2 *Vrachtwagens en bussen*

Vergelijking van de aantallen verkochte voertuigen over de afgelopen jaren (zowel voor als na de crisis, om voor de effecten daarvan te corrigeren) en de omvang van de vloot laat zien dat van de vrachtautovloot gemiddeld 11% per jaar wordt vernieuwd, van de bussenvloot 9%.

Als we veronderstellen dat onder druk van Europese CO<sub>2</sub>-normen en ander beleid nieuw-verkochte vrachtauto's vanaf 2025 23% zuiniger zijn dan in 2010 en vanaf 2030 30% zuiniger en voor bussen resp. 30% en 36% zuiniger en dat in beide periodes van 5 jaar zo'n 40% van de bussenvloot en zo'n 45% van de vrachtautovloot wordt vernieuwd dan schatten we het CO<sub>2</sub>-reductiepotentieel voor 2030 t.o.v. 2010 in zoals weergegeven in onderstaande **Tabel 23**. Voor 2050 gaan we er vanuit dat het volledige potentieel benut kan worden. Voor 2020 houden we hier de referentieraming aan.

**Tabel 23** Verwachte ontwikkeling van de gemiddelde CO<sub>2</sub>-emissies van de vloot van vrachtwagens en bussen tussen 2010 en 2050

| Efficiëntieverbetering van 2010 tot: | 2020 | 2030 | 2050 |
|--------------------------------------|------|------|------|
| Vrachtauto                           | 5%   | 10%  | 40%  |
| Bus                                  | 0%   | 12%  | 40%  |

#### 4.3.5 *Relatie tussen efficiencyverbetering en brandstoffen*

Bij de inschatting van reductiepotentiëlen zoals hierboven besproken is er in de verschillende onderliggende studies van uit gegaan dat voertuigen blijven rijden op conventionele benzine en diesel. De voor de verschillende voertuigcategorieën geïdentificeerde technologische reductie-opties vereisen derhalve geen andere brandstofs specificaties dan de huidige geldende normen.

Voor de langere termijn valt niet uit te sluiten dat er additioneel reductiepotentieel haalbaar is bij toepassing van brandstoffen met andere specificaties of andere brandstoffen. De belangrijkste mechanismen waarlangs brandstoffen het motorrendement beïnvloeden zijn via verhoging van de compressieverhouding of door het mogelijk maken van nieuwe verbrandingsconcepten.

In [CE/TNO 2013] is literatuuronderzoek gedaan naar potentiële rendementsvoordelen als gevolg van de toepassing van biobrandstoffen. Hierbij werd onderscheid gemaakt naar de volgende opties:

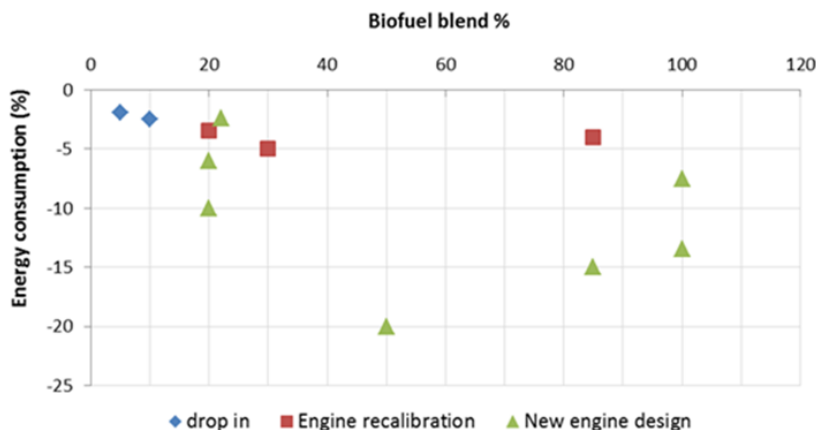
- gebruik biobrandstof als drop-in brandstof in bestaande motoren
- speciale kalibratie van de motor op de biobrandstof(blend)
- een geoptimaliseerd ontwerp van de motor (inclusief kalibratie)

Hierbij werd vastgesteld dat een positief effect op motorrendement vaak pas optreedt als de motor speciaal gekalibreerd of verdergaand geoptimaliseerd wordt voor de nieuwe brandstof (zie **Figuur 43** en **Figuur 44**).

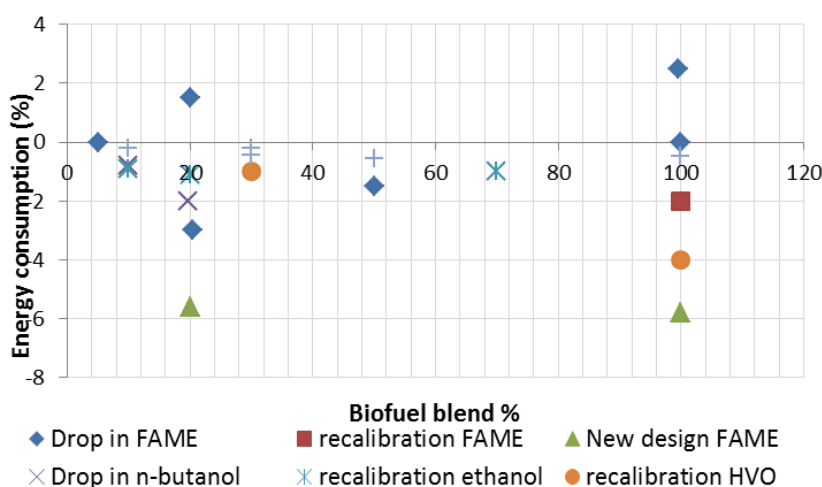
#### **Otto motoren:**

De belangrijkste biobrandstofopties voor ottomotoren omvatten ethanol, bio-methaan en eventueel methanol. Deze brandstoffen hebben allen een hoger octaangetal dan benzine en kunnen daardoor bij gebruik in blends gekwalificeerd worden als een premium brandstof. Op basis van beschikbare literatuur trekt [CE/TNO 2103] de volgende conclusies:

- Met hoge blends (> 50%) lijkt een efficiency verbetering van 15% of meer tot de mogelijkheden te behoren;
- Een enkele bron laat een potentieel efficiency voordeel van 10% zien met een ethanol blend van 20%;
- Er is wel meer onderzoek nodig om deze forse besparingen te bevestigen;
- Voor zowel ethanol, methanol als biomethaan lijken deze potentiële verbeteringen t.o.v. benzine realistisch.



Figuur 43 Resultaten van onderzoeken naar de invloed van verschillende blends van biobrandstof (vooral ethanol) in benzine op energiegebruik bij bestaande en aangepaste motoren [CE/TNO 2013]



Figuur 44 Resultaten van onderzoeken naar de invloed van verschillende blends van biobrandstof in diesel op energiegebruik bij bestaande en aangepaste motoren [CE/TNO 2013]

### Dieselmotoren

De belangrijkste biobrandstoffen voor dieselmotoren zijn FAME, HVO en BTL. Deze brandstoffen hebben een hoger cetaangetal dan conventionele dieselbrandstof. De te behalen rendementsvoordelen zijn vooral gerelateerd aan het realiseren van een gunstigere NO<sub>x</sub>-PM trade-off en NO<sub>x</sub>-verbruik trade-off. Om het rendementsvoordeel daadwerkelijk te realiseren is het meestal wel nodig om de motor hier speciaal voor te kalibreren. De volgende rendementsvoordelen lijken realistisch:

- 4-5% verbruikswinst met pure HVO or biodiesel (FAME);
- circa 1-2% verbruikswinst met 20% ethanol of butanol in diesel (deze blend maakt overigens niet heel veel kans vanwege de complicaties in distributie en kleine toename van veiligheidsrisico's)
- Het lijkt niet onwaarschijnlijk dat grotere voordelen te behalen zijn met een uitgebreidere motoroptimalisatie voor deze biobrandstoffen.

Overall kan worden geconcludeerd dat de toepassing van biobrandstoffen beperkte voordelen kan bieden voor gelijktijdige verbetering van het motorrendement. Daarvoor is wel een dedicated kalibratie of motoroptimalisatie nodig. Het grootste deel van het potentieel lijkt al gerealiseerd te worden bij lagere blendpercentages (20-30%).

### Conclusie m.b.t. koppelkansen tussen efficiencyverbetering en brandstoffen

Dit betekent dat er op wat langere termijn beperkte koppelkansen zijn tussen invoering van biobrandstoffen en verbetering van het motorrendement. Veranderingen in de specificaties van

conventionele brandstoffen zijn niet nodig om de in deze memo geschetste CO<sub>2</sub>-reducties door technische maatregelen aan conventionele voertuigen te realiseren.

#### 4.3.6 Literatuur

[CE Delft 2012] *Marginal abatement cost curves for Heavy Duty Vehicles*, studie uitgevoerd door CE Delft in opdracht van de Europese Commissie (DG CLIMA), 2012  
[http://www.ce.nl/publicatie/marginal\\_abatement\\_cost\\_curves\\_for\\_heavy\\_duty\\_vehicles/1292](http://www.ce.nl/publicatie/marginal_abatement_cost_curves_for_heavy_duty_vehicles/1292)

[CE/TNO 2013] *Bringing biofuels on the market - Options to increase EU biofuels volumes beyond the current blending limits*, Bettina Kampman, Ruud Verbeek, Anouk van Grinsven, Pim van Mensch, Harry Croezen, Artur Patuleia, publication code 13.4567.46, in opdracht van de Europese Commissie (DG Energy), 2013.  
[http://www.ce.nl/publicatie/bringing\\_biofuels\\_on\\_the\\_market/1443](http://www.ce.nl/publicatie/bringing_biofuels_on_the_market/1443)

[ECN/CE/TNO 2014] *Scenarios for energy carriers in the transport sector*, studie door ECN, CE Delft en TNO in opdracht van het Ministerie van Infrastructuur en Milieu t.b.v. de ontwikkeling van een gezamenlijke visie op de toekomstige energiemix voor de transportsector, 2014

[TNO 2006] *Review and analysis of the reduction potential and costs of technological and other measures to reduce CO<sub>2</sub> emissions from passenger cars*, carried out by TNO, IEEP and LAT for the European Commission's DG ENTR under contract nr. SI2.408212  
[http://ec.europa.eu/clima/policies/transport/vehicles/docs/report\\_co2\\_reduction\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/clima/policies/transport/vehicles/docs/report_co2_reduction_en.pdf)

[TNO 2011] *Support for the revision of Regulation (EC) No 443/2009 on CO<sub>2</sub> emissions from cars*, Service request #1 for Framework Contract on Vehicle Emissions (No ENV.C.3./FRA/2009/0043), carried out by TNO, AEA, CE Delft, Ökopol, Ricardo, TML and IHS Global Insight for the European Commission's DG CLIMA  
[http://ec.europa.eu/clima/policies/transport/vehicles/cars/docs/study\\_car\\_2011\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/clima/policies/transport/vehicles/cars/docs/study_car_2011_en.pdf)

[TNO 2012a] *Supporting Analysis regarding Test Procedure Flexibilities and Technology Deployment for Review of the Light Duty Vehicle CO<sub>2</sub> Regulations*, Service request #6 for Framework Contract on Vehicle Emissions (No ENV.C.3./FRA/2009/0043), carried out by TNO, AEA, Ricardo, and IHS Global Insight for the European Commission's DG CLIMA  
[http://ec.europa.eu/clima/policies/transport/vehicles/cars/docs/report\\_2012\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/clima/policies/transport/vehicles/cars/docs/report_2012_en.pdf)

[TNO 2012b] *Support for the revision of Regulation (EU) 510/2011 on CO<sub>2</sub> emissions from light commercial vehicles*, Service request #3 for Framework Contract on Vehicle Emissions (No ENV.C.3./FRA/2009/0043), carried out by TNO, AEA, CE Delft, Ökopol, Ricardo, TML and IHS Global Insight for the European Commission's DG CLIMA  
[http://ec.europa.eu/clima/policies/transport/vehicles/vans/docs/report\\_co2\\_lcv\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/clima/policies/transport/vehicles/vans/docs/report_co2_lcv_en.pdf)

[TNO 2013] *Praktijkverbruik van zakelijke personenauto's en plug-in voertuigen*, Norbert E. Ligterink en Richard T.M. Smokers, TNO 2013 R10703, in opdracht van het Ministerie van IenM, 2013  
[https://www.tno.nl/downloads/praktijkverbruik\\_zakelijke\\_personenautos\\_plug\\_in\\_voertuigen\\_tno\\_2013\\_R10703.pdf](https://www.tno.nl/downloads/praktijkverbruik_zakelijke_personenautos_plug_in_voertuigen_tno_2013_R10703.pdf)

#### 4.4 Potentiele bijdrage van tafel “wegvervoer vloeibaar” (kennisvraag 1.5)

|                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Vraagnummer:     | 1.5                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| Gestelde vraag:  | Schets van het scenario om 60 % reductie te behalen in 2050 (tussenstap 2030) met daarin de autonome groei, de efficiëntieverbetering en CO <sub>2</sub> -arme brandstoffen. Het scenario schetst een beeld van de uitdaging voor vloeibare brandstoffen als de andere sporen (elektrisch, H <sub>2</sub> , CNG etc.) niet haalbaar blijken. |
| Type antwoord:   | Notitie<br>versie 2, aannames in lijn met overall doorrekening.                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| Uitgevoerd door: | Huib van Essen en Maarten 't Hoen (CE Delft)                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |

De totale uitstoot van verkeer in Nederland in 1990 bedroeg 30,4 Mton (IPCC definitie). In 2010 was de uitstoot van verkeer 37 Mton<sup>38</sup>, 21% hoger dan in 1990. De 60% reductiedoelstelling t.o.v. 1990 komt daarmee overeen met 67% reductie t.o.v. 2010.

In deze notitie brengen we in kaart hoeveel daarvan behaald zou kunnen worden door de opties die aan de tafel wegverkeer vloeibaar worden besproken. Het betreft in het bijzonder:

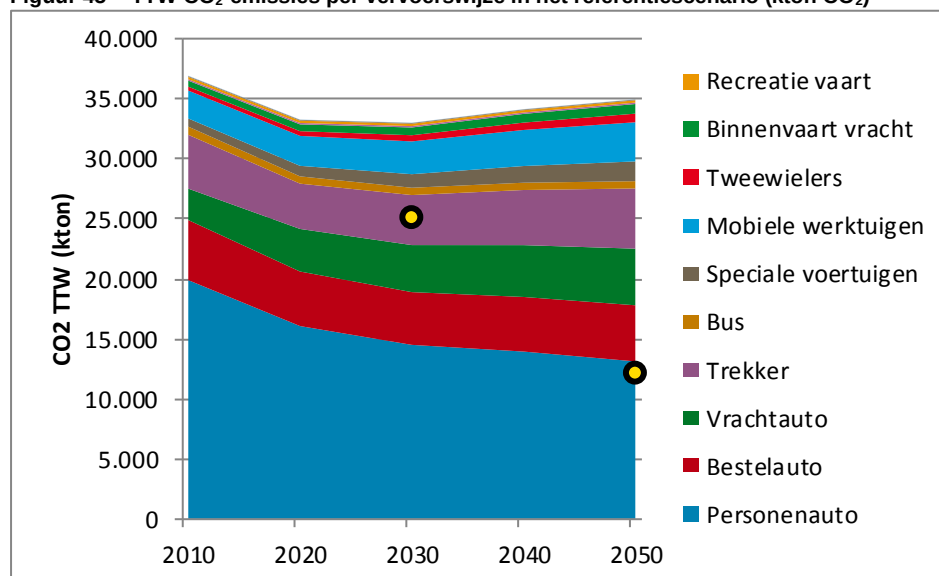
- Efficiëntieverbetering van voertuigen
- Inzet van vloeibare biobrandstoffen

Alvorens daarop in te gaan brengen we eerst in beeld hoe de autonome ontwikkeling van 2010 tot 2050 kan worden verklaard door enerzijds groei in het transportvolume en anderzijds efficiëntieverbetering van de verschillende vervoerswijzen.

##### Referentiescenario: volumegroei en efficiëntieontwikkeling

Onderstaande figuur geeft de ontwikkeling van de CO<sub>2</sub>-uitstoot van al het verkeer (excl. zee- en luchtvaart) weer in het referentiescenario (conform de meest recente Referentieraming van PBL). Hierin zit een beperkt aandeel elektrische personen – en bestelauto's en efficiëntieverbetering a.g.v. CO<sub>2</sub>-normen voor personen- en bestelauto's (tot 2020). De markeringen bij 2030 en 2050 geven de 32% en 60% reductiedoelstelling aan.

<sup>38</sup> Dit getal is iets lager dan de 38,1 Mton totale uitstoot van verkeer in 2010 zoals gerapporteerd door PBL. Het verschil is hoofdzakelijk het gevolg van het feit dat zeevisserij en defensievoertuigen nu niet zijn meegenomen.

**Figuur 45** TTW CO<sub>2</sub>-emissies per vervoerswijze in het referentiescenario (kton CO<sub>2</sub>)

De ontwikkeling in de CO<sub>2</sub>-emissies is het gevolg van volumegroei, efficiëntieverbetering, beperkte ingroei van elektrische wegvoertuigen zoals al verondersteld in het referentiescenario en groei van het aandeel biobrandstoffen. De bijdragen van deze vier factoren staan in **Tabel 24**.

**Tabel 24** Verklaring trend in autonome ontwikkeling in de TTW CO<sub>2</sub>-emissies van alle verkeer in Nederland (t.o.v. 2010)

| Verklarende factor                                                  | CO <sub>2</sub> -ontwikkeling t.o.v. 2010 |             |            |
|---------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|-------------|------------|
|                                                                     | 2020                                      | 2030        | 2050       |
| Autonome volumegroei                                                | +13%                                      | +21%        | +35%       |
| Ingroei PMC's referentie (elektrisch/plug-in)                       | -2%                                       | -8%         | -10%       |
| Efficiëntieverbetering in referentiescenario                        | -14%                                      | -17%        | -25%       |
| Bijmenging biobrandstoffen referentie                               | -6%                                       | -6%         | -7%        |
| <b>Netto trend in CO<sub>2</sub>-emissies in referentiescenario</b> | <b>-10%</b>                               | <b>-10%</b> | <b>-5%</b> |

#### Extra reductie die mogelijk is met biobrandstoffen en efficiëntieverbetering

Verdere efficiëntieverbetering van wegvoertuigen en meer bijmenging van biobrandstoffen kan tot extra CO<sub>2</sub>-reductie leiden.

**Tabel 25** geeft een overzicht van wat daarmee haalbaar is. Hierbij is voor de efficiëntieverbetering gebruik gemaakt van de inschattingen uitgewerkt in het antwoord op kennisvraag 1.4.  
In

**Tabel 25** is het reductiepotentieel weergegeven van alle PMC's voor wegverkeer vloeibaar uitgedrukt in procentpunten van de totale TTW CO<sub>2</sub> emissie in 2010. Het reductiepotentieel is additioneel op de netto trend in CO<sub>2</sub> emissies uit het referentiescenario waarin een reductie van ongeveer 10% in 2020 en 2030 en 5% in 2050 wordt gerealiseerd. In een scenario met hoge beschikbaarheid van biobrandstoffen (voor aannames zie onder) en extra efficiëntieverbetering is de totale reductie ten opzichte van 2010 in 2030 20% en in 2050 62%.

**Tabel 25 Emissiereductiepotentieel van PMC's wegverkeer vloeibaar uitgedrukt in % van totale TTW emissies van alle verkeer in 2010**

|                                                                     | 2020       | 2030       | 2050       |
|---------------------------------------------------------------------|------------|------------|------------|
| Extra efficiëntieverbetering personenauto's                         | 0%         | 10%        | 17%        |
| Extra efficiëntieverbetering bestelauto's                           | 0%         | 3%         | 5%         |
| Extra efficiëntieverbetering vrachtauto's en bussen                 | 0%         | 1%         | 10%        |
| Biobrandstoffen hoge schatting                                      | 0%         | 4%         | 28%        |
| Biobrandstoffen lage schatting t.o.v. referentie*                   | -5%        | -4%        | -4%        |
| <b>Totaal biobrandstoffen hoog en totaal efficiëntieverbetering</b> | <b>0%</b>  | <b>19%</b> | <b>62%</b> |
| <b>Totaal biobrandstoffen laag en totaal efficiëntieverbetering</b> | <b>-5%</b> | <b>11%</b> | <b>30%</b> |

\*De negatieve percentages komen doordat de bijmenging van biobrandstoffen in het lage scenario lager is dan de referentie. In de referentie is 8,5% bijmenging verondersteld in 2030 en 2050. Daarom is het CO<sub>2</sub> effect bij een lage schatting negatief t.o.v. het referentiescenario.

De aannames voor biobrandstoffen in het hoge en lage scenario zijn weergegeven in onderstaande tabel en gebaseerd op de scenariostudie uit Fase 1. In het gecombineerde scenario met zowel biobrandstofbijmenging en extra efficiëntieverbetering (laatste rij van

**Tabel 25** is het aantal PJ biobrandstoffen gelijk aan het aantal PJ biobrandstoffen in het hoge scenario. De bijmengpercentages zijn echter hoger vanwege de lagere energievraag van transport als gevolg van efficiëntieverbeteringen. In 2010 werd in totaal 10 PJ biobrandstoffen bijgemengd. Dit loopt op naar tussen de 24 (lage schatting) en 180 (hoge schatting) PJ in 2050.

**Tabel 26 Veronderstelde hoeveelheid biobrandstoffen in hoog en laag scenario**

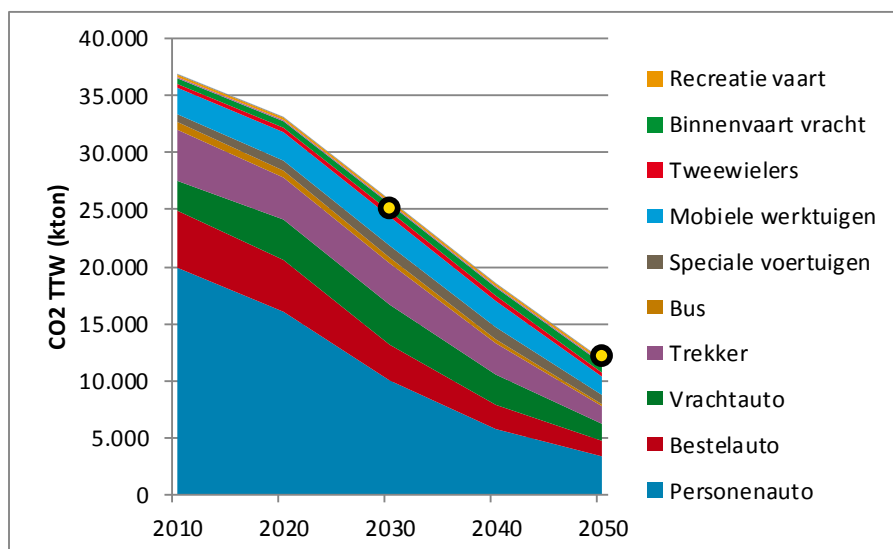
| <b>Biobrandstoffen hoge schatting</b>                               | <b>2010</b> | <b>2020</b> | <b>2030</b> | <b>2050</b> |
|---------------------------------------------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Totaal benodigde biobrandstoffen (PJ)                               | 10          | 40          | 60          | 180         |
| Bijmengpercentage wegverkeer benzine                                | 3,1%        | 8,5%        | 12,5%       | 35%         |
| Bijmengpercentage wegverkeer diesel                                 | 1,4%        | 8,5%        | 12,5%       | 35%         |
| <b>Biobrandstoffen lage schatting</b>                               |             |             |             |             |
| Totaal benodigde biobrandstoffen (PJ)                               | 10          | 16          | 20          | 24          |
| Bijmengpercentage wegverkeer benzine                                | 3,1%        | 4,0%        | 5%          | 5%          |
| Bijmengpercentage wegverkeer diesel                                 | 1,4%        | 3,0%        | 4%          | 5%          |
| <b>Biobrandstoffen hoge schatting + hoge efficiency verbetering</b> |             |             |             |             |
| Totaal benodigde biobrandstoffen (PJ)                               | 10          | 40          | 60          | 180         |
| Bijmengpercentage wegverkeer benzine                                | 3,1%        | 8,5%        | 15%         | 55%         |
| Bijmengpercentage wegverkeer diesel                                 | 1,4%        | 8,5%        | 15%         | 55%         |

Deze resultaten zijn weergegeven in **Figuur 46** en

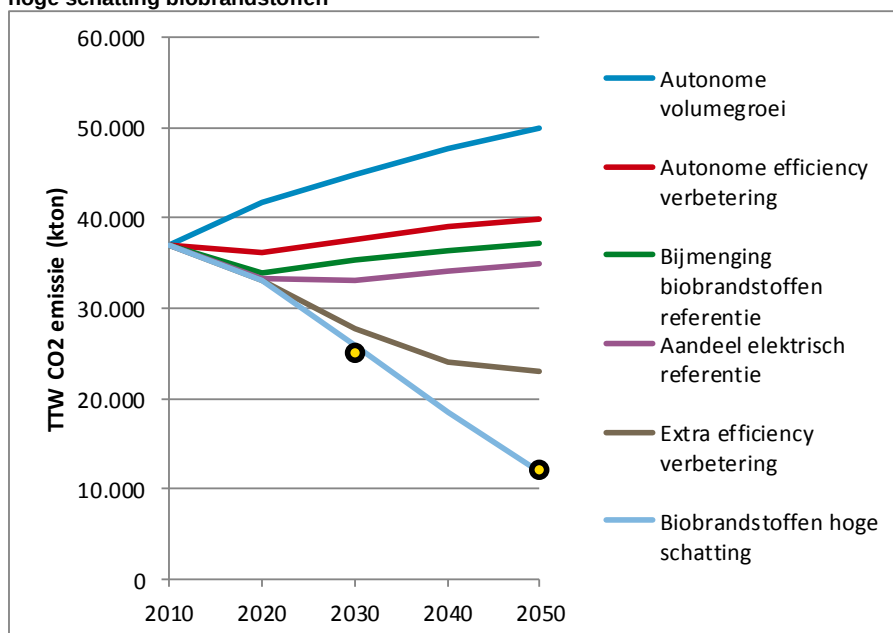
**Figuur 47**. De markering bij 2050 geeft de 60% reductiedoelstelling aan. De paarse lijn in **Figuur 47** komt overeen met het referentiescenario (incl. beperkt aandeel elektrisch, autonome efficiëntieverbetering en aandeel biobrandstoffen) zoals weergegeven in **Figuur 45**.

De plaatjes laten zien dat met vergaande efficiëntieverbetering in combinatie met een hoog scenario voor biomassagebruik in transport de 60% doelstelling net gehaald zou kunnen worden. Dit komt bijna overeen met Scenario 1 (Biofuels & efficiency) uit de scenariostudie. Bij een lagere beschikbaarheid van biomassa is de 60% niet haalbaar zonder inzet van andere energiedragers. Verder dient opgemerkt te worden dat deze analyse zich beperkt tot TTW en dat, zoals ook geconcludeerd in de scenariostudie, de WTW-reductie in dit geval kleiner is dan 60% (meer in de orde van 50%).

**Figuur 46** TTW CO<sub>2</sub> emissie bij autonome bij efficiëntieverbetering wegvoertuigen en hoog aandeel biobrandstoffen (kton CO<sub>2</sub>)



**Figuur 47** TTW CO<sub>2</sub> emissie bij autonome volumegroei, in de referentie (blauw), bij extra efficiency verbetering en bij hoge schatting biobrandstoffen



## 5 Kennisvragen vanuit tafel “wegvervoer gasvormig”

### 5.1 Broeikasgasemissies bij gasvormige brandstoffen (kennisvraag 2.4)

|                  |                                                                                                                                                |
|------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Vraagnummer:     | 2.4                                                                                                                                            |
| Gestelde vraag:  | Wat is de WTW CO <sub>2</sub> uitstoot bij toepassing van LNG, uitgesplitst naar transportsegmenten die gebruikt worden aan de brandstoftafels |
| Type antwoord:   | Grafieken met korte toelichting                                                                                                                |
| Uitgevoerd door: | Gertjan Koornneef (TNO)                                                                                                                        |

#### 5.1.1 Inleiding en aanpak

Gevraagd is de WTW CO<sub>2</sub> uitstoot bij toepassing van LNG voor wegvervoer te vergelijken met de mainstream brandstoffen. Additioneel is gevraagd LPG mee te nemen, daar waar mogelijk en relevant.

WTW staat voor well-to-wheel, wat betekent dat de CO<sub>2</sub> emissies van productie van de brandstof tot het gebruik in het voertuig meegenomen moeten worden. Het is gebruikelijk dit op te delen in WTT (well-to-tank) en TTW (tank-to-wheel). Als er over CO<sub>2</sub> emissies gesproken wordt, dan worden zogenaamde CO<sub>2</sub> equivalente emissies bedoeld. Daarin zijn alle broeikasgassen, zoals methaan, omgerekend naar CO<sub>2</sub> equivalenten en meegenomen in het totaal.

In het visietraject wordt gewerkt aan een consistente set van aannames voor de WTT cijfers voor verschillende routes. Daarnaast worden de TTW cijfers in lijn gebracht met de gewenste transportsegmenten, die als leidraad hebben gediend voor de keuze van kansrijke PMC's. Deze cijfers zijn nog niet gereed en daarom wordt voor de beantwoording van deze vraag teruggegrepen op het recente onderzoek door TNO, ECN en CE Delft “Natural gas in transport, an assessment of different routes” van mei 2013.

In deze studie zijn voor verschillende transportsegmenten o.a. de WTW CO<sub>2</sub> cijfers van op aardgas gebaseerde energiedragers vergeleken. Voor voertuigen op CNG en LNG zijn de verschillende motorconcepten onderscheiden, zoals spark ignited en verschillende vormen van dual-fuel (diesel-gas). Het zichtjaar van deze studie is 2025, waarbij voer- en vaartuigtechnologie zoals verwacht beschikbaar te zijn in 2020 als basis is genomen.

De aannames voor de herkomst van aardgas en andere WTT aspecten zijn (deze routes worden in uitgebreide vorm en mogelijk herziene vorm meegenomen in het visietraject):

- CNG: aardgas via pijpleiding, 50% uit Noorwegen en 50% uit Rusland
- LNG: per schip uit Qatar (noot: nog controleren op juistheid)

De onderstaande grafieken zijn integraal overgenomen uit het genoemde rapport. Naast LNG/CNG zijn ook energiedragers als waterstof en elektriciteit getoond, hoewel geen onderdeel van de vraag. Noot: alle energiedragers, m.u.v. benzine en diesel, zijn volledig gebaseerd op aardgas als primaire energiebron, dus ook de productie van waterstof en elektriciteit.

#### 5.1.2 Verduurzamingspotentieel

Een belangrijk punt is het verduurzamingspotentieel van de diverse energiedragers. In het genoemde rapport wordt hier met name kwalitatief op ingegaan. Verduurzamingsroutes voor CNG en LNG bestaan met name uit routes via biogas. Daarnaast zijn routes in ontwikkeling voor synthetische gassen uit CO<sub>2</sub> en met behulp van duurzaam opgewekte elektriciteit. Op het verduurzamingspotentieel wordt in deze notitie niet ingegaan, aangezien dit uitgebreid aandacht krijgt in kennisvragen 8.2 (routes voor gasvormige en vloeibare brandstoffen uit biomassa) en 8.3 (de

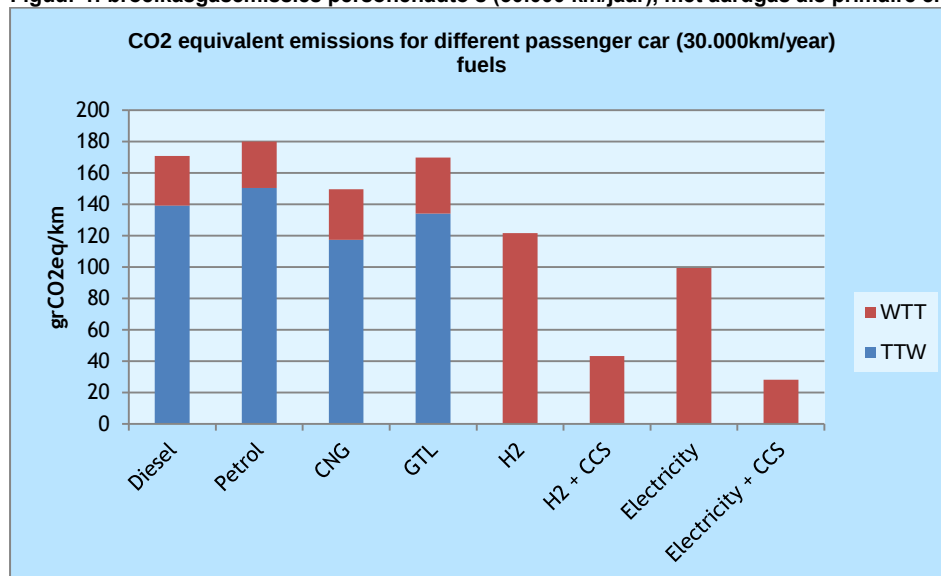
overall matrix met brandstofroutes en de bijbehorende energie-efficiency en CO<sub>2</sub> emissie). Daarnaast is het verduurzamingspotentieel sterk gekoppeld aan de beschikbaarheid van biomassa (vraag 7.6) en de koppeling met duurzame energiesystemen c.q. buffering (vraag 7.2). De drie laatstgenoemde kennisvragen zijn nog in-progress.

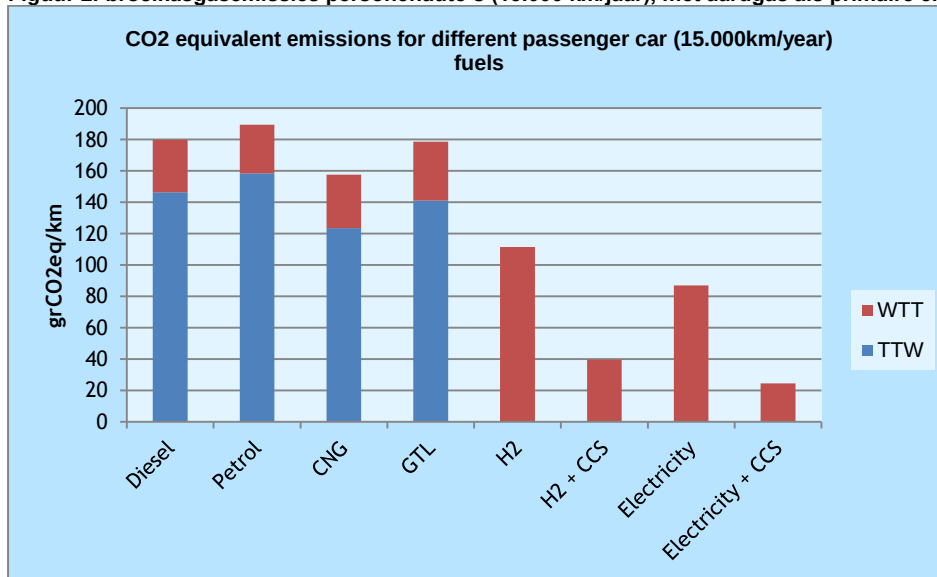
### 5.1.3 Personenauto's

In figuur 1 en 2 zijn de resultaten getoond voor middenklasse personenauto's (ca. 1350 kg) met twee verschillende inzetpatronen. Bij de 15.000 km/jaar variant ligt de nadruk op gebruik in stedelijke omgeving, bij de 30.000 km/jaar variant op snelweggebruik.

LPG is niet meegenomen in het genoemde rapport. De reden hiervoor is dat de scope van het rapport energiedragers omvatte, die aardgas als primaire energiebron hebben. De "Factsheets brandstoffen voor het wegverkeer" van TNO en CE Delft (voorlopige herziene versie 2014) laten zien dat de CO<sub>2</sub> emissies (WTW in g/km) van LPG ca. 85% van benzine zijn. LPG zit daarmee op vergelijkbare waarden met de CNG resultaten in onderstaande grafieken (82-85% van benzine).

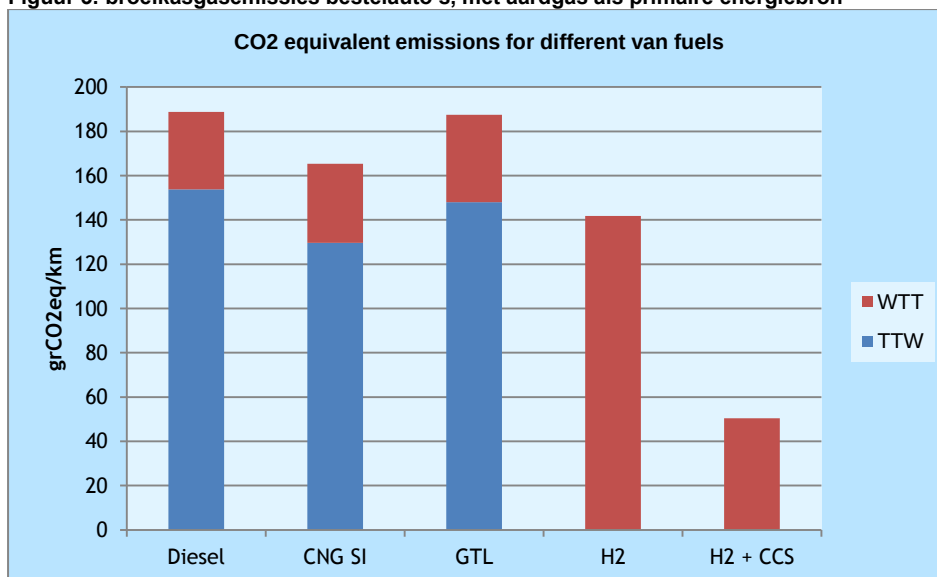
**Figuur 1: broeikasgasemissies personenauto's (30.000 km/jaar), met aardgas als primaire energiebron**



**Figuur 2: broeikasgasemissies personenauto's (15.000 km/jaar), met aardgas als primaire energiebron**

#### 5.1.4 Bestelauto's

Figuur 3 geeft de resultaten voor bestelauto's. Binnen deze categorie is voor de meest gebruikte klasse gekozen, de zogenaamde class III (boven 1750 kg). In dit specifieke geval is een voertuigmassa van 2200 kg en jaarkilometrage van 40.000 km gebruikt. De CO2 emissies laten een met personenauto's vergelijkbaar beeld zien. Dezelfde opmerkingen voor LPG zijn van toepassing. Benzine als referentie is niet relevant, want nauwelijks toegepast.

**Figuur 3: broeikasgasemissies bestelauto's, met aardgas als primaire energiebron**

#### 5.1.5 Distributietrucks

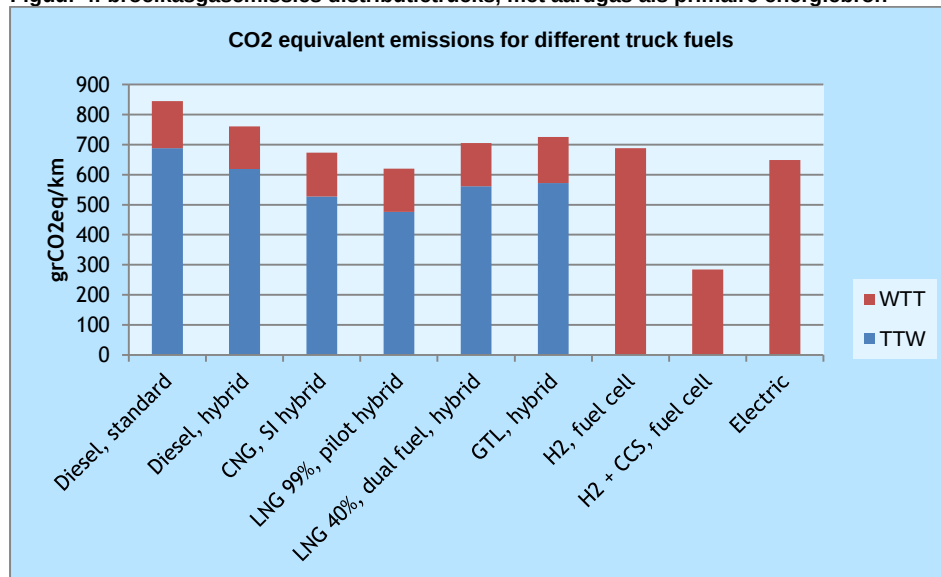
Figuur 4 toont de resultaten van 18 tons distributietrucks met twee assen. Het jaarkilometrage bedraagt 60.000 km en het aandeel binnenstedelijke inzet is 15%.

Bij de distributietrucks is in de studie gekozen voor hybride als referentie, met de aanname dat deze technologie in 2025 wijd verspreid is. In de grafiek is ook te zien hoe deze hybride zich verhoudt tot de conventionele aandrijflijn zonder elektrische ondersteuning.

Voor CNG is aangenomen dat het motortype gebaseerd is op otto (spark ignited). Voor LNG zijn twee varianten opgenomen: dual-fuel met zeer beperkte dieselinspuiting (99% LNG) en dual-fuel met een

verdeling van diesel/LNG in de verhouding 60%/40%. Beide dual-fuel varianten werken volgens het dieselpincipe en hebben daardoor een hoger rendement dan CNG (ottomotoren).

**Figuur 4: broeikasgasemissies distributietrucks, met aardgas als primaire energiebron**



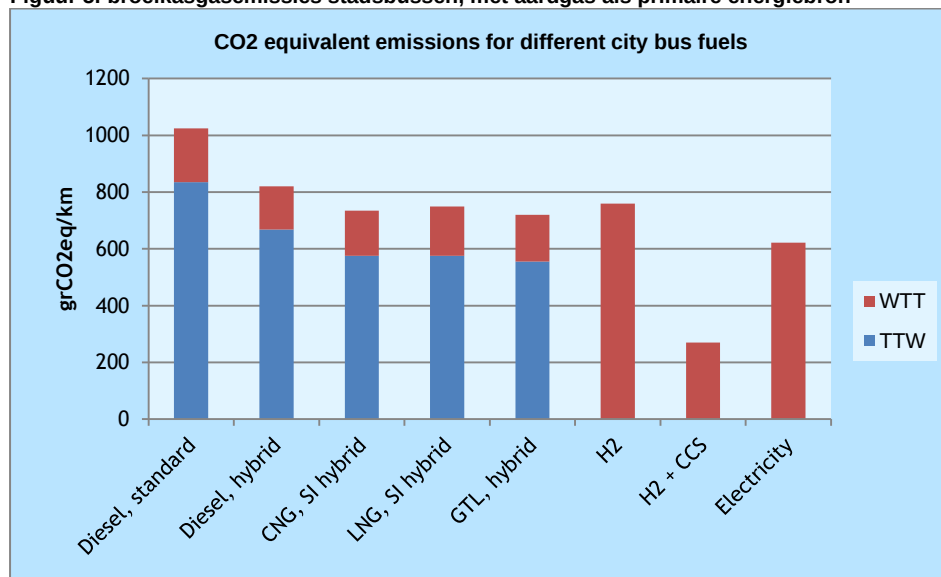
#### 5.1.6 Stadsbus

Figuur 5 toont de resultaten van 15 stadsbus. Het jaarkilometrage bedraagt 60.000 km en de inzet is berekend met de “urban bus cycle” en is daarmee representatief voor een gemiddelde inzet op stadslijnen.

Bij deze transportvorm is ook dieselhybride als referentie genomen. Voor CNG en LNG toepassing worden bij stadsbussen alleen ottomotoren (SI, spark ignited) gebruikt.

LPG is niet meegenomen in de studie, maar bevindt zich wat betreft CO2 emissies op vergelijkbare niveau als CNG.

**Figuur 5: broeikasgasemissies stadsbussen, met aardgas als primaire energiebron**

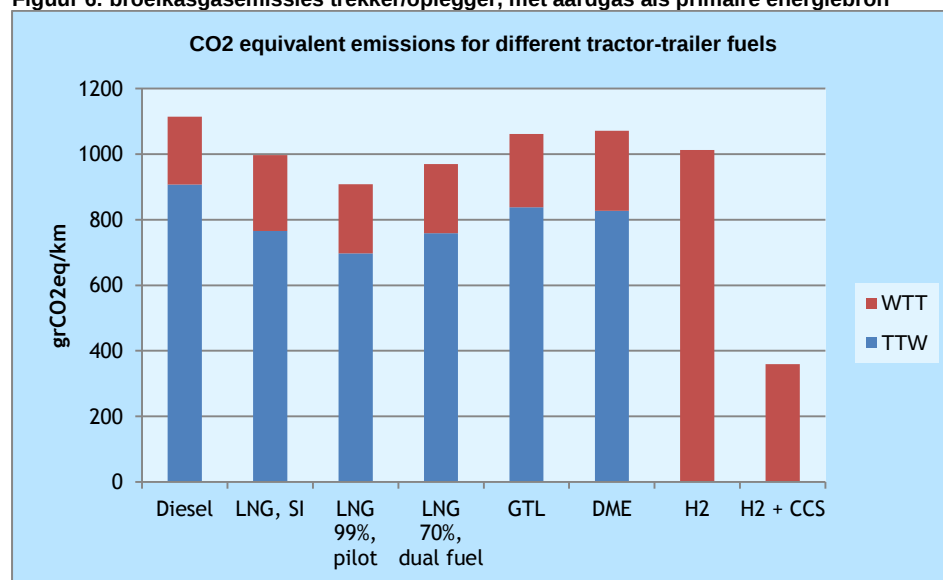


#### 5.1.7 Trekker/oplegger combinaties

Figuur 6 toont de resultaten van 30.5 tons trekker/oplegger combinaties met 5 assen. Het jaarkilometrage bedraagt 120.000 km en het aandeel binnenstedelijke inzet is 5%.

Voor deze transportklasse zal CNG niet of nauwelijks worden toegepast vanwege de vereiste tankvolumes. Onderstaande grafiek toont derhalve meerdere LNG varianten: ottoprincipe (SI, spark ignited), dual fuel met 99% LNG en dual-fuel met 70% LNG. Het aandeel LNG bij deze variant is hoger dan bij de distributietrucks vanwege de inzet op de snelweg, waardoor meer LNG kan worden toegepast.

**Figuur 6: broeikasgasemissies trekker/oplegger, met aardgas als primaire energiebron**



### 5.1.8 Referenties

“Natural gas in transport, assessment of different routes” CE Delft, ECN, TNO, May 2013

“Factsheets Brandstoffen voor het wegverkeer” , TNO en CE, voorlopige update van 2014

## 5.2 Potentiele bijdrage van tafel “wegvervoer gasvormig” (kennisvraag 2.6)

|                  |                                                                                                                                                                            |
|------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Vraagnummer:     | 2.6                                                                                                                                                                        |
| Gestelde vraag:  | Wat is de bijdrage van kansrijke PMC's van gasvormige brandstoffen aan TTW CO <sub>2</sub> -doelstelling, uitgesplitst per vervoerssegment (zowel hoog als laag scenario)? |
| Type antwoord:   | Notitie                                                                                                                                                                    |
| Uitgevoerd door: | Huib van Essen en Maarten 't Hoen (CE Delft)                                                                                                                               |
|                  |                                                                                                                                                                            |

### 5.2.1 Inleiding:

Het doel van deze notitie is om inzicht te geven in de mogelijke bijdragen van de meest kansrijke PMC's voor rijden op gas in het wegverkeer. Het gaat hierbij om de mogelijke bijdragen van de afzonderlijke PMC's aan de totale CO<sub>2</sub>-reductieopgave, in het geval ze succesvol worden. De potentiële CO<sub>2</sub>-reductie in 2020, 2030 en 2050 door de gasvormige PMC's hangt af van de volgende drie factoren:

- Aandeel van iedere gasvormige PMC (bijv. 'CNG personenauto's') in de vloot voor ieder marktsegment waarvoor voertuigen op gas een kansrijke PMC zijn.
- Aandeel van deze marktsegmenten in de totale CO<sub>2</sub>-uitstoot van verkeer.
- Het CO<sub>2</sub>-effect van rijden op gas t.o.v. een conventioneel voertuig met verbrandingsmotor.

De aannames voor deze drie factoren worden hieronder uitgewerkt. Daarna worden de resultaten gepresenteerd.

### 5.2.2 Aandeel PMC's gas

Bij de uitwerking hebben we binnen vervoerswijzen marktsegmenten onderscheiden. Aangezien er onvoldoende data beschikbaar is om de markt te verdelen op basis van stedelijk/niet-stedelijk, actieradius of maximaal dag-kilometrage is een andere onderverdeling gekozen die haalbaar en bruikbaar is, zie **Tabel 20**. Deze indeling is gelijk aan de indeling zoals gebruikt voor de overall doorrekening en de eerdere doorrekeningen voor de tafel elektrisch en vloeibaar (vraag 3.4 en 1.5). Onderstaande tabel geeft een overzicht van de aandelen van voertuigen op LPG, CNG en LNG in de vloot van ieder marktsegment die we hebben aangenomen bij de doorrekening die is gemaakt voor de beantwoording van deze vraag.

Hierbij dient opgemerkt te worden dat dit indicatieve, hoge inschattingen, welke een forse doorbraak van rijden op gas vereisen (o.a. voertuigaanbod, kosten, tankinfrastructuur, beleid). Bij ongunstige (markt)ontwikkelingen voor rijden op gas zijn deze percentage niet haalbaar. In dat geval zal het aandeel gas beperkt blijven tot een niveau ongeveer rond dat wat is verondersteld in het referentiescenario (aandeel in de kilometers van personenauto's van in totaal ca. 4%). Naast het hoge scenario is op verzoek van de gastafel ook een lager scenario doorgerekend waarbij de aandelen gas zijn verondersteld zoals aangegeven in de rechter drie kolommen. In dat scenario is de aanname dat het rijden op gas zich ontwikkelt maar ook vrij veel concurrentie ondervindt van andere alternatieve brandstofsporen (elektrisch, waterstof, biobrandstoffen, efficiëntieverbetering benzine/dieselveertuigen).

Tabel 27 Aandeel PMC's gas in de vloot per marktsegment in 2014 en aannames voor 2020, 2030 en 2050\*

| Vervoerswijze                             | Marktsegment       | Aandeel gas (hoog) |                |                | Aandeel gas (middel) |              |               |
|-------------------------------------------|--------------------|--------------------|----------------|----------------|----------------------|--------------|---------------|
|                                           |                    | 2020               | 2030           | 2050           | 2020                 | 2030         | 2050          |
| Personenauto                              | Zakelijk LPG+CNG   | 5+5 =<br>10%       | 15+35 =<br>50% | 15+45 =<br>60% | 3+1 =<br>4%          | 5+5 =<br>10% | 5+10 =<br>15% |
|                                           | Privé LPG+CNG      | 5+2 =<br>7%        | 10+15 =<br>25% | 10+25 =<br>35% | 3+1 =<br>4%          | 3+3 =<br>6%  | 1+5 =<br>6%   |
| Bestelauto                                | LPG+CNG            | 5+5 =<br>10%       | 15+35 =<br>50% | 15+45 =<br>60% | 3+1 =<br>4%          | 5+5 =<br>10% | 5+10 =<br>15% |
| Vrachtauto                                | < 20t LPG+CNG      | 2+3 =<br>5%        | 10+15 =<br>25% | 10+25 =<br>35% | 1+1 =<br>4%          | 3+3 =<br>6%  | 1+5 =<br>6%   |
|                                           | > 20t LNG          | 5%                 | 25%            | 50%            | 2%                   | 10%          | 10%           |
| Bus                                       | Stad CNG           | 10%                | 80%            | 80%            | 10%                  | 10%          | 0%            |
|                                           | Streek CNG         | 10%                | 80%            | 80%            | 10%                  | 10%          | 5%            |
|                                           | Touringcar LNG     | 5%                 | 25%            | 50%            | 0%                   | 0%           | 0%            |
| Tweewielers                               | Brom/snor          | 0                  | 0              | 0              | 0                    | 0            | 0             |
|                                           | Motorfiets         | 0                  | 0              | 0              | 0                    | 0            | 0             |
| Mobiele werktuigen<br>speciale voertuigen | LPG+CNG+LNG        | 10%                | 20%            | 40%            | 2%                   | 1%           | 1%            |
|                                           | LPG+CNG+LNG        | 10%                | 20%            | 40%            | 7%                   | 7%           | 6%            |
| Binnen- en<br>recreatievaart              | Binnenvaart LNG    | 10%                | 25%            | 40%            | 5%                   | 10%          | 15%           |
|                                           | Recreatievaart CNG | 10%                | 25%            | 40%            | 5%                   | 10%          | 15%           |
| Spoor niet elektrisch                     | LNG                | 10%                | 25%            | 70%            | 0%                   | 0%           | 0%            |

\*Deze aandelen zijn gekozen in overleg met de gastafel. Het kennisconsortium heeft de voorgestelde aandelen voor 2020 iets naar beneden bijgesteld om beter rekening te houden met een realistische ingroeisnelheid.

Bij de aannames in bovenstaande tabel hebben we de volgende aannames gehanteerd:

- Aardgas wordt na 2020 de goedkoopste brandstof en verdringt het duurdere benzine en diesel.
- LPG groeit wel onder aanname dat de accijns lager blijft dan voor benzine en diesel; ten opzichte van CNG heeft LPG aanvankelijk voordeel van de uitgebreide infrastructuur.
- In het hoge scenario is de aanname dat een doorbraak van elektrisch en/of waterstof uitblijft (wel toepassing van plug-in hybride met LPG/CNG); in het lage scenario ontwikkelt het rijden op gas zich behoorlijk maar is er ook sprake van een doorbraak van elektrisch en/of waterstof.
- Bij de kleine markten touringcar en spoor niet-elektrisch worden in het lage scenario geen schaalvoordelen bereikt en komt LNG niet tot inzet.
- Gassen zijn voor tweewielers onhandig, en hier is juist elektrisch zeer geschikt.
- LNG is voor recreatievaart niet geschikt vanwege boil-off gas problematiek bij infrequent gebruik; CNG is hier een alternatief. Binnenvaart zal wel LNG gebruiken.
- Zoals eerder opgemerkt: de hoge aandelen voor 2050 zijn slechts zeer indicatieve, hoge inschattingen, welke een forse doorbraak van rijden op gas vereisen (o.a. voertuigtechniek, kosten, infrastructuur, beleid). Ook de hoge aandelen in 2020 en 2030 zijn alleen mogelijk bij een over de hele linie zeer gunstige ontwikkeling voor rijden op gas.

### 5.2.3 Omvang van het marktsegment in de totale CO<sub>2</sub>-uitstoot

De aandelen van de verschillende wegmodaliteiten in de totale CO<sub>2</sub>-uitstoot van het wegverkeer staan in onderstaande tabel.

**Tabel 28 Aandeel van iedere vervoerswijze in de totale TTW CO<sub>2</sub>-uitstoot van alle verkeer in het referentiescenario**

| Vervoerswijze       | 2010 | 2020 | 2030 | 2050 |
|---------------------|------|------|------|------|
| Personenauto        | 54%  | 48%  | 44%  | 38%  |
| Bestelauto          | 14%  | 14%  | 13%  | 13%  |
| Vracht              | 19%  | 22%  | 25%  | 28%  |
| Bus                 | 2%   | 2%   | 2%   | 2%   |
| Speciale voertuigen | 2%   | 3%   | 3%   | 5%   |
| Tweewielers         | 1%   | 1%   | 2%   | 2%   |
| Binnenvaart         | 2%   | 2%   | 2%   | 3%   |
| Overig              | 7%   | 8%   | 9%   | 10%  |

De aandelen van de marktsegmenten die we binnen deze vervoerswijzen onderscheiden staan in onderstaande tabel.

**Tabel 29 Aandeel marktsegmenten in TTW CO<sub>2</sub>-emissie per vervoerswijze**

| Marktsegment               | Aandeel voertuigkm / CO <sub>2</sub> | Aandeel voertuigen |
|----------------------------|--------------------------------------|--------------------|
| <b>Personenauto</b>        |                                      |                    |
| Zakelijk                   | 25%                                  | 15%                |
| Prive                      | 75%                                  | 85%                |
| <b>Vrachtauto/trekkers</b> |                                      |                    |
| Vrachtauto < 20t           | 16%                                  | 15%                |
| Vrachtauto > 20t           | 84%                                  | 85%                |
| <b>Bussen</b>              |                                      |                    |
| OV-stad                    | 30%                                  | 27%                |
| OV-streek                  | 30%                                  | 27%                |
| Touringcar                 | 41%                                  | 46%                |
| <b>Tweewielers</b>         |                                      |                    |
| Bromfietsen                | 53%                                  | 38%                |
| Motorfietsen               | 47%                                  | 62%                |

#### 5.2.4 CO<sub>2</sub>-effect per voertuig

Het CO<sub>2</sub>-effect per voertuig is als volgt: Het TTW-effect van rijden op gas verschilt per vervoerswijze. De CO<sub>2</sub> uitstoot is bij de verbranding van gas lager, maar voor personenauto's en bestelauto's geldt dat rijden op gas ook iets minder efficiënt is. In **Tabel 30** wordt de TTW CO<sub>2</sub>-reductie per vervoerswijze gegeven ten opzichte van benzine- en dieselveertuigen.

De WTW CO<sub>2</sub>-reductie die kan worden verwacht is meestal kleiner en kan worden berekend met de WTT emissiefactoren voor CNG en LNG. Bij CNG zijn de WTT emissiefactoren vergelijkbaar met die van benzine, bij LNG liggen deze hoger.

**Tabel 30 CO<sub>2</sub> effect per voertuig van overstap op gas**

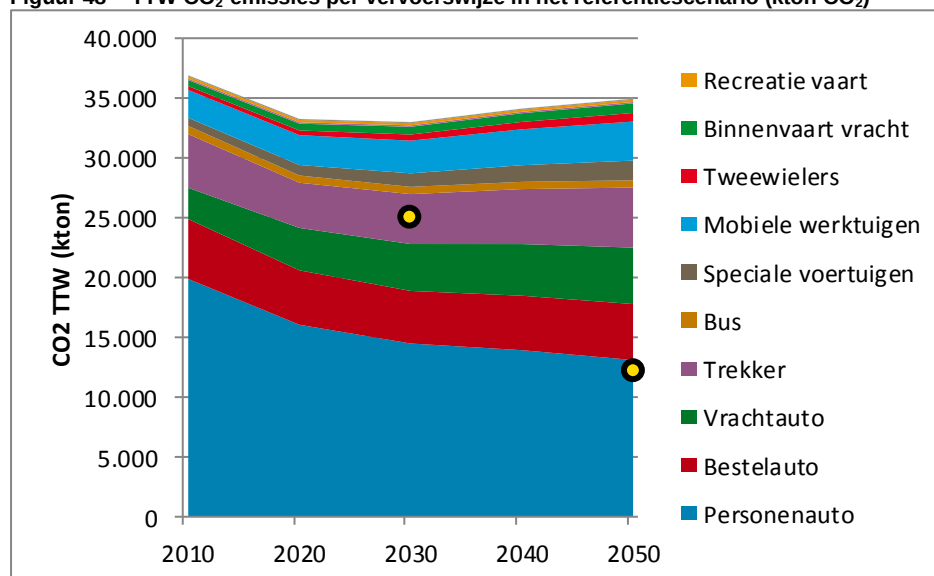
| Vervoerswijze        | TTW CO <sub>2</sub> reductie van gasvoertuigen |
|----------------------|------------------------------------------------|
| Personenauto benzine | 21%                                            |

|                            |     |
|----------------------------|-----|
| Personenauto diesel        | 15% |
| Bestelauto diesel          | 15% |
| Vrachtauto diesel          | 24% |
| Bus diesel                 | 24% |
| Speciale voertuigen diesel | 24% |
| Mobiele werktuigen         | 24% |
| Binnenvaart diesel         | 26% |
| Spoor diesel               | 24% |

### 5.2.5 Resultaten: CO<sub>2</sub>-reductiepotentieel van de gasvormige PMC's

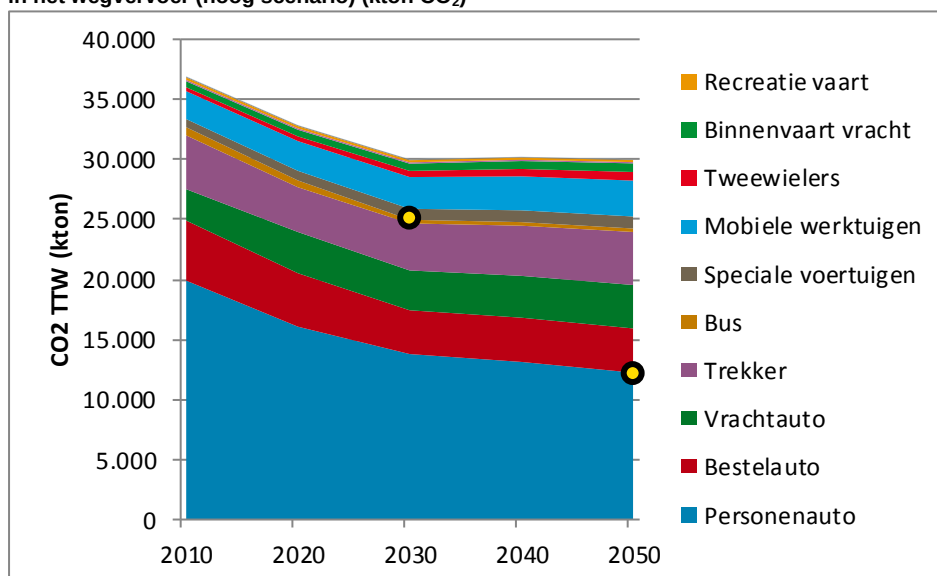
De CO<sub>2</sub>-ontwikkeling van alle verkeer (excl. zee- en luchtvaart) in het referentiescenario is zoals weergegeven in onderstaande figuur. De markering bij 2030 en 2050 geven de respectievelijk 32% en 60% reductiedoelstellingen aan.

**Figuur 48** TTW CO<sub>2</sub>-emissies per vervoerswijze in het referentiescenario (kton CO<sub>2</sub>)



De ingroei van vervoer op gas in het wegverkeer conform de eerder in deze notitie gemaakte aannames resulteert in een trend zoals weergegeven in **Figuur 49**. De markering bij 2050 geeft ook hierin weer de 60% reductiedoelstelling aan.

**Figuur 49** TTW CO<sub>2</sub>-emissies per vervoerwijze in het scenario met volledige realisatie van alle kansrijke PMC's gas in het wegvervoer (hoog scenario) (kton CO<sub>2</sub>)



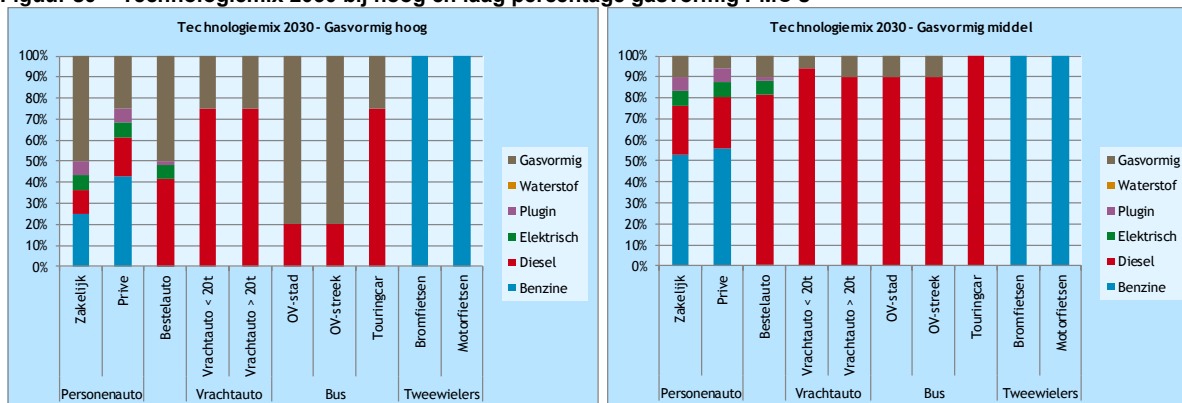
De procentuele bijdrage van de verschillende PMC's aan de reductie van de CO<sub>2</sub>-uitstoot van alle verkeer (ten opzichte van de totale uitstoot in 2010) is weergegeven in onderstaande tabel. In totaal kunnen alle kansrijke gasvormige PMC's in het wegverkeer tot 8% CO<sub>2</sub>-reductie in 2030 leiden en tot ruim 13% in 2050. Dit is een beperkt deel van de vereiste 67% reductie t.o.v. 2010 (wat overeenkomt met de doelstelling 60% ten opzichte van 1990). De PMC's voor vrachtauto's kunnen de grootste bijdrage leveren.

**Tabel 31** TTW CO<sub>2</sub>-reductie bij 'hoog' percentage gasvormig per PMC als percentage van de totale CO<sub>2</sub>-uitstoot alle verkeer in 2010

| PMC gasvormig hoog                              | 2020        | 2030         | 2050         |
|-------------------------------------------------|-------------|--------------|--------------|
| Personenauto                                    | 0,0%        | 2,0%         | 2,4%         |
| Bestelauto                                      | 0,2%        | 2,0%         | 2,7%         |
| Vrachtauto                                      | 0,3%        | 1,6%         | 3,0%         |
| Trekker-oplegger                                | 0,1%        | 0,7%         | 1,6%         |
| Bus                                             | 0,1%        | 0,8%         | 0,9%         |
| Speciale voertuigen                             | 0,2%        | 0,6%         | 1,8%         |
| Mobiele werktuigen                              | 0,0%        | 0,2%         | 0,7%         |
| Binnen- en recreatievaart                       | 0,1%        | 0,2%         | 0,3%         |
| Spoor                                           | 0,0%        | 0,1%         | 0,1%         |
| <b>Totaal</b>                                   | <b>1,1%</b> | <b>8,1%</b>  | <b>13,4%</b> |
| <b>Totaal CO<sub>2</sub>-reductie (in kton)</b> | <b>412</b>  | <b>2.998</b> | <b>4.956</b> |

**Tabel 32 TTW CO<sub>2</sub>-reductie bij 'middel' percentage gasvormig per PMC als percentage van de totale CO<sub>2</sub>-uitstoot alle verkeer in 2010**

| PMC gasvormig middel                 | 2020        | 2030        | 2050        |
|--------------------------------------|-------------|-------------|-------------|
| Personenauto                         | -0,1%       | 0,0%        | 0,4%        |
| Bestelauto                           | 0,0%        | 0,2%        | 0,5%        |
| Vrachtauto                           | 0,1%        | 0,4%        | 0,5%        |
| Trekker-oplegger                     | 0,0%        | 0,3%        | 0,3%        |
| Bus                                  | 0,1%        | 0,1%        | 0,0%        |
| Speciale voertuigen                  | 0,0%        | 0,0%        | 0,0%        |
| Mobiele werktuigen                   | 0,0%        | 0,0%        | 0,0%        |
| Binnen- en recreatievaart            | 0,1%        | 0,1%        | 0,2%        |
| Spoor                                | 0,0%        | 0,1%        | 0,1%        |
| <b>Totaal</b>                        | <b>0,2%</b> | <b>1,2%</b> | <b>1,9%</b> |
| <b>Totaal CO2 reductie (in kton)</b> | <b>68</b>   | <b>435</b>  | <b>700</b>  |

**Figuur 50 Technologiemijs 2030 bij hoog en laag percentage gasvormig PMC's**

## 6 Kennisvragen vanuit de tafel “wegvervoer elektrisch”

### 6.1 Omvang relevante transportsegmenten (kennisvraag 3.2)

|                    |                                                                                              |
|--------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|
| Brandstofafdeling: | <b>Wegvervoer elektrisch, vraag 3.2</b>                                                      |
| Gestelde vraag:    | Wat is de grootte van transportsegmenten die mogelijk geschikt zijn voor elektrisch vervoer? |
| Type antwoord:     | Tabel met toelichting                                                                        |
| Uitgevoerd door:   | Maarten 't Hoen (CE Delft)                                                                   |

Vooraf aan het in kaart brengen van kansrijke marktsegmenten is het goed te weten hoe groot het totale wagenpark in Nederland is. In **Tabel 33** wordt daarom voor alle vervoerswijzen de grootte van het totale wagenpark gegeven op basis van CBS (2013). In aanvulling hierop zijn ook, voor zover bekend de aantallen volledig elektrische auto's en aantal plug-in hybrides weergegeven in combinatie met het huidige percentage elektrisch binnen een modaliteit.

**Tabel 33: Overzicht totaal aantal voertuigen 2013**

| Vervoerswijze                              | Totaal wagenpark | Aantal volledig elektrisch | Aantal plug-in hybride | Percentage elektrisch | kton CO <sub>2</sub> 2010 TTW (CE Delft, TNO, ECN 2014) |
|--------------------------------------------|------------------|----------------------------|------------------------|-----------------------|---------------------------------------------------------|
| Personenauto                               | 7.915.613        | 4.161                      | 24.512                 | 0,36%                 | 19.909                                                  |
| Bedrijfsauto < 3500; bestelwagens          | 832.121          | 669                        | n.b.                   | 0,08%                 | 5.011                                                   |
| Bedrijfsauto > 3500; vrachtwagens/trekkers | 137.518          | 39                         | n.b.                   | 0,03%                 | 7.111                                                   |
| OV-Bus                                     | 5.487            | 73                         | 65                     | 2,52%                 | 683                                                     |
| Touringcar                                 | 4.667            |                            | n.b.                   | 0,00%                 |                                                         |
| Motorfiets                                 | 653.245          | 125                        | n.b.                   | 0,02%                 | 328                                                     |
| Bromfietsen/snorfietsen/brommobielen       | 573.000          | 23.043                     | n.b.                   | 4,02%                 |                                                         |
| Fiets                                      | 18.000.000       | 1.000.000                  | n.b.                   | 5,56%                 |                                                         |

In het Plan van Aanpak Elektrisch Rijden van RVO (voorheen Agentschap NL) zijn kansrijke marktsegmenten geïdentificeerd voor de invoer van elektrisch rijden, namelijk:

- Logistiek en distributie
- Zakelijke mobiliteit en woon-werkverkeer
- Collectief vervoer
- Bedrijfsvoertuigen
- Overheidsvoertuigen

Op basis van deze indeling wordt in **Tabel 34** een verdere opsplitsing van deze marktsegmenten<sup>39</sup> gegeven én bevat de tabel tegelijkertijd een inschatting van het aantal voertuigen.

Om daadwerkelijk het CO<sub>2</sub>-reductiepotentieel in te kunnen schatten is naast het aantal voertuigen ook het aantal voertuigkilometers relevant. Inschattingen van jaarkilometrages zijn echter beperkt te vinden in de literatuur. Daarnaast hebben de niche-voertuigen, zoals opgenomen in de tabel, vaak

<sup>39</sup> Logistiek en distributie en bedrijfsvoertuigen zijn samengenomen.

specifieke gebruikersprofielen, waardoor het niet mogelijk is om de gemiddelde jaarkilometrages van bijvoorbeeld reguliere personenauto's aan te nemen. De gegevens die wel gevonden zijn, zijn in onderstaande toelichting opgenomen.

#### **Toelichting kansrijke marksegmenten**

1. Logistiek en distributie, bedrijfsvoertuigen (AgentschapNL 2012a)
  - De gemiddelde bestelauto rijdt ruim 18.000 kilometer per jaar.
  - De inzet van het bestelwagenpark (op basis van marktaandeel) is als volgt: 30% bouw, 20% zakelijke dienstverlening, 25% detail en groothandel, 15% transport en 10% overig.
2. Zakelijke mobiliteit en woon-werk verkeer (VNA, 2012)
  - In 2011 en 2012 werd jaarlijks bijna een derde van de lease vloot vervangen.
  - In 2012 was een op de drie nieuwe personenauto's een leaseauto.
  - Het jaarkilometrage voor leaseauto's ligt tussen de 28.000 en 38.500 kilometer, en komt daarmee op een gemiddelde van 33.500 kilometer.
  - Per jaar wordt 1/5 deel van de zakelijke bestelauto's ververst. Bijna de helft van de nieuw gekochte bestelauto is een leaseauto.
  - Jaarkilometrage leasebestelauto bedraagt ook gemiddeld 33.500 kilometer.
3. Collectief vervoer
  - Bussen rijden gemiddeld 75.000-90.000 kilometer per jaar (CBS 2011).
  - Touringcars rijden gemiddeld ruim 60.000 kilometer per jaar (KNV 2012).
  - Een taxi rijdt gemiddeld 60.000 kilometer per jaar (AgentschapNL 2012b).
4. Overheidsvoertuigen
  - Bij dienstauto's van Rijkswaterstaat wordt aangenomen dat deze 15.000 kilometer per jaar rijden (TNO 2012).

Tabel 34: Aantal/grootte segmenten m.b.t. elektrisch vervoer

| Kansrijke marktsegmenten                         | niveau 1                                                       | niveau 2                         | Aantal  | Grootte segment (binnen modaliteit) | Bron             | Jaar |
|--------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|----------------------------------|---------|-------------------------------------|------------------|------|
| Logistiek & distributie                          | Bedrijfsauto < 3500; bestelwagens                              | zeer klein (0-600 kg)            | 127.676 | 16%                                 | CBS Statline (a) | 2012 |
|                                                  |                                                                | klein (600-1000 kg)              | 381.672 | 47%                                 | CBS Statline (a) | 2012 |
|                                                  |                                                                | middel (1000-1500 kg)            | 264.376 | 32%                                 | CBS Statline (a) | 2012 |
|                                                  |                                                                | groot (1500-3500 kg)             | 43.556  | 5%                                  | CBS Statline (a) | 2012 |
|                                                  | Bedrijfsauto > 3500; trekkers                                  | tot 40 t                         | 18.019  | 11%                                 | CBS Statline (b) | 2012 |
|                                                  |                                                                | 40 t of meer                     | 66.500  | 41%                                 | CBS Statline (b) | 2012 |
|                                                  | Bedrijfsauto > 3500; vrachtwagens                              | tot 7 t                          | 30.295  | 19%                                 | CBS Statline (b) | 2012 |
|                                                  |                                                                | 7 tot 12 t                       | 22.959  | 14%                                 | CBS Statline (b) | 2012 |
|                                                  |                                                                | 12 tot 18 t                      | 16.892  | 10%                                 | CBS Statline (b) | 2012 |
|                                                  |                                                                | 18 t of meer                     | 7.529   | 5%                                  | CBS Statline (b) | 2012 |
| Zakelijke mobiliteit en woon-werkverkeer         | privé-auto                                                     | >50% zakelijk gebruik            | 326.000 | 4%                                  | VNA              | 2012 |
|                                                  | auto van de zaak                                               | lease                            | 577.000 | 7%                                  | VNA              | 2012 |
|                                                  |                                                                | in eigen beheer                  | 321.000 | 4%                                  | VNA              | 2012 |
|                                                  | bestelauto                                                     | lease                            | 122.200 | 15%                                 | VNA              | 2012 |
| Collectief vervoer: OV, Taxi, Huur en deelauto's | OV bus                                                         | OV-stadsbussen                   | 2.744   | 50%                                 | KPVV, CE         | 2013 |
|                                                  |                                                                | OV-streekbussen                  | 2.744   | 50%                                 | KPVV, CE         | 2013 |
|                                                  |                                                                | aflopende concessies (2014-2015) | 1.444   | 26%                                 | KPVV, ING        | 2013 |
|                                                  | Taxi's                                                         | Straattaxivervoer                | 6.848   | 0,1%                                | NEA              | 2010 |
|                                                  |                                                                | Leerlingen                       | 5.767   | 0,1%                                | NEA              | 2010 |
|                                                  |                                                                | Regiotaxis                       | 7.569   | 0,1%                                | NEA              | 2010 |
|                                                  |                                                                | Groepsvervoer                    | 6.488   | 0,1%                                | NEA              | 2010 |
|                                                  |                                                                | Overig                           | 9.371   | 0,1%                                | NEA              | 2010 |
|                                                  | Huurauto's                                                     |                                  | 69.400  | 0,9%                                | KpVV (a)         | 2014 |
|                                                  | Deelauto's                                                     |                                  | 5.275   | 0,1%                                | KpVV (a)         | 2014 |
| Overheidsvoertuigen                              | Dienstauto's bij het Rijk                                      | personenauto's                   | 7.636   | 1%                                  | Natuur en Milieu | 2008 |
|                                                  |                                                                | bestelauto's                     | 3.818   | 2,8%                                | Natuur en Milieu | 2008 |
|                                                  | Dienstauto's gemeenten (op basis van jaarkilometrage 15.000km) |                                  | 1.133   | 0,1%                                | AgentschapNL (c) | 2012 |
|                                                  | Dienstauto's Rijkswaterstaat                                   |                                  | 1.700   | 0,2%                                | TNO              | 2012 |

**Referenties**

AgentschapNL 2012a

Analyse marktsegment logistiek en distributie

AgentschapNL 2012b

Analyse marktsegment taxi

AgentschapNL 2012c

Analyse marktsegment zakelijke mobiliteit en woon-werkverkeer

CBS 2011

Verkeersprestaties autobussen

CBS Statline a (Geraadpleegd op 18-2-2014)

Verkeersprestaties bestelauto's; kilometers, brandstofsoort en grondgebied

CBS Statline b (Geraadpleegd op 18-2-2014)

Verkeersprestaties vrachtvoertuigen; kilometers, laadvermogen, grondgebied

CE Delft 2008

STREAM Studie naar TRansport Emissies van Alle Modaliteiten

ING 2012

Tijd voor verdere professionalisering van het OV-busvervoer

KNV 2012

Kerncijfers 2012 van het touringcarvervoer van Nederlandse touringcarondernemingen

KPVV 2013

Poster Milieuprestatie ov-bussen, editie 2013

KPVV 2014a

Dashboard Autodelen

<http://kpvvdashboard-4.blogspot.nl/>

Geraadpleegd op 14-2-2014

KPVV 2014b

Dashboard Openbaar Vervoer

<http://kpvvdashboard-17.blogspot.nl/>

Geraadpleegd op 14-2-2014

NEA 2010

Taxibranche onderzoek 2009/2010

Stichting Natuur en Milieu 2009

Dienstauto's rijksoverheid: duurzaam ingekocht?

TNO 2012

Afsluitende rapportage praktijkproef elektrisch rijden RWS

VNA 2012

Autoleasemarkt in cijfers 2012

## 6.2 Potentiele bijdrage tafel “wegvervoer elektrisch” (kennisvraag 3.4)

|                  |                                                                                                                                                                                                                                                       |
|------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Vraagnummer:     | 3.4                                                                                                                                                                                                                                                   |
| Gestelde vraag:  | <p>Wat is de potentiële bijdrage van alle relevante PMC's aan het gestelde CO<sub>2</sub>-doel in 2020, 2030 en 2050?</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Betreft dus alle PMC's voor wegvervoer. Qua aanpak koppelen aan vraag 1.5</li> </ul> |
| Type antwoord:   | Notitie versie 2, aannames voor aandelen PMC's in lijn met overall doorrekening.                                                                                                                                                                      |
| Uitgevoerd door: | Huib van Essen en Maarten 't Hoen (CE Delft)                                                                                                                                                                                                          |
|                  |                                                                                                                                                                                                                                                       |

Het doel van deze notitie is om inzicht te geven in de mogelijke bijdragen van de meest kansrijke PMC's voor elektrisch rijden in het wegverkeer. Het gaat hierbij om de mogelijke bijdragen van de afzonderlijke PMC's aan de totale CO<sub>2</sub>-reductieopgave in het geval ze succesvol worden.

De potentiële CO<sub>2</sub>-reductie in 2020, 2030 en 2050 door de elektrische PMC's hangt af van de volgende drie factoren:

- Aandeel van iedere elektrische PMC (bijv. 'volledig elektrische personenauto's') in de vloot voor ieder marktsegment waarvoor elektrische voertuigen een kansrijke PMC zijn.
- Aandeel van deze marktsegmenten in de totale CO<sub>2</sub>-uitstoot van verkeer.
- Het CO<sub>2</sub>-effect van elektrisch rijden t.o.v. een conventioneel voertuig met verbrandingsmotor.

De aannames voor deze drie factoren worden hieronder uitgewerkt. Daarna worden de resultaten gepresenteerd.

### Aandeel elektrische PMC's

Bij de uitwerking hebben we binnen vervoerswijzen marktsegmenten onderscheiden. Aangezien er onvoldoende data beschikbaar is om de markt te verdelen op basis van stedelijk/niet-stedelijk, actieradius of maximaal dag-kilometrage is een andere onderverdeling gekozen die haalbaar en bruikbaar is, zie **Tabel 20**. Auto's van de zaak en privéauto's is een zinvol onderscheid omdat de ingroei van elektrisch nu al enorm verschilt tussen deze segmenten en dit ook komende jaren naar verwachting zo zal blijven. Bovendien is het niet evident dat elektrische auto's vooral in steden gebruikt gaan worden, aangezien maar weinig auto's alleen in steden worden gebruikt. Ook maken de lage kilometerkosten en hoge aanschafkosten dat een elektrische auto juist aantrekkelijk wordt bij niet al te lage of zelfs hoge jaarkilometrages (denk bijv. aan een auto die 200 dagen paar jaar voor 150 km per dag wordt gebruikt, dus ca. 30.000km wat ver boven het gemiddelde jaarkilometrage van ca. 13.000 km is).

Bij vrachtauto's is de grootteklasse een goede indicator voor geschiktheid van elektrische PMC's.

Voor bussen kan het onderscheid worden gemaakt zoals voorgesteld aan de tafel.

Het aandeel van iedere PMC in de vloot schatten we in m.b.v. een geschat aandeel in de nieuw verkochte voertuigen en de snelheid waarmee de vloot wordt vernieuwd. Dit laatste baseren we op een vergelijking van de aantallen verkochte voertuigen over de afgelopen jaren (zowel voor als na de crisis, om voor de effecten daarvan te corrigeren) en de omvang van de totale vloot.

Onderstaande tabel geeft een overzicht van de aandelen van volledig elektrische voertuigen (FEVs) en plug-ins elektrische voertuigen (PHEVs) in de vloot van ieder marktsegment die we hebben aangenomen bij de doorrekening die is gemaakt voor de beantwoording van deze vraag.

Hierbij dient opgemerkt te worden dat dit indicatieve, hoge inschattingen, welke een forse doorbraak van elektrisch rijden vereisen (o.a. voertuig- en batterijtechniek, kosten, laadinfrastructuur, beleid). Bij ongunstige (markt)ontwikkelingen voor elektrisch rijden zijn deze percentage niet haalbaar. In dat geval zal het aandeel elektrisch beperkt blijven tot een niveau ongeveer rond dat wat is verondersteld in het referentiescenario (aandeel in de kilometers van personenauto's van in totaal ca. 7% van plug-in hybrides en 1,4% van volledig elektrische auto's).

**Tabel 35 Aandeel elektrische PMC's in de vloot per marktsegment in 2014 en aannames voor 2020, 2030 en 2050**

| Vervoerswijze                            | Marktsegment         | Product             | 2014  | 2020 | 2030 | 2050 |
|------------------------------------------|----------------------|---------------------|-------|------|------|------|
| Personenauto                             | Zakelijk             | Pluginhybride       | 2,8%  | 15%  | 50%  | 25%  |
|                                          |                      | Volledig elektrisch | 0,5%  | 2%   | 25%  | 75%  |
|                                          | Prive                | Pluginhybride       | 0,02% | 0%   | 10%  | 25%  |
|                                          |                      | Volledig elektrisch | 0,00% | 0%   | 5%   | 75%  |
| Bestelauto                               | Totaal               | Pluginhybride       | 0,0%  | 1%   | 10%  | 50%  |
|                                          |                      | Volledig elektrisch | 0,1%  | 2%   | 10%  | 50%  |
| Vrachtauto                               | < 20t                | Pluginhybride       | 0%    | 0%   | 5%   | 25%  |
|                                          |                      | Volledig elektrisch | 0,08% | 0%   | 1%   | 10%  |
|                                          | > 20t                | Pluginhybride       | 0%    | 0%   | 2%   | 10%  |
|                                          |                      | Volledig elektrisch | 0%    | 0%   | 0%   | 0%   |
| Bus                                      | OV-stad              | Pluginhybride       | 2,4%  | 6%   | 25%  | 0%   |
|                                          |                      | Volledig elektrisch | 2,7%  | 6%   | 50%  | 100% |
|                                          | OV-streek            | Pluginhybride       | 0%    | 6%   | 25%  | 50%  |
|                                          |                      | Volledig elektrisch | 0%    | 3%   | 25%  | 50%  |
|                                          | Touringcar           | Pluginhybride       | 0%    | 0%   | 5%   | 90%  |
|                                          |                      | Volledig elektrisch | 0%    | 0%   | 0%   | 10%  |
| Tweewielers                              | Brom- en snorfietsen | Volledig elektrisch | 2,1%  | 13%  | 80%  | 100% |
|                                          | Motorfietsen         | Volledig elektrisch | 0,02% | 0%   | 0%   | 15%  |
| Speciale voertuigen / mobiele werktuigen | Speciale voertuigen  | Volledig elektrisch | 0%    | 2,5% | 5%   | 10%  |
|                                          | Mobiele werktuigen   | Volledig elektrisch | 0%    | 5%   | 7,5% | 10%  |
| Binnen- en recreatievaart                | Binnenvaart vracht   | Volledig elektrisch | 0%    | 0%   | 0%   | 0%   |
|                                          | Binnenvaart personen | Volledig elektrisch | 0%    | 0%   | 0%   | 0%   |
|                                          | Recreatievaart       | Volledig elektrisch | 0%    | 0%   | 1%   | 2%   |
| Spoor (niet elektrisch)                  | Spoor vracht         | Volledig elektrisch | 0%    | 25%  | 50%  | 100% |
|                                          | Spoor personen       | Volledig elektrisch | 0%    | 25%  | 50%  | 100% |

Bij de aannames in **Tabel 20** hebben we de volgende aannames gehanteerd:

- 95% FEV's en PHEV's personenauto's 2014 zijn zakelijk, 5% privé
- Alle PHEV en FEV OV-bussen 2014 zijn stadsbussen
- Alle elektrische vrachtauto's 2014 zijn <20t
- Tussen 2014-2020:

- 15% nieuwverkoop personenauto's zakelijk is PHEV, 2% FEV
- 1% nieuwverkoop personenauto's privé is PHEV, 0% FEV
- Aandeel PHEV in nieuwe bussen is 10% voor de stadsbus, 10% voor de streekbus en 0% bij de touringcar. Voor FEV is dit respectievelijk 10%, 5% en 0%
- 25% van de verkochte brom- en snorfietsen is volledig elektrisch, en 0% van de motorfietsen
- Tussen 2020-2030:
  - 50% nieuwverkoop personenauto's zakelijk is PHEV, 25% FEV
  - 25% nieuwverkoop personenauto's privé is PHEV, 15% FEV
  - Aandeel PHEV in nieuwe bussen is 25% voor zowel de stadsbus als de streekbus, voor de touringcar 10%. Voor FEV is dit respectievelijk 50%, 25% en 0%
  - 100% van de verkochte brom- en snorfietsen is volledig elektrisch, en 0% van de motorfietsen.
- Zoals eerder opgemerkt: de aandelen voor 2050 zijn slechts zeer indicatieve, hoge inschattingen, welke een forse doorbraak van elektrisch rijden vereisen (o.a. voertuig- en batterijtechniek, kosten, laadinfrastructuur, beleid). Ook de aandelen in 2020 en 2030 zijn alleen mogelijk bij een over de hele linie zeer gunstige ontwikkeling voor elektrisch rijden.

### Omvang van het marktsegment in de totale CO<sub>2</sub>-uitstoot

De aandelen van de verschillende wegmodaliteiten in de totale CO<sub>2</sub>-uitstoot van het wegverkeer staan in onderstaande tabel.

**Tabel 36 Aandeel van iedere vervoerswijze in de totale TTW CO<sub>2</sub>-uitstoot van alle verkeer in het referentiescenario**

| Vervoerswijze | 2010 | 2020 | 2030 | 2050 |
|---------------|------|------|------|------|
| Personenauto  | 54%  | 48%  | 44%  | 36%  |
| Bestelauto    | 14%  | 14%  | 13%  | 13%  |
| Vrachtauto    | 7%   | 11%  | 12%  | 13%  |
| Trekker       | 12%  | 11%  | 13%  | 14%  |
| Bus           | 2%   | 2%   | 2%   | 2%   |
| Tweewielers   | 1%   | 1%   | 2%   | 2%   |
| Overig        | 11%  | 13%  | 15%  | 21%  |

De aandelen van de marktsegmenten die we binnen deze vervoerswijzen onderscheiden staan in onderstaande tabel.

**Tabel 37 Aandeel marktsegmenten in TTW CO<sub>2</sub>-emissie per vervoerswijze**

| Marktsegment               | Aandeel voertuigkm / CO <sub>2</sub> | Aandeel voertuigen |
|----------------------------|--------------------------------------|--------------------|
| <b>Personenauto</b>        |                                      |                    |
| Zakelijk                   | 25%                                  | 15%                |
| Prive                      | 75%                                  | 85%                |
| <b>Vrachtauto/trekkers</b> |                                      |                    |
| Vrachtauto < 20t           | 16%                                  | 15%                |
| Vrachtauto > 20t           | 84%                                  | 85%                |
| <b>Bussen</b>              |                                      |                    |
| OV-stad                    | 30%                                  | 27%                |
| OV-streek                  | 30%                                  | 27%                |

|                    |     |     |
|--------------------|-----|-----|
| Touringcar         | 41% | 46% |
| <b>Tweewielers</b> |     |     |
| Bromfietsen        | 53% | 38% |
| Motorfietsen       | 47% | 62% |

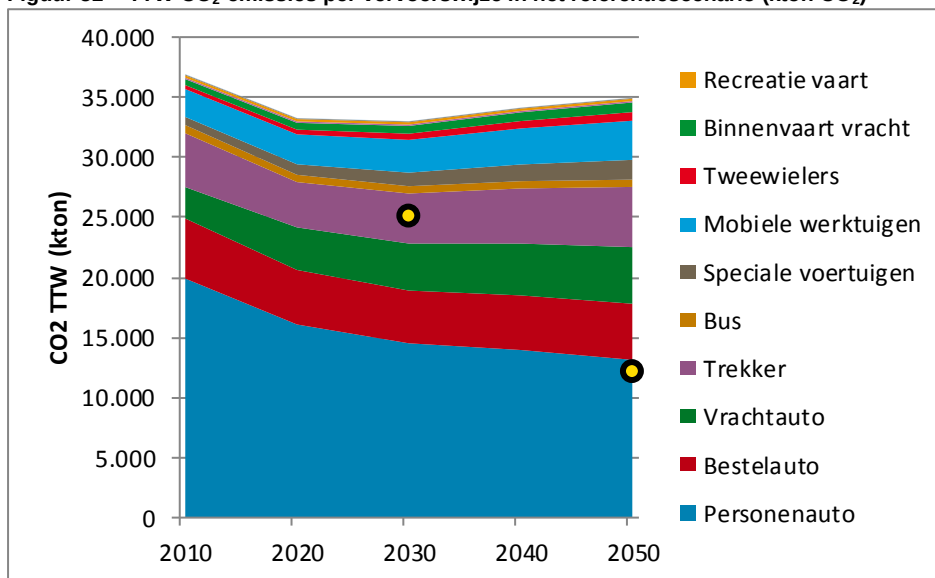
### CO<sub>2</sub>-effect per voertuig

Het CO<sub>2</sub>-effect per voertuig is als volgt: Het TTW-effect van elektrisch rijden is de volledige reductie van de emissies van conventionele voertuigen die worden vervangen. Het WTW-effect dat kan worden verwacht kan worden berekend met de TTW emissiefactoren voor elektriciteitsopwekking. Voor PHEVs is verondersteld is dat het aandeel elektrisch gereden kilometers in 2020 30% bedraagt en dat dit oploopt naar 50% in 2030 en 65% in 2050. Deze percentages zijn lager dan waarin de Referentieraming van PBL mee wordt gerekend en liggen voor 2020 veel dichterbij de thans bekend praktijkcijfers. Het aandeel loopt na 2020 op vanwege verdere uitrol van laadinfrastructuur en verdere ontwikkeling van batterijtechnologie.

### Resultaten: CO<sub>2</sub>-reductiepotentieel van de elektrische PMC's

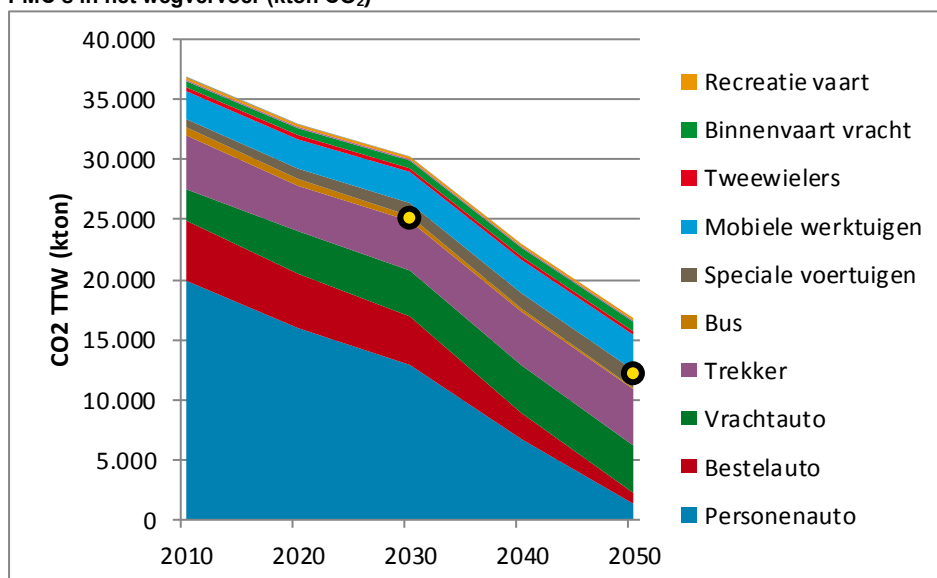
De CO<sub>2</sub>-ontwikkeling van alle verkeer (excl. zee- en luchtvaart) in het referentiescenario is zoals weergegeven in onderstaande figuur. De markerings bij 2030 en 2050 geven de 32% en 60% reductiedoelstelling aan.

**Figuur 51** TTW CO<sub>2</sub>-emissies per vervoerswijze in het referentiescenario (kton CO<sub>2</sub>)



De ingroei van elektrisch vervoer in het wegverkeer conform de eerder in deze notitie gemaakte aannames resulteert in een trend zoals weergegeven in **Figuur 49**. De markering bij 2050 geeft ook hierin weer de 60% reductiedoelstelling aan.

**Figuur 52** TTW CO<sub>2</sub>-emissies per vervoerwijze in het scenario met volledige realisatie van alle kansrijke elektrische PMC's in het wegvervoer (kton CO<sub>2</sub>)



De procentuele bijdrage van de verschillende PMC's aan de reductie van de CO<sub>2</sub>-uitstoot van alle verkeer (ten opzichte van de totale uitstoot in 2010) is weergegeven in onderstaande tabel. In totaal kunnen alle kansrijke elektrische PMC's in het wegverkeer tot ruim 9% CO<sub>2</sub>-reductie in 2030 leiden en ruim 40% in 2050. Dit is een significant deel van de vereiste 68% reductie t.o.v. 2010 (wat overeenkomt met de doelstelling 60% ten opzichte van 1990). De PMC's voor personenauto's en bestelauto's kunnen verreweg de grootste bijdrage leveren.

**Tabel 38** TTW CO<sub>2</sub>-reductie per PMC als percentage van de totale CO<sub>2</sub>-uitstoot alle verkeer in 2010

| PMC                            | 2020        | 2030         | 2050          |
|--------------------------------|-------------|--------------|---------------|
| Personenauto (PHEV en FEV)     | 0,3%        | 4,4%         | 32%           |
| Bestelauto (PHEV en FEV)       | 0,0%        | 1,0%         | 10%           |
| Vrachtauto (PHEV en FEV)       | 0,0%        | 0,2%         | 2,1%          |
| Trekker (PHEV)                 | 0,0%        | 0,1%         | 0,9%          |
| Bus (PHEV en FEV)              | 0,1%        | 0,5%         | 1,3%          |
| Tweewielers (FEV)              | 0,1%        | 0,6%         | 1,2%          |
| Speciale voertuigen (FEV)      | 0,1%        | 0,2%         | 0,4%          |
| Mobiele werktuigen (FEV)       | 0,2%        | 0,4%         | 0,9%          |
| Binnenvaart (FEV)              | 0,0%        | 0,0%         | 0,0%          |
| Spoor (FEV)                    | 0,1%        | 0,1%         | 0,2%          |
| <b>Totaal extra elektrisch</b> | <b>0,8%</b> | <b>7,4%</b>  | <b>49%</b>    |
| Elektrisch referentie          | 1,5%        | 6,0%         | 6%            |
| <b>Totaal elektrisch</b>       | <b>2,3%</b> | <b>13,4%</b> | <b>54%</b>    |
| <b>Totaal (in kton)</b>        | <b>848</b>  | <b>4.975</b> | <b>20.511</b> |

### 6.3 Randvoorwaarden voor het energienet (kennisvraag 3.5)

|                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Vraagnummer:     | 3.5                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| Gestelde vraag:  | Wij zijn benieuwd wat de randvoorwaarden c.q. de noodzakelijke / gewenste aanpassingen aan het energienet als alle personenvoertuigen elektrisch gaan rijden. Wij weten uit ervaringsgetallen dat 15% van de totale energievraag dan door elektrisch vervoer wordt verbruikt. Klopt dit? En wat zijn de noodzakelijke aanpassingen aan het energienet? |
| Type antwoord:   | Beschrijving van verwachte impact op het elektrische energienet door omschakeling op elektrische energievoorziening van personenauto's.                                                                                                                                                                                                                |
| Uitgevoerd door: | M. Bolech, J. Laarakkers en R. Cuelenaere (TNO)                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |

#### 6.3.1 *Energiebehoefte elektrische voertuigen*

Een belangrijk punt in de vraag is de energiebehoefte die de voertuigvloot zou hebben wanneer alle personenvoertuigen elektrisch zouden zijn. En welk deel van de totale elektrische energievraag in Nederland dat in die omstandigheid zou verbruiken.

Bij volledige omzetting van de huidige personenvoertuigkilometers (in 2012: 110,5 miljard km) naar elektrisch zou een verhoging in de vraag naar elektrische energie ontstaan van circa 104 PJ (bij een gemiddelde energievraag van EVs van 940 kJ/km, conform [1]). In het jaar 2012 werd 431 PJ aan elektrische energie opgenomen in Nederland<sup>40</sup>. Met de genoemde getallen zouden de (denkbeeldig) volledig naar elektrisch omgezette personenvoertuigkilometers elektrische energie vragen die  $100\% \times 104 / (431 + 104) = 19,4\%$  van het totaal zou zijn. De in de vraag genoemde fractie van het elektrische energieverbruik (15%) komt daar dichtbij.

Naast een toenemende penetratie van elektrische voertuigen, is op een termijn van 10 à 20 jaar ook een flinke toename van warmtepompen en decentrale opwekking (bijvoorbeeld in HRe ketels) waarschijnlijk. Daardoor kan de fractie voor het laden van elektrische personenauto's in het totale elektriciteitsverbruik afnemen.

#### 6.3.2 *Impact elektrische voertuigen op elektrische net*

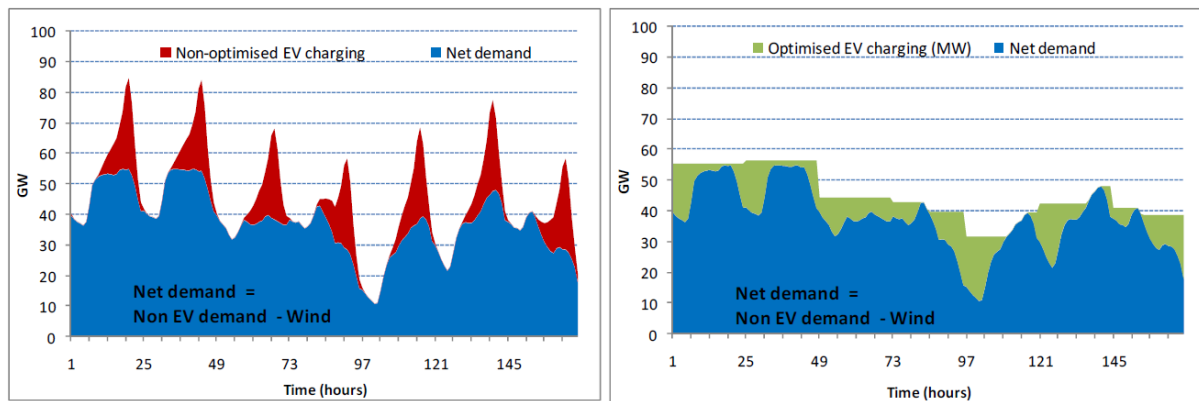
Zonder verandering in het elektrische net, zullen elektrische auto's zorgen voor hogere belasting en, bij hogere penetratiegraad van EVs, mogelijk lokaal ook overbelasting van het net. Tot 2020 lijkt dit nog niet aan de orde (doordat de aantallen elektrische auto's relatief klein blijven), maar lokaal hoge concentraties van EVs en in het bijzonder ook snellaadpalen (met circa 50 kW maximale vermogensvraag) kunnen lokaal al wel uitdagingen voor het netbeheer vormen.

Bij een hogere penetratiegraad van elektrische voertuigen wordt het wel noodzakelijk om de belasting van het elektrische net te gaan sturen of het net lokaal fysiek te verzwaken (door meer of dikkere kabels). Sturing is daarbij veelal de meest economische keuze. Om het laden van EVs te kunnen sturen, is een interactie met de gebruiker nodig. Dat kan op drie manieren:

- Tariefsignalen (zoals nachstroom): vereist geen geavanceerde ICT maar directe interactie wordt niet mogelijk, noch toont het de status van het EV (resterende energiebehoefte).
- Eenrichtingssignaal: eenvoudig systeem, maar het toont niet de status van het EV. Een laadsessie die niet 'urgent' is, kan hiermee tot de 'daluren' worden uitgesteld.
- Tweerichtingscommunicatie: vereist uitgebreide ICT, maar maakt directe interactie met het EV mogelijk en geeft inzicht in de status van het elektrische voertuig.

De keuze van een (voor de betreffende lokale situatie) adequate sturingsstrategie moet op basis van kosten/baten analyse van oplossingen met verschillende niveaus van complexiteit en verschillende marktintroductiescenario's voor elektrische voertuigen worden gemaakt.

<sup>40</sup> van de 431 PJ elektrisch verbruik in 2012 was 6,4 PJ voor vervoer (waarvan 5,0 PJ voor elektrische treinen)



**Figuur 53** Grafische weergave van door slimme vraagsturing verbeterde benutting van een elektrisch distributienet in de zwaarst belaste tijd van het jaar. Links de situatie met intermitterende opwekking (wind + zon), maar zonder sturing van EV laden (bij 100% voertuigen EV!). Maximale netlast groter dan 80 GW. Rechts: gelijke energiedoorgifte, maar met sturing van EV laden: duidelijk kleiner dan 60 GW [2].

Wanneer in bepaalde regio, ook na de implementatie van slimme sturingsstrategieën, na enige tijd toch meer netcapaciteit nodig is dan door de sturing mogelijk werd, is er nog een mogelijkheid om de capaciteit van het net verder te benutten zonder de investeringen voor een zwaarder net met hogere belastbaarheid. Door het aanleggen van (nieuwe) lokale verbindingen tussen delen van het net die eerder alleen via het hoofdnet met elkaar verknoopt waren, kan zeer veel flexibiliteit en extra capaciteit gewonnen worden. Daarbij zijn investeringen in die deelnet-verbindingen nodig, maar deze zijn nog steeds bescheiden vergeleken bij wat nodig zou zijn om het bestaande net te verzwaren.

### 6.3.3 Bronnen

- 1] "Scenarios for energy carriers in the transport sector" ref. scenario, PBL /ECN (2014)
- 2] 'Grid 4 Vehicle' project binnen 7<sup>e</sup> kader programma EU. <http://www.g4v.eu>
- 3] ProRail Jaarverslag 2012

## 6.4 Gedragsinstrumenten voor aanschaf elektrische voertuigen (kennisvraag 3.6a)

|                  |                                                                                            |
|------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|
| Vraagnummer:     | Aanvulling van vraag 3.6                                                                   |
| Gestelde vraag:  | Wat zijn instrumenten voor het stimuleren van de aanschaf van elektrische vervoersmiddelen |
| Type antwoord:   | Tabel met toelichting                                                                      |
| Uitgevoerd door: | Geerte Paradies en Guido Sluijsmans (TNO)                                                  |
|                  |                                                                                            |

Zie ook de notitie voor kennisvraag 3.6 “Kennen we gedragseffecten die duurzame transitie kunnen versnellen?”

Deze tekst is een toelichting bij de onderstaande tabel.

### **Behoeften**

Behoeften zijn concepten die aanzetten tot actie. Behoeften zien mensen namelijk graag vervuld. Een voorbeeld van een theorie over behoeften is de piramide van Maslow, waarbij fysieke behoeften het eerst vervuld dienen te worden, daarna volgen veiligheid, liefde/ergens bij horen, waardering, en als laatste zelfverbetering.

De Rebel<sup>41</sup> groep onderzocht doormiddel van focusgroepen wat toekomstige mobiliteitsbehoeften (in de vorm van waarden) zijn. Zij vonden: 1) *caring system*, zelfsturing, slim (onderzoekend, optimalisatie), stijlvol, *active aging* (voor alle generaties) en duurzaam. Daarnaast zijn er nog de meer algemene behoeften, zoals goedkoop uit zijn, bijdragen aan duurzaamheid, zich onderscheiden dan wel voldoen aan de sociale norm (past het bij mijn identiteit?), en comfort. Door duidelijk te maken aan de doelgroepen hoe een elektrisch voertuig aansluit bij deze behoeften, kan het voertuig aantrekkelijker worden voor deze doelgroepen. Hieronder worden enkele behoeften verder uitgelegd.

### *Goedkoper uit zijn*

Op dit moment wordt veel gekeken naar prijsprikkels. Dit heeft voor- en nadelen<sup>42</sup>. Hoogleraar psychologie Linda Steg waarschuwt voor deze manier van stimuleren. Ze leiden niet altijd tot verandering van gewoontegedrag, het kan intrinsieke motivatie afzwakken mensen niet sterken in hun milieuvriendelijke identiteit, en argumenten gericht op het milieu werken beter voor mensen met sterke milieuwaarden. Voordelen van werken met prijsprikkels zijn volgens Hoogleraar Economie Eric Verhoef dat ze vrijwel altijd effect hebben, en je relatief weinig hoeft te weten van je doelgroep: je ziet vanzelf wie er gebruik van wil maken.

### *Sociale behoeften: aansluiten bij eigen identiteit, onderscheiden en meedoen met de groep*

Mensen zijn geneigd zich te af te vragen in een nieuwe situatie: wat zou een person zoals ik doen in deze situatie? Ze gedragen zich graag naar hun eigen identiteit.<sup>43</sup> Wanneer zij een product waarnemen dat helemaal niet bij hun identiteit past, zijn ze minder geneigd het te kopen. Mensen vergelijken zichzelf met andere mensen. Soms willen ze zich onderscheiden en beter zijn dan andere mensen, dan zoeken ze een elektrisch voertuig dat hen prestige kan geven. Soms willen ze zich alleen maar aanpassen. Daarom zullen sommige mensen voorop lopen, terwijl anderen volgen. De sociale norm kan gedrag sterk beïnvloeden.<sup>44</sup> Zo leidt de aanwezigheid van zonnepanelen

<sup>41</sup> Rebel (2013). Toekomstige mobiliteit.

<sup>42</sup> <http://dbr.verdus.nl/pagina.asp?id=2289>

<sup>43</sup> March (1994) in Weber, Kopelman & Messick, (2004)

<sup>44</sup> Cialdini (2005), Influence.

in een buurt tot meer aankopen in deze buurt.<sup>45</sup> Dit effect is sterker naarmate mensen zich meer met de groep identificeren.

### *Comfort*

Comfort is een verzamelnaam voor alles wat aangenaam is. Het geldt vooral in vergelijking met andere opties. Comfort kan voor verschillende mensen verschillende dingen betekenen. Over het algemeen vinden mensen rust, een fijne zitplek, en stilte fijn tijdens het reizen. Voor sommige reizigers is navigatie ook onderdeel van comfort.<sup>46</sup>

### **Mogelijkheden**

Om over te gaan tot de aanschaf van een elektrisch voertuig is het van belang dat de doelgroepen weten wat de mogelijkheden zijn, en in welke mate deze mogelijkheden bijdragen aan de behoeften. Welke soort elektrische voertuigen en modellen zijn er? Draagt elektrisch rijden echt bij aan een duurzamere wereld? Hoeveel geld kun je nou eigenlijk besparen met een regeling voor elektrisch rijden? Hoe verhoudt zich dit tot andere vervoersmogelijkheden?

### **Kunnen**

Of mensen bepaald gedrag vertonen hangt ook af van of zij denken het gedrag te kunnen uitvoeren. Bij elektrisch rijden zal dit vooral gaan om opladen en *range anxiety*. Zijn er in hun ogen voldoende laadpalen? Kun je ook opladen vanuit het stopcontact?

### *Rolmodellen*

Rolmodellen kunnen bekende mensen zijn, waardoor elektrische voertuigen aandacht krijgen. Uit onderzoek naar *model-learning* blijkt echter dat het motiverender werkt wanneer zij iemand zien die op hen lijkt, waar ze zich mee kunnen identificeren. Wanneer deze persoon ook nog duidelijk beloond wordt (voordeel ondervindt), zijn rolmodellen het meest effectief.

### **Kosten/baten afweging**

Uiteindelijk maakt een persoon (al dan niet bewust) een afweging om wel of geen elektrisch voertuig te gaan rijden. Hierbij worden gepercipieerde kosten en baten afgewogen. Het gaat hierbij dus niet om de werkelijkheid, maar de manier waarop een persoon het beleeft. Zo kunnen mensen denken dat de batterijen een korte levensduur hebben, en zij steeds een nieuwe batterij moeten kopen. Als zij daarentegen wel voldoende voordelen zien kan dit opwegen tegen waargenomen nadelen.

### **Overzicht instrumenten**

Het stimuleren van ieder elektrisch voertuig heeft andere maatregelen nodig, aangezien bij ieder voertuig andere drivers en barrières een rol spelen. En een andere doelgroep. Het gedrag dat moet veranderen is die van de gene die in het vervoersmiddel zal rijden, zowel als degene die het vervoersmiddel koopt zal zijn gedrag moeten veranderen. Voor ieder aankoop/huurgedrag moet een combinatie van maatregelen genomen worden die inspelen op de **drivers en barrières die van toepassing zijn**. In de onderstaande tabel worden suggesties gedaan voor mogelijke instrumenten, onderverdeeld in de vijf voorwaarden voor gedragsverandering. (mensen moet een behoefte hebben, de mogelijkheden kennen, denken dat ze het gedrag kunnen uitvoeren, en uiteindelijk voldoende voordelen zien).

### *Randvoorwaarden*

De genoemde instrumenten hebben vaak bepaalde randvoorwaarden. Dit zijn voorwaarden waar de inzet van deze instrumenten aan moet voldoen om het meest effectief te zijn. Dit betekent dat de tabel inspiratie geeft, maar dat er bij de daadwerkelijke inzet goed gekeken moet worden naar de context, doelgroep, en mogelijke bijeffecten. Psychologen kunnen hier bij helpen.

---

<sup>45</sup> Bollinger & Gillingham (2012).

<sup>46</sup> Birao & Cabral (2007), Understanding attitudes towards public transport and private car: a qualitative study.

### Communicatie

Naast de keuze voor een combinatie van instrumenten moet rekening gehouden worden met de manier waarop gecommuniceerd wordt met de doelgroepen. Dit heeft invloed op het bereik, of mensen zich aangesproken voelen, en op de manier waarop zij de informatie interpreteren. Psychologen en communicatiedeskundigen kunnen hier bij helpen.

|                                     |           | (Mobiliteits)behoeften                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | Mogelijkheden kennen              | Kunnen                                                                                                                                                                              | Kosten/baten afweging                                                                                        |
|-------------------------------------|-----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                     | Doelgroep |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                   |                                                                                                                                                                                     |                                                                                                              |
| Personenvoertuigen zakelijk gebruik |           | <b>Goedkoop uit zijn</b> - d.m.v. belasting voordeel                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | -Communiceren over mogelijkheden  | -Rolmodellen<br>- Mensen laten uitproberen                                                                                                                                          | bieden van voordelen aan elektrische rijders<br>- dichterbij parkeren                                        |
| Personen privé gebruik              |           | <b>Duurzaamheid</b><br>- Stimuleren door koppeling aan opwek duurzame stroom<br>- duurzamere batterijen<br>- Creëer bewustzijn van probleem en de gevolgen<br>- Verander het perspectief van mensen; wijs ze bv op toekomst van hun (klein)kinderen<br>Prestige / onderscheiden<br>- inspelen op identiteit<br><b>Voldoen aan sociale norm</b><br>- gedrag nog zichtbaarder maken<br>- Geef informatie over attitudes van relevante anderen (subjectieve norm)<br><b>Comfort</b><br>- Benadrukken van comfort, stilte, trillingsvrijheid, stembediening, etc. | - Communiceren over mogelijkheden | - Rolmodellen<br>- Mensen laten uitproberen<br>-batterij service<br>- gemak van een subsidie-aanvraag<br>- bieden van korting op alternatief vervoer voor vakanties<br>- snelladers | Bieden van voordelen aan elektrische rijders:<br>- harder rijden, i.v.m. stillere auto.<br>- gratis parkeren |
| Bestelauto's                        |           | <b>Goedkoop uit zijn</b> - d.m.v. belasting voordeel                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | - Communiceren over mogelijkheden | - Rolmodellen<br>- Mensen laten uitproberen                                                                                                                                         | Bieden van voordelen aan elektrische rijders:<br>- gratis parkeren                                           |
| Lichte vracht                       |           | <b>Goedkoop uit zijn</b> - d.m.v. belasting voordeel                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | - Communiceren over mogelijkheden | - Rolmodellen<br>- Mensen laten uitproberen                                                                                                                                         |                                                                                                              |
| Taxi's                              |           | <b>Goedkoop uit zijn</b> - d.m.v. belasting voordeel<br><b>Comfort</b><br>- Benadrukken van comfort, stilte, trillingsvrijheid,                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | - Communiceren over mogelijkheden | - Rolmodellen<br>- Mensen laten uitproberen<br>-batterij service                                                                                                                    | Bieden van voordelen aan elektrische rijders:<br>- gebruik maken                                             |

|                     |  |                                                                                                                                                                                                                                                  |                                   |                                                                                  |                    |
|---------------------|--|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|--------------------|
|                     |  | stembediening, etc.                                                                                                                                                                                                                              |                                   |                                                                                  | van de spitsstrook |
| Stads- streekbussen |  | <b>Goedkoop uit zijn</b><br>- d.m.v. belasting voordeel<br><b>Publieke commitment</b><br>- Laat gemeenten zich openlijk commiteren aan elektrisch rijden<br><b>Comfort</b><br>- Benadrukken van comfort, stilte, trillingsvrijheid, fijnere geur | - Communiceren over mogelijkheden | - Rolmodellen vertellen<br>- Mensen laten uitproberen                            |                    |
| Fietsen             |  | <b>Gezondheid –</b><br>communiceren van gezondheidseffecten<br><b>Duurzaamheid –</b><br>Communiceren over bijdrage aan duurzaamheid<br><b>Prestige / onderscheiden</b><br>- inspelen op identiteit / hipper maken                                | - Communiceren over mogelijkheden | - Rolmodellen<br>Mensen laten uitproberen<br>- Veilige stallings-voorzieningen   |                    |
| Scooters            |  | <b>Prestige / onderscheiden</b><br>- inspelen op identiteit / hipper maken                                                                                                                                                                       | - Communiceren over mogelijkheden | - Rolmodellen<br>- Mensen laten uitproberen<br>- Veilige stallings-voorzieningen |                    |

## 7 Kennisvragen vanuit tafel “wegvervoer waterstof”

### 7.1 Ketenrendement van waterstofroutes (kennisvraag 4.1)

|                  |                                                                                                                           |
|------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Vraagnummer:     | 4.1                                                                                                                       |
| Gestelde vraag:  | Wat is het ketenrendement van verschillende waterstofroutes in vergelijking met bijv. elektrische en conventionele routes |
| Type antwoord:   | Tabel met korte notitie                                                                                                   |
| Uitgevoerd door: | Marcel Weeda (ECN)                                                                                                        |
|                  |                                                                                                                           |

#### 7.1.1 Aanleiding, doel en reikwijdte

Deze notitie geeft invulling aan kennisvraag 4.1 die naar voren is gekomen uit de 2<sup>e</sup> ronde brandstofafelbijeenkomsten. De vraag betreft:

‘Wat is het ketenrendement van verschillende waterstofroutes in vergelijking met bijv. elektrische en conventionele routes en wat is de potentie van experimentele routes?’

Met de indiener van de vraag, Alexander Hablé (Ministerie I&M,) is overeengekomen om toch vooral de nadruk te leggen op het eerste deel van de vraag, en de potentie van experimentele routes nog even buiten beschouwing te laten. De kans bestaat dan namelijk dat iedereen met experimentele routes gaat komen waarvan het effect meer is gebaseerd op geloof dan op harde cijfers. Het vertroebelt de discussie.

Hoewel de vraag betrekking heeft op ‘ketenrendement’, d.w.z. Well-to-Wheels, is vanuit het projectteam aangegeven vooral de Well-to-Tank cijfers in beeld te brengen. De cijfers in deze notitie zijn gebaseerd op het rapport “Well-to-wheels Analysis of Future Automotive Fuels and Powertrains in the European Context, WTT Appendix 2, Description and detailed energy and GHG balance of individual pathways”, versie 3C uit juli 2011.

#### 7.1.2 Relevante ketens voor de huidige Nederlandse situatie

In Nederland zijn er op het ogenblik een twee waterstoftankstations, met een derde in aanbouw en concrete plannen voor een vierde. Deze tankstations bevinden zich respectievelijk in Amsterdam, Helmond, Rotterdam en Arnhem.

De stations in Amsterdam en Helmond maken gebruik van productie van waterstof op locatie uit water door middel van elektrolyse (“on-site electrolysis”). Beide claimen groene waterstof door gebruik te maken van groene stroom. Zolang deze wijze van productie leidt tot extra vraag naar elektriciteit ten opzichte van een bestaande vraag die nog niet geheel is verduurzaamd, is hier op maatschappelijk niveau wel wat op af te dingen, maar als voor groene stroom wordt betaald is dit vanuit de productie gezien juist.

Het station in Rotterdam zal worden aangesloten op het waterstofpijpleidingnetwerk van Air Liquide dat zich uitstrekt van Rotterdam tot Noord-Frankrijk en in dat gebied een aantal belangrijke industriële complexen met elkaar verbindt. De pijpleiding is gevuld met waterstof dat wordt geproduceerd uit aardgas door middel van Steam Methane Reforming (“central reforming”). Hoewel bij de productie een relatief geconcentreerde stroom CO<sub>2</sub> vrijkomt wordt bij de productie (nog) geen Carbon Capture and Storage (CCS) toegepast. In verband met de nog lage CO<sub>2</sub>-prijzen is dat vooralsnog te duur. Bij stijgende prijzen is deze vorm van waterstofproductie waarschijnlijk wel een van de eerste processen waarvoor CCS zal worden beschouwd.

Ten slotte het station in Arnhem. Hier zal waterstof ter plekke worden geproduceerd met behulp van een kleinschalige reformer (“on-site reforming”). Dit type reformers betreft geheel opnieuw

ontwikkelde installaties voor efficiënte kleinschalige productie van waterstof en is niet een neerwaarts geschaalde versie van de industriële installaties. De efficiency zou dan veel te laag uitkomen. De bedoeling is dat groene waterstof gaat worden geproduceerd door reforming van groen gas. In de praktijk zal er echter geen directe koppeling zijn met een installatie voor productie van groen gas of bio-methaan. Hierbij geldt dan ook een vergelijkbare discussie over de duurzaamheid van de optie als rond productie van waterstof met groene stroom.

Het valt nog te bezien in hoeverre deze projecten representatief zijn voor de situatie dat rijden op waterstof op enige schaal tot ontwikkeling komt. Daar waar reeds een waterstofpijpleiding aanwezig is zal deze optie worden benut, maar naar verwachting zal in de eerste fase van uitrol vooral de optie centrale productie van waterstof uit aardgas met aanvoer van gecomprimeerd waterstof per truck ingezet worden. In de tweede fase zal voor de grotere stations (vanaf 1000 kg/dag) ook aanvoer van vloeibaar waterstof plaatsvinden omdat voor aanvoer van gas te veel vrachtbewegingen nodig zijn. In de fase daarna zal geleidelijke overschakeling naar duurzame bronnen plaatsvinden (elektrolyse met behulp van elektriciteit uit zon en wind) en zal voor de grotere stations langs en nabij snelwegen waarschijnlijk aanvoer per pijpleiding tot ontwikkeling komen.

### 7.1.3 Productieketens en WTT energiegebruik

In Tabel 1 geeft een opsplitsing van naar ketenonderdeel voor verschillende waterstofroutes vanaf winning van de primaire bron tot levering van waterstof aan de consument in de tank. Alle cijfers zijn ontleend aan eerder genoemd rapport, waarbij de cijfers voor de “best estimate” zijn gebruikt voor de cijfers die in de tabel staan. In het rapport worden ook een minimum en maximum waarde gegeven. In het algemeen bedraagt de bandbreedte ongeveer +/- 10%.

Voor biogas is de productie van biogas uit huishoudelijk afval en mest beschouwd en is een cijfers opgenomen voor de keten tot en met opgeschoond bio-methaan (aardgaskwaliteit). Voor elektriciteit is de keten tot en met productie en transport/distributie van elektriciteit tot aan de electrolyser in een getal samengevat voor productie op basis van verschillende bronnen, alsmede voor productie op basis van een EU-mix.

Met behulp van de ketenonderdelen zijn volledige ketens te construeren. Het totale energie-effect kan worden berekend door de bijdragen van de afzonderlijke onderdelen bij elkaar op te tellen. Hieronder volgen enkele voorbeelden:

- Aardgas 1000km - Centrale reforming - Truck transport:  $0,04 + 0,04 + 0,32 + 0,22 = 0,62 \text{ MJ/MJ}_{\text{H}_2}$
- Aardgas 7000km - Centrale reforming/CCS - Liquefactie:  $0,04 + 0,13 + 0,37 + 0,74 + 0,03 = 1,31$
- ..
- Bio-methaan - On-site reforming + compressie:  $1,00 + 0,52 + 0,24 = 1,76 \text{ MJ/MJ}_{\text{H}_2}$
- Elektriciteit EU-mix - On-site elektrolyse + compressie:  $2,85 + 0,55 + 0,19 = 3,59 \text{ MJ/MJ}_{\text{H}_2}$
- Elektriciteit wind - Centrale elektrolyse - Pijpleiding:  $0,02 + 0,54 + 0,22 = 0,78 \text{ MJ/MJ}_{\text{H}_2}$

**Tabel 39 Specifiek energiegebruik per eenheid geproduceerde waterstof**

| Keten                                        | Winning | Transport | Conversie<br>MJ <sub>x</sub> /MJ <sub>f</sub> | Liquefactie | Levering |
|----------------------------------------------|---------|-----------|-----------------------------------------------|-------------|----------|
| <b>Reforming</b>                             |         |           |                                               |             |          |
| EU-mix per pijpleiding over 1000km           | 0,04    | 0,04      |                                               |             |          |
| Per pijpleiding over 4000 km                 | 0,04    | 0,13      |                                               |             |          |
| Per pijpleiding over 7000 km                 | 0,04    | 0,28      |                                               |             |          |
| LNG                                          | 0,04    | 0,29      |                                               |             |          |
| Bio-methaan (diverse bronnen t/m             |         | 1,00      |                                               |             |          |
| On-site reforming + compressie               |         |           | 0,52                                          |             | 0,24     |
| Centrale reforming                           |         |           | 0,32                                          |             |          |
| Centrale reforming + CCS                     |         |           | 0,37                                          |             |          |
| <b>Vergassing</b>                            |         |           |                                               |             |          |
| Geteeld hout en bewerking                    | 0,06    |           |                                               |             |          |
| Rest hout en bewerking                       | 0,04    |           |                                               |             |          |
| Transport per truck                          |         | 0,01      |                                               |             |          |
| Transport per truck en schip                 |         | 0,03      |                                               |             |          |
| Grootschalige vergassing                     |         |           | 0,68                                          |             |          |
| <b>Elektriciteitsproductie</b>               |         |           |                                               |             |          |
| met aardgas over 4000 km in CCGT             |         | 1,70      |                                               |             |          |
| met aardgas over 7000 km in CCGT             |         | 2,02      |                                               |             |          |
| met aardgas via LNG in CCGT                  |         | 2,05      |                                               |             |          |
| met kolen-EU mix in centrale                 |         | 2,42      |                                               |             |          |
| met geteeld hout in conventionele centrale   |         | 3,65      |                                               |             |          |
| met geteeld hout via vergasser in CCGT       |         | 1,88      |                                               |             |          |
| met nucleair                                 |         | 4,23      |                                               |             |          |
| met EU-mix primaire bronnen                  |         | 2,85      |                                               |             |          |
| uit wind en zon                              |         | 0,02      |                                               |             |          |
| <b>Elektrolyse</b>                           |         |           |                                               |             |          |
| On-site elektrolyse + compressie             |         |           | 0,55                                          |             | 0,19     |
| Centrale elektrolyse                         |         |           | 0,54                                          |             |          |
| <b>Levering aan tankstation en consument</b> |         |           |                                               |             |          |
| Compressie + vervoer per truck of            |         |           |                                               |             | 0,22     |
| Vloeibaar maken waterstof + vervoer per      |         |           |                                               | 0,74        | 0,03     |

#### 7.1.4 Ontwikkelingen

Er is voor gekozen experimentele routes vooralsnog buiten beschouwing te laten, zoals bijvoorbeeld de directe productie van waterstof met behulp van zonlicht via de fotochemische route. Het gaat hier om een “soort PV-panelen” die zijn ondergedompeld in water. Bij het invallen van licht vindt op het oppervlak via een elektrochemische reactie directe splitsing van water plaats. Voor deze route kan het energiegebruik voor elektrolyse zoals dat in Table 1 is opgenomen geheel of grotendeels worden weggestreept zodat een hele efficiënte route ontstaat. Hoewel al enige tijd onderzoek wordt gedaan

naar deze route bevindt het onderzoek zich nog grotendeel in de laboratoriumfase waarbij het nog steeds zoeken is naar materialen met een voldoende hoog rendement en een goede levensduur. Naast dit soort experimentele route zijn er op termijn vooral nog verbeteringen te verwachten op het gebied van efficiëntere compressoren (ionic-liquid compressoren en electrochemische compressie) en efficiëntere processen

## 7.2 Waterstofketens in vergelijking met alternatieven (kennisvraag 4.2)

|                  |                                                                                                                           |
|------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Vraagnummer:     | 4.2 update (2 <sup>e</sup> versie 18/4/2014)                                                                              |
| Gestelde vraag:  | Wat is het ketenrendement van verschillende waterstofroutes in vergelijking met bijv. elektrische en conventionele routes |
| Type antwoord:   | Notitie met diverse samenvattende figuren voor WTW gegevens                                                               |
| Uitgevoerd door: | Marcel Weeda (ECN)                                                                                                        |
|                  |                                                                                                                           |

### 7.2.1 Aanleiding, doel en reikwijdte

Deze notitie geeft invulling aan kennisvraag 4.2 die naar voren is gekomen uit de 2<sup>e</sup> ronde brandstofafelbijekomsten en is een aanvulling op kennisvraag 4.1. De vraag betreft: 'Wat is het ketenrendement van verschillende waterstofroutes in vergelijking met bijv. elektrische en conventionele routes?'

Deze notitie geeft een volledig overzicht van WTW broeikasgasemissies als functie van WTW energiegebruik voor een groot aantal ketens voor inzet van waterstof in brandstofcelvoertuigen in vergelijking met ketens voor inzet van elektriciteit in elektrische auto's en inzet van benzine en diesel in diverse auto's met een verbrandingsmotor.

De cijfers in deze notitie zijn afkomstig van het rapport "Well-to-Wheels Analysis of Future Automotive Fuels and Powertrains in the European Context, WTW Report Version 4.a, JEC Well-to-Wheels Analysis, JRC technical reports, January 2014. Gezien de datum van dit rapport geeft dit de meest actuele stand van inzichten in WTW broeikasgasemissies en energiegebruik.

### 7.2.2 Energie en broeikasgas balansen voor waterstofroutes

Een groot aantal routes voor productie van waterstof is mogelijk. Onderstaande figuur is een poging overzicht te creëren in de onderlinge verhouding van de ketens en de verhouding ten opzichte van diesel en CNG.

Idealiter bevinden mobiliteitsopties voor de toekomst zich linksonder de grafiek: laag energiegebruik en lage emissies. De figuur laat zien dat waterstof goed scoort ten opzichte van diesel en CNG mits:

- Waterstof via de thermische route wordt geproduceerd uit aardgas, eventueel in combinatie met CCS
- Waterstof via de thermische route wordt geproduceerd uit biomassa
- Waterstof uit water wordt geproduceerd via elektrolyse met behulp van elektriciteit uit hernieuwbare bronnen, met name wind en zon.

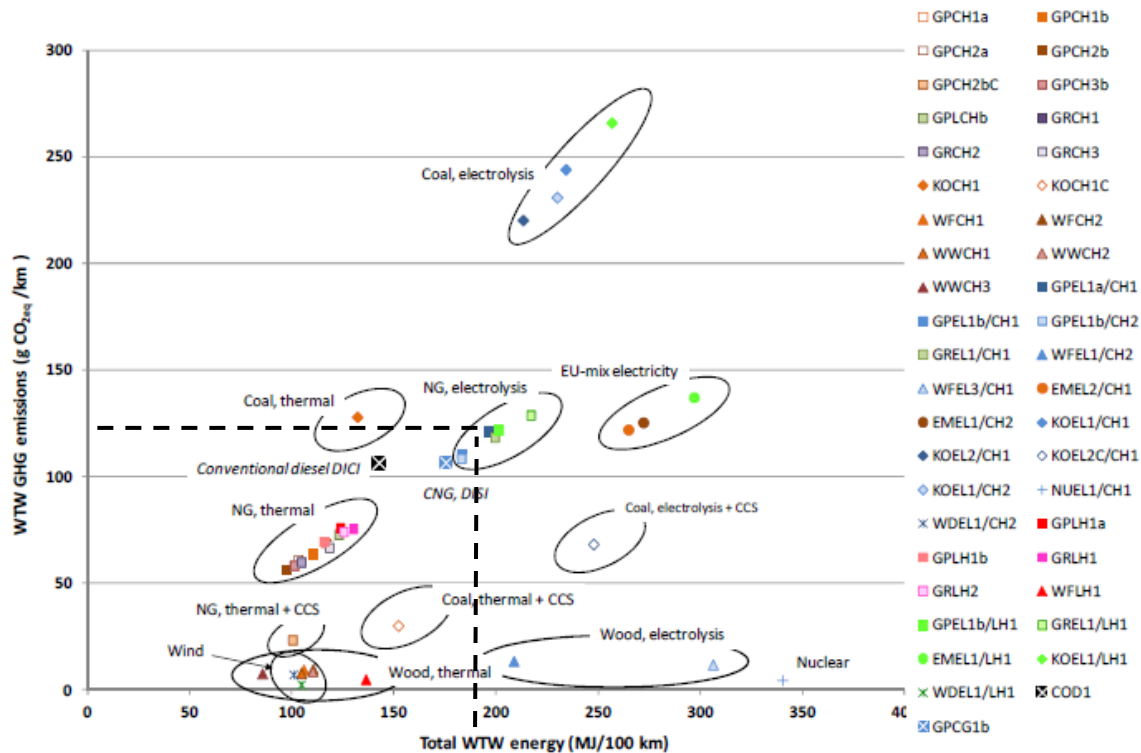


Figure 1 WTW energieverbruik en broeikasgasemissies voor 2020+ brandstofcelauto's en diverse waterstofketens (bron: JEC Well-to-Wheels analysis, Well-to-Wheels Report Version 4.a)

#### Key to pathway codes

|                                                         |                                                                                           |                   |
|---------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|
| <b>Compressed hydrogen (thermal)</b>                    |                                                                                           |                   |
| GPCH1a                                                  | NG 7000 km, on-site reforming                                                             | C-H2 NG           |
| GPCH1b                                                  | NG 4000 km, on-site reforming                                                             | C-H2 NG           |
| GPCH2a                                                  | NG 7000 km, Central reforming, Pipeline transport                                         | C-H2 NG           |
| GPCH2b                                                  | NG 4000 km, Central reforming, Pipeline transport                                         | C-H2 NG           |
| GPCH3b                                                  | NG 4000 km, Central Reforming, Road transport                                             | C-H2 NG           |
| GPLCHb                                                  | NG 4000 km, Cen Reforming, Liquefaction, Road transport, Vap/compression                  | C-H2 NG           |
| GRCH1                                                   | LNG, on-site reforming                                                                    | C-H2 NG           |
| GRCH2                                                   | LNG, Central reforming, Pipeline transport                                                | C-H2 NG           |
| GRCH3                                                   | Remote NG, methanol synthesis, sea and local transport, on-site reforming                 | C-H2 NG           |
| KOCH1                                                   | Coal EU-mix, Cen gasification, Pipeline transport                                         | C-H2 Coal         |
| KOCH1C                                                  | Coal EU-mix, Cen gasification + CCS, Pipeline transport                                   | C-H2 Coal         |
| WFCH1                                                   | Farmed Wood, on-site gasification                                                         | C-H2 F Wood       |
| WFCH2                                                   | Farmed Wood, Central gasification, Pipeline transport                                     | C-H2 F Wood       |
| WWCH1                                                   | Waste Wood, on-site gasification                                                          | C-H2 W Wood       |
| WWCH2                                                   | Waste Wood, Central gasification, Pipeline transport                                      | C-H2 W Wood       |
| WWCH3                                                   | Waste Wood, via Black Liquor                                                              | C-H2 W Wood       |
| <b>Compressed hydrogen (electrolysis)</b>               |                                                                                           |                   |
| GPCL1a/CH1                                              | NG 7000 km, CCGT, on-site electrolysis                                                    | C-H2 NG           |
| GPCL1b/CH1                                              | NG 4000 km, CCGT, on-site electrolysis                                                    | C-H2 NG           |
| GPCL1b/CH2                                              | NG 4000 km, CCGT, central electrolysis, pipeline transport                                | C-H2 NG           |
| GREL1/CH1                                               | LNG, CCGT, on-site electrolysis                                                           | C-H2 LNG          |
| WFEL1/CH2                                               | Farmed Wood, 200 MW gasification, CCGT, Central electrolysis, pipeline transport          | C-H2 F Wood       |
| WFEL3/CH1                                               | Farmed Wood, Conventional power plant, on-site electrolysis                               | C-H2 F Wood       |
| EMEL2/CH1                                               | Elec EU-mix (HV), on-site electrolysis                                                    | C-H2 EU-mix elec  |
| EMEL1/CH2                                               | Elec EU-mix (HV), central electrolysis                                                    | C-H2 EU-mix elec  |
| KOEL1/CH1                                               | Coal EU-mix, conventional, on-site electrolysis                                           | C-H2 Coal         |
| KOEL2/CH1                                               | Coal EU-mix, IGCC, on-site electrolysis                                                   | C-H2 Coal         |
| KOEL2C/CH1                                              | Coal EU-mix, IGCC + CCS, on-site electrolysis                                             | C-H2 Coal         |
| WDEL1/CH2                                               | Wind electricity, central electrolysis, Pipeline transport                                | C-H2 Wind         |
| NUEL1/CH1                                               | Nuclear electricity, on-site electrolysis                                                 | C-H2 Nuclear      |
| <b>Liquid / cryo-compressed hydrogen (thermal)</b>      |                                                                                           |                   |
| GPLH1b                                                  | NG 7000 km, Cen Reforming, Liquefaction, Road transport                                   | Cc-H2 NG          |
| GPLH1b                                                  | NG 4000 km, Cen Reforming, Liquefaction, Road transport                                   | Cc-H2 NG          |
| GRUH1                                                   | Reforming and liquefaction at source, sea and local transport                             | Cc-H2 NG          |
| GRUH2                                                   | LNG, Central reforming, Liquefaction, Road transport                                      | Cc-H2 NG          |
| WFLH1                                                   | NG 4000 km, CCGT, Cen Ely, Uq, Road                                                       | Cc-H2 F Wood      |
| <b>Liquid / cryo-compressed hydrogen (electrolysis)</b> |                                                                                           |                   |
| GPCL1b/LH1                                              | LNG, Ely                                                                                  | Cc-H2 NG          |
| GREL1/LH1                                               | F Wood, 200 MW gasif, CCGT, Cen Ely, Uq, Road                                             | Cc-H2 NG          |
| EMEL1/LH1                                               | Elec EU-mix (HV), Central electrolysis, Liquefaction, Road transport                      | Cc-H2 EU-mix elec |
| KOEL1/LH1                                               | Coal EU-mix, conventional power plant, Central Electrolysis, Liquefaction, Road transport | Cc-H2 Coal        |
| WDEL1/LH1                                               | Wind electricity, Central Electrolysis, Liquefaction, Road transport                      | Cc-H2 Wind        |

#### Energie en broeikasgas balansen voor NIET-waterstofroutes en NIET-elektriciteitsroutes

Figuur 2 is qua dimensies vergelijkbaar met figuur 1, maar geeft nu een overzicht van energieverbruik en broeikasgasemissies voor alle brandstoffen, exclusief waterstof en elektriciteit. Inzet van brandstoffen is getoond voor 2020+ auto's, maar voor benzine en diesel zijn ook de 2010 varianten ingetekend. Het hoekpunt van de gestippelde lijnen wordt gevormd door de 2010-benzineauto. Net

als voor de waterstofketens is duidelijk dat het effect van een alternatieve brandstof sterk afhankelijk is van de exacte keten. In z'n algemeenheid scoren de alternatieve brandstoffen op het gebied van broeikasgasemissies vergelijkbaar of beter dan de conventionele brandstoffen benzine en diesel. LPG en CNG zijn ook qua energiegebruik vergelijkbaar, maar de energie-intensiteit van de op biomassa gebaseerde ligt gemiddeld duidelijk hoger.

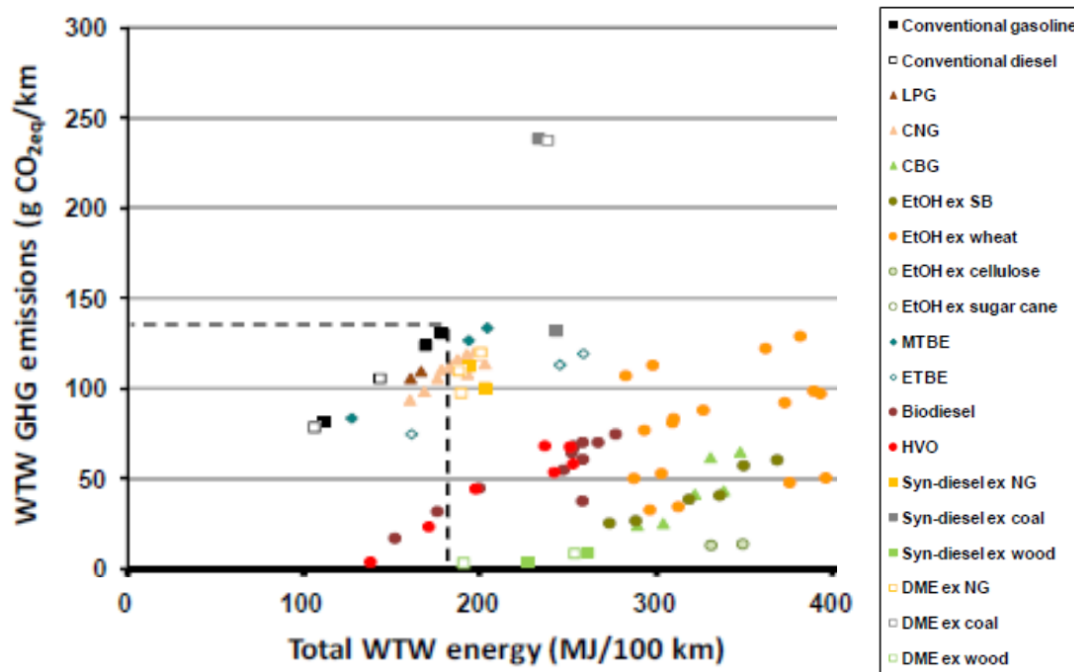


Figure 2 WTW energiegebruik en broeikasgasemissies voor NIET-waterstofketens in 2020+ auto's met een verbrandingsmotor (bron: JEC Well-to-Wheels analysis, Well-to-Wheels Report Version 4.a)

Vergelijking van figuur 1 en figuur 2 laat zien dat:

- LPG en CNG routes sterk vergelijkbaar zijn met benzine en diesel. Als er al winst is te behalen dan is deze marginaal.
- De broeikasgasemissies van op biomassa gebaseerde brandstoffen is sterk afhankelijk van de exacte route, maar lijkt gemiddeld genomen lager te liggen dan de emissies van benzine, diesel, LPG en CNG. De energie efficiency van op biomassa gebaseerde brandstoffen ligt echter duidelijk lager dan die van de fossiele brandstoffen.
- Ten opzichte van inzet van LPG, CNG en biobrandstoffen in verbrandingsmotoren biedt de inzet van waterstof in brandstofcel elektrische auto's relatief veel mogelijke ketens die betere prestaties laten zien voor zowel broeikasgas-emissies als energie efficiency dan benzine en diesel.

### 7.2.3 Energie en broeikasgas balansen voor elektriciteit in volledig batterij elektrische auto's

Figuur 3 geeft een overzicht van broeikasgasemissies en energiegebruik voor inzet van elektriciteit in volledig batterij elektrische auto's voor een reeks van mogelijke elektriciteitsketens. De ketens zijn vergeleken met benzine en diesel, en zijn alle voor 2020+ auto's. Ook hier is duidelijk dat het effect sterk afhangt van de precieze keten.

De waarden zouden kunnen worden ingetekend in figuur 1 of figuur 2. Wanneer dit wordt gedaan dan is duidelijk dat de meest ketens binnen het gestippelde vlak vallen dat in beide figuren is opgenomen. Qua energie-efficiency zijn de cijfers gemiddeld genomen vergelijkbaar of iets beter dan voor benzine, diesel en waterstof. De specifieke WTW broeikasgasemissies zijn duidelijk beter dan die voor benzine en diesel en liggen gemiddeld iets onder die voor waterstof, hoewel duidelijk is dat ook voor

elektriciteit de minimale waarden richting WTW nul-emissie alleen gehaald worden wanneer wordt uitgegaan van inzet van volledig hernieuwbare bronnen.

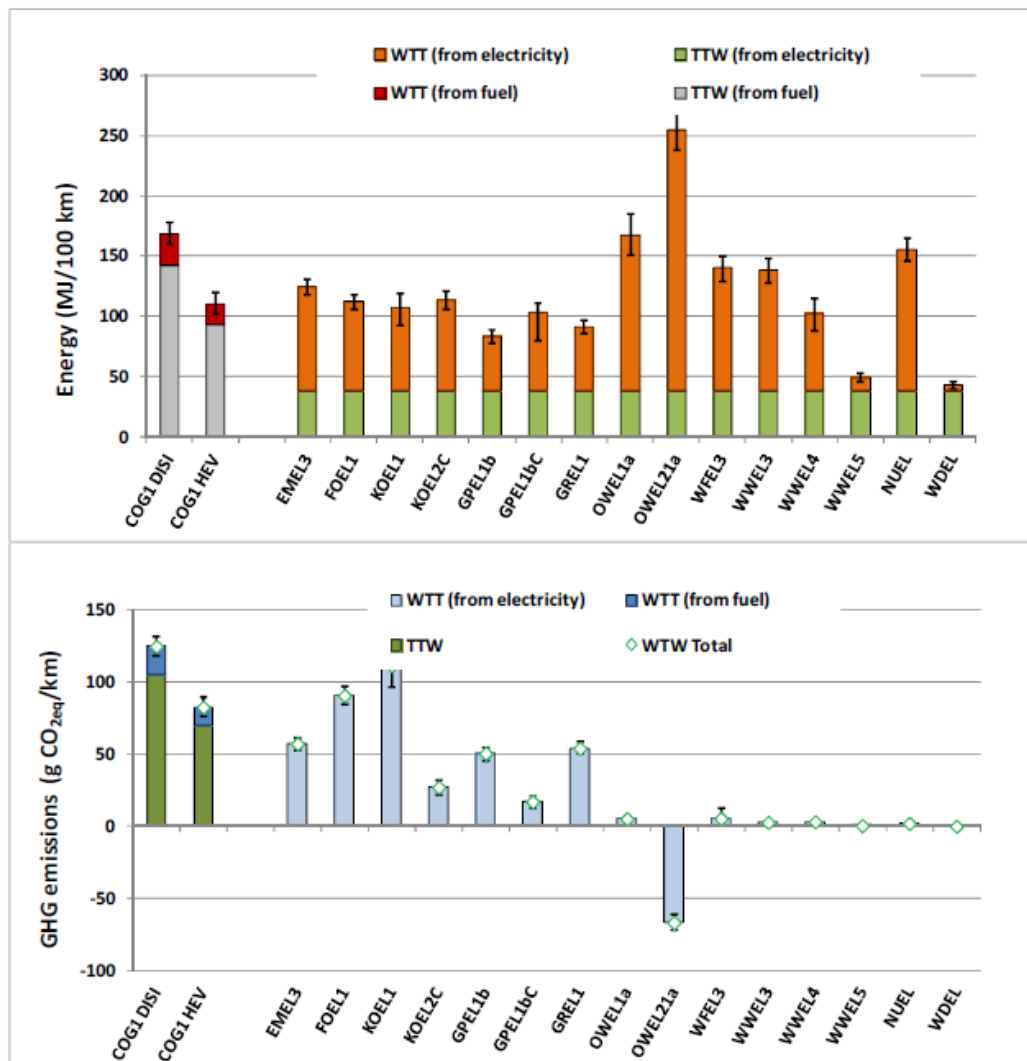


Figure 3 WTW energieverbruik en broeikasgasemissies voor 2020+ batterij-auto's en diverse ketens voor productie van elektriciteit (bron: JEC Well-to-Wheels analysis, Well-to-Wheels Report Version 4.a)

#### Key to electricity pathway codes

| Base vehicle fuel |                                                       |
|-------------------|-------------------------------------------------------|
| COG1              | Conventional gasoline                                 |
| Electricity       |                                                       |
| EMEL3             | EU-mix (LV)                                           |
| FOEL1             | Heavy fuel oil, conventional power plant              |
| KOEL1             | Hard coal (EU-mix), conventional power plant          |
| KOEL2C            | Hard coal (EU-mix), IGCC + CCS                        |
| GPEL1b            | Piped natural gas (4000 km), CCGT                     |
| GPEL1bC           | Piped natural gas (4000 km), CCGT + CCS               |
| GREL1             | LNG, CCGT                                             |
| OWEL1a            | Municipal waste (closed digestate storage), small CHP |
| OWEL21a           | Manure (closed digestate storage), small CHP          |
| WFEL3             | Wood (farmed), small conventional                     |
| WWEL3             | Wood (waste), small conventional                      |
| WWEL4             | Wood (waste), cofiring coal plant                     |
| WWEL5             | Black liquor                                          |
| NUEL              | Nuclear                                               |
| WDEL              | Wind                                                  |

#### 7.2.4 Doelmatigheid van inzet van middelen voor het vermijden van CO<sub>2</sub>-emissie

Naast vergelijking van WTW cijfers zijn ook andere vergelijkingen illustratief zoals:

- Hoeveel CO<sub>2</sub>-emissie is te vermijden met inzet van een MJ aardgas op diverse manieren
- Hoeveel CO<sub>2</sub>-emissie is te vermijden met de inzet van een hectare opbrengst aan biomassa-energiegewas
- Hoeveel CO<sub>2</sub>-emissie is te vermijden met de inzet van elektriciteit uit wind

In Figuur 4 wordt vergeleken hoeveel CO<sub>2</sub>-emissie is te vermijden met diverse manieren van inzet van een MJ aardgas. Getoond zijn:

- Waterstof uit water via elektrolyse met behulp van elektriciteit uit aardgas (Combined Cycle Gas Turbine) in een brandstofcelauto ten opzichte van een 55/45% mix van benzine en diesel in een verbrandingsmotor (2020+ auto's)
- Waterstof uit aardgas via grootschalige reforming in een brandstofcelauto ten opzichte van een 55/45% mix van benzine en diesel in een verbrandingsmotor (2020+ auto's)
- Synthetische diesel uit aardgas (Gas-to-Liquid) in een verbrandingsmotor ten opzichte van een 55/45% mix van benzine en diesel in een verbrandingsmotor (2020+ auto's)
- Directe inzet van aardgas (CNG) in een verbrandingsmotor ten opzichte van een 55/45% mix van benzine en diesel in een verbrandingsmotor (2020+ auto's)
- Inzet van aardgas voor de productie van elektriciteit (CCGT) ten opzichte van productie van elektriciteit met steenkool in een state-of-the-art kolencentrale.

De resultaten zijn voor representatieve, maar specifieke ketens. Omdat vele ketens mogelijk zijn moeten de resultaten worden gezien als ordegrrootte.

De resultaten geven aan dat inzet van waterstof uit aardgas in een brandstofcelauto veel meer CO<sub>2</sub> vermijdt per MJ aardgas die wordt ingezet, dan directe inzet van aardgas in een verbrandingsmotor. De gecombineerde efficiency van waterstofproductie en brandstofcelauto is beter dan de relatief lage efficiency van een verbrandingsmotor. De hoeveelheid CO<sub>2</sub> die kan worden vermeden is vergelijkbaar met vervanging van kolen door gas voor productie van elektriciteit. Met productie van elektriciteit uit aardgas en gebruik van de elektriciteit voor productie van waterstof via elektrolyse verdampt de winst ten opzichte van directe inzet van aardgas. Directe productie van aardgas via de thermische route verdient daarom de voorkeur. In beide gevallen is overigens CCS mogelijk (bij productie van waterstof en elektriciteit) mocht opslag van CO<sub>2</sub> in praktijk worden gebracht.

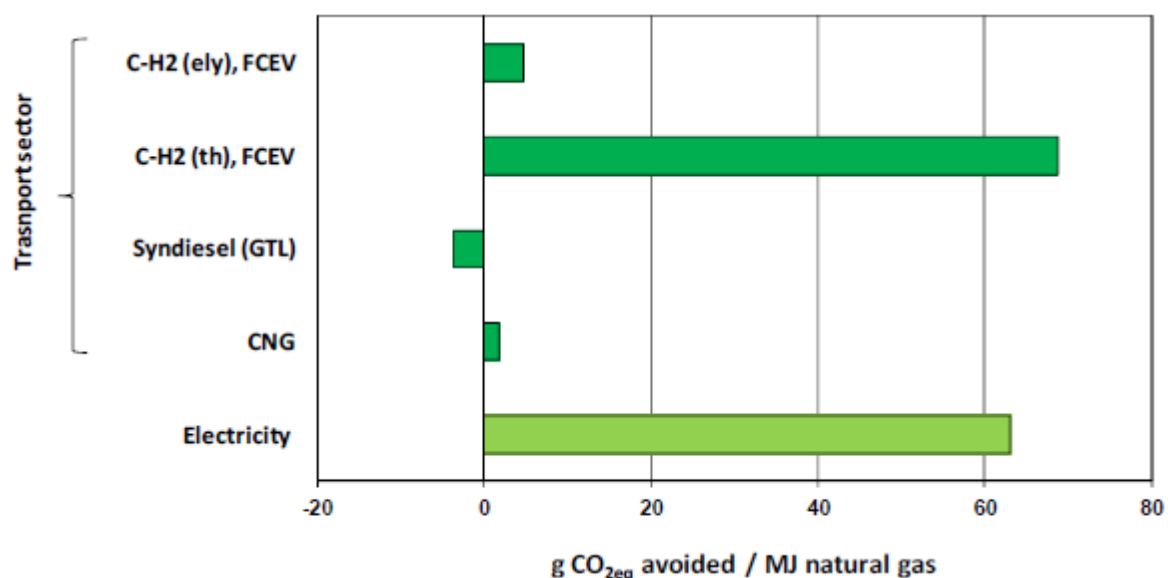


Figure 4 Vermijding van CO<sub>2</sub> emissies via diverse alternatieven voor inzet van aardgas (bron: JEC Well-to-Wheels analysis, Well-to-Wheels Report Version 4.a)

Figuur 5 geeft een indicatie voor effectiviteit van inzet van landoppervlak. De resultaten laten zien dat de inzet van de opbrengst van een hectare biomassateelt voor de productie van elektriciteit en waterstof, en de inzet van die elektriciteit en waterstof in respectievelijk een batterij- en brandstofcel-elektrische auto een veel grotere vermijding van CO<sub>2</sub> emissie oplevert dan omzetting van die van die biomassa in biobrandstoffen en inzet daarvan in verbrandingsmotoren. Dat is nog ongeacht het verschil in overige emissies; batterij- en brandstofcel-elektrische auto's zijn helemaal nul-emissie (op deel fijn stof van banden na) terwijl verbrandingsmotoren nog een reeks van schadelijk emissies kennen die bijdragen tot luchtkwaliteitsproblemen.

Door de efficiëntere inzet van energie via de elektriciteitsroute en de brandstofcelroute kunnen er veel meer kilometers gehaald worden uit een hectare biomassa dan wanneer die via biobrandstoffen wordt ingezet in een verbrandingsmotor. Een vergelijking die hier niet is gemaakt, maar in dit verband ook illustratief zal zijn is om ook inzet van de energieopbrengst van een hectare zin-PV of een hectare wind(turbines) mee te nemen. Van biomassa is bekend dat ordegrrootte 1% van het invallende zonlicht wordt omgezet in biomassa-energie. De efficiency van zonnepanelen ligt in de orde van 10-20%. Dat betekent dat met de opbrengst van een hectare zon-PV vele malen verder kan worden gereden dan met de opbrengst van biomassa van een hectare. Wind zit hier tussenin.

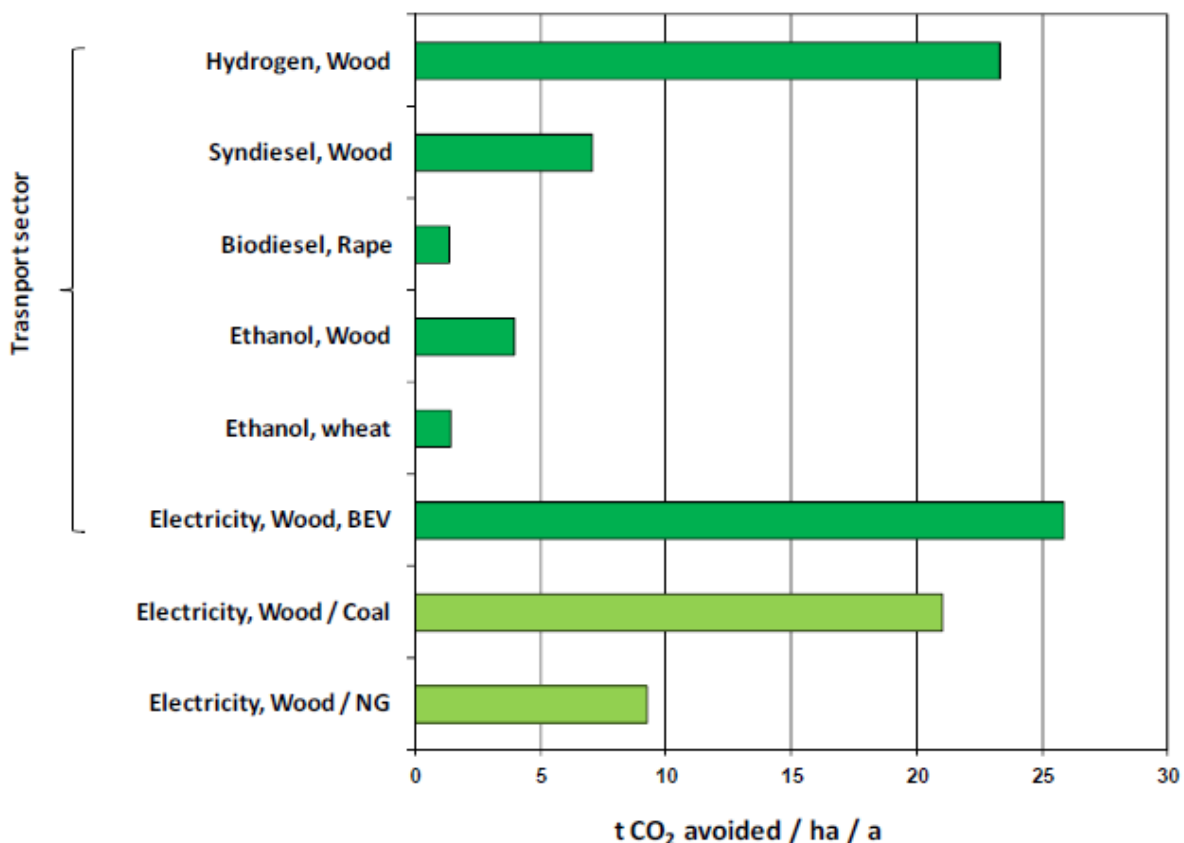


Figure 5 Vermijding van CO<sub>2</sub> emissies via diverse alternatieven voor inzet van aardgas (bron: JEC Well-to-Wheels analysis, Well-to-Wheels Report Version 4.a)

Tot slot geeft Figuur 6 een beeld van de CO<sub>2</sub> winst die is te behalen met de inzet van een MJ wind elektriciteit. Overduidelijk is dat de elektriciteit het best kan worden ingezet als elektriciteit zodat het een MJ elektriciteit geproduceerd met steenkool of aardgas kan vervangen. Voor transport-toepassingen geldt in het verlengde hiervan ook dat elektriciteit het meest efficiënt direct als elektriciteit in een voertuig kan worden ingezet. Echter:

- Volledig batterij elektrische auto's hebben een beperkte actieradius en dat vormt voor een aanzienlijk deel van de markt een (te) grote beperking<sup>47</sup>
- Opladen van elektrische auto's kost veel tijd zelfs wanneer dit gebeurt via snelladen; in het laatste geval wordt de batterij ook maar tot ca. 80% gevuld waardoor niet de volledige batterijcapaciteit kan worden benut hetgeen ten koste gaat van de actieradius
- Lang niet iedereen kan thuisladen en nog veel onduidelijkheid over wenselijkheid, economische haalbaarheid en aantal (beschikbaarheid) van oplaadpunten in de publieke ruimte

Kortom batterij-elektrische auto's zijn een prima optie, maar waarschijnlijk niet een alternatief voor de gehele markt. Waterstof vormt een volledige nul-emissie optie die in principe wel een alternatief kan zijn voor de gehele markt, en in ieder geval het deel van de markt kan bedienen dat behoefte heeft aan auto's met een actieradius van 400 – 600 km, en mogelijk zelfs meer.

Vanuit een ander perspectief vormt daarnaast steeds verdergaande integratie van energie uit wind en zon in het energiesysteem een uitdaging. Beide bronnen zijn niet te controleren en de opbrengst is variabel. Voor de kortere termijn zijn er diverse manieren om de integratie te faciliteren, maar bij vergaande integratie van zon en wind zijn een aantal van die manieren zeker niet meer toereikend en vormt buffering van energie uit wind en zon in de vorm van waterstof een serieuze optie. Waterstof biedt maximale flexibiliteit voor het energiesysteem in termen van:

- Verschuiving van energie in de tijd; opslag gas veel eenvoudiger en op veel grotere schaal te realiseren dan optie voor "opslag van elektriciteit" (vliegwielen, batterijen, Pumped Hydro Storage, Compressed Air Energy Storage, ..)
- Verplaatsing van energie naar diverse locaties; transport en distributie van gas is eenvoudiger en een ordegrrootte goedkoper dan transport en distributie van elektriciteit.
- Verschuiving naar eindtoepassing; waterstof kan niet alleen worden ingezet voor productie van elektriciteit, maar kan ook worden ingezet als:
  - o Energiedrager voor de transportsector; auto's en bestelauto's, maar ook bussen en vrachtauto's (elektriciteitsproductie aan boord van een auto m.b.v. een brandstofcel)
  - o Vervanging van fossiel waterstof in de industrie; op het ogenblik worden grote hoeveelheden waterstof geproduceerd uit aardgas voor productie van kunstmest, voor raffinage van aardolie brandstoffen, in de petrochemie etc. etc.
  - o Voor de productie van hoge temperatuurproceswarmte in de industrie
  - o Voor vergroening van aardgas via bijmenging, en op termijn wellicht zelfs vervanging van aardgas in delen van het aardgassysteem.

Figuur 6 laat zien dat wanneer de omstandigheden zodanig zijn dat waterstofproductie met elektriciteit uit wind (en zon) een rol kan vervullen, directe inzet van waterstof in voertuigen vanuit het oogpunt van CO<sub>2</sub>-emissiereductie is te verkiezen boven gebruik van die waterstof voor productie van synthetische koolwaterstofbrandstoffen en inzet daarvan in verbrandingsmotoren.

---

<sup>47</sup> Doorbraken in batterijtechnologie zijn niet in zicht waardoor de beperking van actieradius voor de gemiddelde auto voorlopig zal blijven

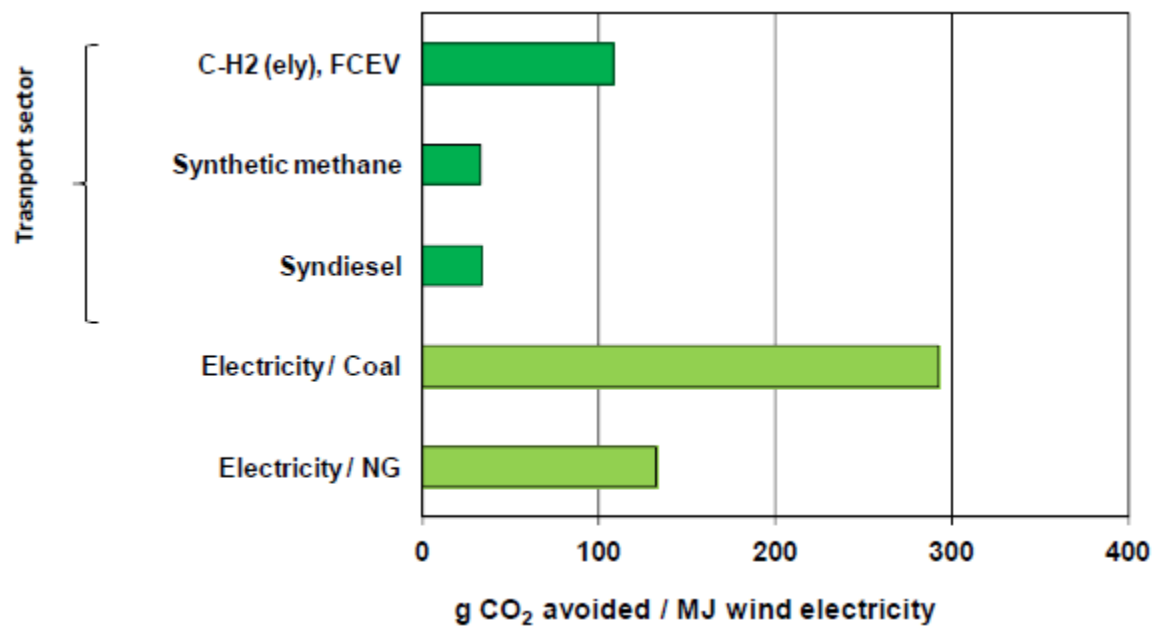


Figure 6 Indicatie van potentieel voor vermijding van CO<sub>2</sub> emissies via diverse alternatieven voor inzet van wind-elektriciteit (bron: JEC Well-to-Wheels analysis, Well-to-Wheels Report Version 4.a)

## 8 Kennisvragen vanuit tafel “Scheepvaart”

### 8.1 CO2 emissies scheepvaart, incl. Well-to-Propellor (kennisvraag 5.1 en 5.2)

|                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|---------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Brandstoffafel:     | Scheepvaart                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| Gestelde vraag:     | Vraag 3: De achtergrond c.q. criteria benoemen die zijn gebruikt voor de inschatting van het brandstofspoor 2030<br>Vraag 4: Overzicht CO2 emissies voor de scheepvaart op basis van de IPCC definitie en op basis van de bunker volumes<br><br>Additionele vraag:<br>Het toevoegen van de Well to Propellor CO2 emissies |
| Type antwoord:      | Toelichting en tabel(len)                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| Uit te voeren door: | Ruud Verbeek                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |

In deze notitie zijn twee vragen gecombineerd: achtergronden bij de startdocumenten die gebruikt zijn en het overzicht van CO2 emissies.

#### 8.1.1 De achtergrond c.q. criteria die zijn gebruikt voor de inschatting van het brandstofspoor 2030:

Antwoord:

Het zijn globale schattingen met de volgende achtergrond:

- De olieprijs gaat niet sterk stijgen
- Weinig stuurmogelijkheden vanuit de overheid voor stimulering alternatieve brandstof bij scheepvaart (geen accijnzen e.d.)
- Voor biobrandstof is uitgegaan van:
  - o Direct geschikt als dieselvervanger of als blend in diesel
  - o Beschikbare hoeveelheid
- LNG:
  - o Bovenkant range: wat is er nodig om het scenario passende te krijgen
  - o Rekening houdend met:
    - Vervangings-rate / ombouw-rate
    - Marktstimulering is vrijwel uitsluitend op basis van gunstige LNG prijs.

#### 8.1.2 Overzicht CO2 emissies voor de scheepvaart op basis van de IPCC definitie en op basis van de bunker volumes

Antwoord:

In de onderstaande tabel is een overzicht gegeven van de CO2 emissie van de verschillende transport segmenten. Zowel de Tank to Propellor (TTP) als ook de Well to Propellor (WTP) CO2 emissies zijn gegeven. Het bovenste deel van de tabel (kolom CO2 emissie Tank to Propellor) omvat de officiële getallen welke volgens de IPCC definitie aan Nederland worden toegerekend. Het gaat dan bijvoorbeeld om de zeevaart en de binnenvaart op het Nederlandse continentale plat. Volgens deze definitie neemt de scheepvaart 18% van de CO2 voor zijn rekening.

In het onderste deel van de tabel zijn de CO2 emissies gegeven op basis van de bunker volumes van Rotterdam. Aangezien Rotterdam een grote bunkerhaven is, leidt de zeescheepvaart tot een grote additionele CO2 emissie. Het komt er op neer dat de aan Nederland gerelateerde CO2 emissie voor

transport met ca 70% tot 80% toeneemt. Deze additionele CO2 emissie wordt dus niet meegerekend voor de nationale doelstelling.

Als het onderste en bovenste deel van de tabel vergeleken worden, dan kan nog het volgende opgemerkt worden:

- De CO2 op basis van de bunkerhoeveelheid voor de binnenvaart is 25% hoger dan de CO2 voor alleen de vaarprestatie in Nederland van het CBS. Dit zou wel kunnen kloppen.
- De bunker hoeveelheid van MGO lijkt aan de lage kant, omdat de CO2 voor visserij, zeevaart binnengaats plus zeevaart op Nederlandse continentale plat groter is dan de CO2 van de MGO Rotterdam. Waarschijnlijk wordt op andere locaties nog flink gebunkerd of wordt gedeeltelijk op MDO gevaren.

**Tabel 2. Overzicht formele CO2 emissies van de verschillende transport segmenten en voor de scheepvaart eveneens op basis van de bunkervolumes.**

| 2012                                        | Brandstof    | CO2<br>Well to<br>Propellor | CO2<br>Tank to Propellor |                                           |
|---------------------------------------------|--------------|-----------------------------|--------------------------|-------------------------------------------|
|                                             | mln kg       | mln kg                      | mln kg                   | %                                         |
| <b>CBS - statline data</b>                  |              |                             |                          |                                           |
| Totaal wegverkeer                           | 9889         | 38171                       | 31150                    | 73%                                       |
| Totaal spoorwegen                           | 25           | 98                          | 80                       | 0%                                        |
| Totaal mobiele werktuigen                   | 870          | 3358                        | 2740                     | 6%                                        |
| Totaal binnenvaart                          | 663          | 2561                        | 2090                     | 5%                                        |
| Visserij                                    | 105          | 404                         | 330                      | 1%                                        |
| Zeevaart binnengaats                        | 463          | 1789                        | 1460                     | 3%                                        |
| Zeevaart op Nederlands<br>Continentaal Plat | 1235         | 4767                        | 3890                     | 9%                                        |
| Overig mobiele bronnen                      | 229          | 882                         | 720                      | 2%                                        |
| <b>Totaal</b>                               | <b>13479</b> |                             | <b>42460</b>             | <b>100%</b>                               |
|                                             |              |                             |                          |                                           |
| <b>Gebaseerd op bunker volumes</b>          |              |                             |                          | <b>T.o.v.<br/>totaal<br/>Ned.<br/>CO2</b> |
| Binnenvaart Nederland                       | 827          | 3192                        | 2605                     | 6%                                        |
| Rotterdam stookolie (HFO/MDO)               | 10340        | 39499                       | 33398                    | 79%                                       |
| Rotterdam MGO                               | 550          | 2123                        | 1733                     | 4%                                        |

## Bijlage A: Brandstofroutes en karakteristieken (bij kennisvraag 8.1)

| Categorie | Energie-drager   | Grondstof                  | Proces                                                                                                                                                        | WTT                         |                                |                                | TTW (personeervoertuigen)   |                 |                 | WTW (personeervoertuigen)   |                              |                              |
|-----------|------------------|----------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|--------------------------------|--------------------------------|-----------------------------|-----------------|-----------------|-----------------------------|------------------------------|------------------------------|
|           |                  |                            |                                                                                                                                                               | WTT Energiegebruik<br>MJ/MJ | WTT GHG (excl<br>ILUC)<br>g/MJ | WTT GHG (incl<br>ILUC)<br>g/MJ | TTW Energiegebruik<br>MJ/km | TTW GHG<br>g/MJ | TTW GHG<br>g/km | WTW Energiegebruik<br>MJ/km | WTW GHG (ex<br>ILUC)<br>g/km | WTW GHG (in<br>ILUC)<br>g/km |
| Vloeibaar | Benzine          | Aardolie                   | Raffinage                                                                                                                                                     | 0.17                        | 14.1                           | 14                             | 2.1                         | 72              | 153             | 2.5                         | 183                          | 183                          |
|           |                  | Teerzanden                 | Raffinage +                                                                                                                                                   | ?                           | ?                              | ?                              | 2.1                         | ?               | ?               | ?                           | ?                            | ?                            |
|           |                  | Schalie olie               | Raffinage +                                                                                                                                                   | ?                           | ?                              | ?                              | 2.1                         | ?               | ?               | ?                           | ?                            | ?                            |
|           |                  | Biocrude                   | Raffinage                                                                                                                                                     | ?                           | ?                              | ?                              | 2.1                         | ?               | ?               | ?                           | ?                            | ?                            |
|           | Diesel           | Aardolie                   | Raffinage                                                                                                                                                     | 0.19                        | 16.7                           | 17                             | 1.9                         | 73              | 140             | 2.3                         | 172                          | 172                          |
|           |                  | Teerzanden                 | Raffinage +                                                                                                                                                   | ?                           | ?                              | ?                              | 1.9                         | ?               | ?               | ?                           | ?                            | ?                            |
|           |                  | Schalie olie               | Raffinage +                                                                                                                                                   | ?                           | ?                              | ?                              | 1.9                         | ?               | ?               | ?                           | ?                            | ?                            |
|           |                  | Biocrude                   | Raffinage                                                                                                                                                     | ?                           | ?                              | ?                              | 1.9                         | ?               | ?               | ?                           | ?                            | ?                            |
|           | Ethanol          | Suikerriet                 | Stengels persen, sap fermenteren en ethanol uitkoken                                                                                                          | 1.32                        | 9.2                            | 23                             | 2.1                         | 0               | 0               | 4.9                         | 20                           | 49                           |
|           |                  | Suikerbiet                 | Bieten persen, sap fermenteren en ethanol uitkoken. Bietenpulp voor veevoeder                                                                                 | 1.24                        | 27.2                           | 32                             | 2.1                         | 0               | 0               | 4.7                         | 58                           | 69                           |
|           |                  |                            | Bieten persen, sap fermenteren en ethanol uitkoken. Bietenpulp voor biogasproductie                                                                           | 0.92                        | 17.8                           | 23                             | 2.1                         | 0               | 0               | 4.1                         | 38                           | 49                           |
|           |                  | Granen (hier alleen tarwe) | Granen koken, zetmeel hydrolyseren, suikeroplossing fermenteren, ethanol uitkoken. Distiller grains voor veevoeder                                            | 1.62                        | 65.0                           | 82                             | 2.1                         | 0               | 0               | 5.6                         | 138                          | 174                          |
|           |                  |                            | Granen koken, zetmeel hydrolyseren, suikeroplossing fermenteren, ethanol uitkoken. Distiller grains voor biogasproductie of brandstof                         | 1.02                        | 35.0                           | 52                             | 2.1                         | 0               | 0               | 4.3                         | 74                           | 111                          |
|           |                  |                            | Houtachtige biomassa                                                                                                                                          | 1.97                        | 20.0                           | ?                              | 2.1                         | 0               | 0               | 6.3                         | 42                           | ?                            |
|           |                  | Stro                       | Stro afbreken, cellulose en hemicellulose hydrolyseren, suikeroplossing fermenteren, ethanol uitkoken.                                                        | 1.95                        | 11.0                           | ?                              | 2.1                         | 0               | 0               | 6.3                         | 23                           | ?                            |
|           |                  |                            |                                                                                                                                                               |                             |                                |                                |                             |                 |                 |                             |                              |                              |
|           | FAME (biodiesel) | Koolzaad                   | Persen koolzaad zaden, olie omestering en perskoek voor diervoeder en glycerine als veevoeder of chemische grondstof                                          | 1.15                        | 57.0                           | 111                            | 1.9                         | 0               | 0               | 4.1                         | 109                          | 212                          |
|           |                  |                            | Persen koolzaad zaden, olie omestering en perskoek en glycerine voor biogasproductie                                                                          | 0.68                        | 37.0                           | 91                             | 1.9                         | 0               | 0               | 3.2                         | 71                           | 174                          |
|           |                  | Palmolie                   | Oliehoudende noten koken en persen, olie omesteren. Palmpit voor diervoeder, glycerine voor biogas en geen CH4-afvang, geen gebruik notenresten als brandstof | 1.33                        | 63.0                           | 107                            | 1.9                         | 0               | 0               | 4.5                         | 120                          | 203                          |
|           |                  |                            | Oliehoudende noten koken en persen, olie omesteren. Palmpit voor diervoeder, glycerine voor biogas en 2) geen CH4-afvang, notenresten als brandstof           | 1.18                        | 51.0                           | 95                             | 1.9                         | 0               | 0               | 4.2                         | 97                           | 180                          |
|           |                  |                            | Oliehoudende noten koken en persen, olie omesteren. Palmpit voor diervoeder, glycerine voor biogas en CH4-afvang, notenresten als brandstof                   | 1.17                        | 31.0                           | 75                             | 1.9                         | 0               | 0               | 4.1                         | 59                           | 142                          |
|           |                  |                            | Waste cooking oil                                                                                                                                             | 0.28                        | 13.8                           | 14                             | 1.9                         | 0               | 0               | 2.4                         | 26                           | 26                           |
|           |                  | Dierlijk vet (talg)        | Zuiveren en omesteren                                                                                                                                         | 0.48                        | 26.3                           | 26                             | 1.9                         | 0               | 0               | 2.8                         | 50                           | 50                           |
|           |                  |                            |                                                                                                                                                               |                             |                                |                                |                             |                 |                 |                             |                              |                              |
|           | HVO              | Koolzaad                   | Persen koolzaad zaden, olie hydrogeneren en perskoek voor diervoeder                                                                                          | 1.06                        | 57.0                           | 112                            | 1.9                         | 0               | 0               | 3.9                         | 109                          | 214                          |
|           |                  |                            | Persen koolzaad zaden, olie hydrogeneren en perskoek voor biogasproductie                                                                                     | 0.66                        | 37.0                           | 92                             | 1.9                         | 0               | 0               | 3.2                         | 71                           | 176                          |
|           |                  | Palmolie                   | Oliehoudende noten koken en persen, olie hydrogeneren. Palmpit voor diervoeder, glycerine voor biogas en geen CH4-afvang, notenresten als brandstof           | 1.13                        | 48.6                           | 104                            | 1.9                         | 0               | 0               | 4.1                         | 93                           | 198                          |
|           |                  |                            | Waste cooking oil                                                                                                                                             | 0.16                        | 8.1                            | 8                              | 1.9                         | 0               | 0               | 2.2                         | 15                           | 15                           |
|           |                  |                            | Dierlijk vet (talg)                                                                                                                                           | 0.44                        | 24.5                           | 25                             | 1.9                         | 0               | 0               | 2.8                         | 47                           | 47                           |
|           | BTL              | Houtachtige biomassa       | Fischer-Tropsch Syndiesel: Farmed wood, diesel pool                                                                                                           | 1.2                         | 7.0                            | ?                              | 1.9                         | 0               | 0               | 4.2                         | 13                           | ?                            |
|           |                  |                            | Fischer-Tropsch Syndiesel: Waste Wood via black liquor, diesel pool                                                                                           | 0.91                        | 2.5                            | 3                              | 1.9                         | 0               | 0               | 3.6                         | 5                            | 5                            |
|           |                  | Algen                      | Biocultuur?                                                                                                                                                   | ?                           | ?                              | ?                              | 1.9                         | 0               | 0               | ?                           | ?                            | ?                            |
|           | GTL diesel       | Aardgas Qatar              | STUDIE: AARDGASROUTES                                                                                                                                         | 0.59                        | 18.8                           | 19                             | 1.9                         | 71              | 135             | 3.0                         | 171                          | 171                          |
|           |                  |                            | Fischer-Tropsch Rem GTL, diesel pool                                                                                                                          | 0.63                        | 23.4                           | 23                             | 1.9                         | 71              | 135             | 3.1                         | 180                          | 180                          |
|           |                  |                            | Fischer-Tropsch Rem GTL+CCS, diesel pool                                                                                                                      | 0.71                        | 13.4                           | 13                             | 1.9                         | 71              | 135             | 3.3                         | 161                          | 161                          |
|           | P2L benzine      | Surplus elektr + CO2       | FTR                                                                                                                                                           | ?                           | ?                              | ?                              | 2.1                         | ?               | ?               | ?                           | ?                            | ?                            |
|           | P2L diesel       | Surplus elektr + CO2       | Fischer-Tropsch                                                                                                                                               | ?                           | ?                              | ?                              | 1.9                         | ?               | ?               | ?                           | ?                            | ?                            |
|           | Methanol         | Hout                       | Vergassen Farmed wood, katalytisch chemische reactie van CO en H2 uit synthesesgas                                                                            | 1.07                        | 6.6                            | ?                              | 2.1                         | 0               | 0               | 4.4                         | 14                           | ?                            |
|           |                  |                            | Vergassen Waste wood, katalytisch chemische reactie van CO en H2 uit synthesesgas                                                                             | 0.59                        | 2.2                            | 2                              | 2.1                         | 0               | 0               | 3.4                         | 5                            | 5                            |
|           | DME              | Houtachtige biomassa       | particiele oxidatie / steam reforming / katalyse                                                                                                              | 0.51                        | 19.6                           | ?                              | 1.9                         | 0               | 0               | 2.9                         | 37                           | ?                            |
|           |                  |                            | Farmed Wood, road                                                                                                                                             | 1.07                        | 6.5                            | ?                              | 1.9                         | 0               | 0               | 4.0                         | 12                           | ?                            |
|           |                  |                            | Waste Wood via black liquor, road                                                                                                                             | 0.56                        | 2.1                            | 2                              | 1.9                         | 0               | 0               | 3.0                         | 4                            | 4                            |
|           |                  | Kolen                      | Coal EU-mix, EU prod., rail/road                                                                                                                              | 0.95                        | 126.7                          | 127                            | 1.9                         | 67              | 129             | 3.7                         | 371                          | 371                          |
|           |                  |                            | NG 4000 km, EU prod., rail/road                                                                                                                               | 0.64                        | 30.4                           | 30                             | 1.9                         | 67              | 129             | 3.1                         | 187                          | 187                          |
|           |                  | Aardgas                    | Rem prod., sea/ rail/road                                                                                                                                     | 0.53                        | 22.0                           | 22                             | 1.9                         | 67              | 129             | 2.9                         | 171                          | 171                          |
|           |                  |                            | Rem prod. with CCS, Sea, Rail/Road                                                                                                                            | 0.54                        | 12.0                           | 12                             | 1.9                         | 67              | 129             | 2.9                         | 151                          | 151                          |

| Categorie | Energie-drager | Grondstof | Proces | WTT                         |                                |                                | TTW (personeervoertuigen)   |                 |                 | WTW (personeervoertuigen)   |                              |                              |
|-----------|----------------|-----------|--------|-----------------------------|--------------------------------|--------------------------------|-----------------------------|-----------------|-----------------|-----------------------------|------------------------------|------------------------------|
|           |                |           |        | WTT Energiegebruik<br>MJ/MJ | WTT GHG (excl<br>ILUC)<br>g/MJ | WTT GHG (incl<br>ILUC)<br>g/MJ | TTW Energiegebruik<br>MJ/km | TTW GHG<br>g/MJ | TTW GHG<br>g/km | WTW Energiegebruik<br>MJ/km | WTW GHG (ex<br>ILUC)<br>g/km | WTW GHG (in<br>ILUC)<br>g/km |

|           |         |                           |                                                                                                                           |      |       |     |     |      |     |     |      |      |
|-----------|---------|---------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|-------|-----|-----|------|-----|-----|------|------|
| Gasvormig | CNG     | Aardgas NL mix            |                                                                                                                           | 0.20 | 15.5  | 15  | 2.1 | 56.1 | 119 | 2.5 | 152  | 152  |
|           |         | Aardgas                   | Pijpleiding (transport 7000 km)                                                                                           | 0.29 | 22.6  | 23  | 2.1 | 55   | 117 | 2.7 | 165  | 165  |
|           |         |                           | Pijpleiding (transport 4000km)                                                                                            | 0.21 | 16.1  | 16  | 2.1 | 55   | 117 | 2.6 | 151  | 151  |
|           |         |                           | Liquefactie, LNG verscheppen, verdampen, pijpleiding en on-site compressie                                                | 0.31 | 21.1  | 21  | 2.1 | 55   | 117 | 2.8 | 161  | 161  |
|           |         |                           | Liquefactiem (+CCS), LNG verscheppen, verdampen, pijpleiding en on-site compressie                                        | 0.33 | 17.8  | 18  | 2.1 | 55   | 117 | 2.8 | 155  | 155  |
|           |         |                           | Liquefactie, LNG verscheppen, wegtransport (500km) , on-site verdamping en compressie                                     | 0.26 | 21.3  | 21  | 2.1 | 55   | 117 | 2.7 | 162  | 162  |
|           |         | Schaliegas EU             |                                                                                                                           | 0.1  | 7.8   | 8   | 2.1 | 55   | 117 | 2.3 | 133  | 133  |
|           | LNG     | Aardgas NL mix            | STUDIE: AARDGASROUTES                                                                                                     | 0.20 | 17.0  | 17  | ?   | 56   | ?   | ?   | ?    | ?    |
|           |         | Aardgas                   | Liquefactie, LNG verscheppen, wegtransport (500km) en gebruik LNGin voertuig                                              | 0.22 | 19.4  | 19  | ?   | 55   | ?   | ?   | ?    | ?    |
|           |         | Aardgas                   | Pijpleiding (transport 7000 km)                                                                                           | ?    | ?     | ?   | ?   | ?    | ?   | ?   | ?    | ?    |
|           |         | Aardgas xxx               | LNG transport                                                                                                             | ?    | ?     | ?   | ?   | ?    | ?   | ?   | ?    | ?    |
|           |         | Schaliegas VS / NL?       |                                                                                                                           | ?    | ?     | ?   | ?   | ?    | ?   | ?   | ?    | ?    |
|           | LPG     | Bijproduct                | Bij raffinage en aardgaswinning                                                                                           | 0.12 | 8.0   | 8   | 2.0 | 66   | 131 | 2.2 | 147  | 147  |
|           | P2G gas | Surplus elektr + CO2      | "Audi"                                                                                                                    | ?    | ?     | ?   | 2.1 | ?    | ?   | ?   | ?    | ?    |
|           | BioLPG  | HVO (of dierlijke vetten) | Hydrogeneren van plantaardige of dierlijke olien                                                                          | ?    | ?     | ?   | 2.0 | ?    | ?   | ?   | ?    | ?    |
|           |         | Glycerine                 | dehydratie van glycerine (bijproduct biodiesel) leidt tot acrolein en dit hydrogeneren tot propanol en vervolgens propane | ?    | ?     | ?   | 2.0 | ?    | ?   | ?   | ?    | ?    |
|           | CBG     | GFT                       | Vergisting, biogasopwerking, geïsoleerde methaan comprimeren                                                              | 0.99 | 15.0  | 15  | 2.1 | 3    | 7   | 4.2 | 38   | 38   |
|           |         | Mest                      | Vergisting, biogasopwerking, geïsoleerde methaan comprimeren                                                              | 2.01 | -70.0 | -70 | 2.1 | -1   | -3  | 6.4 | -151 | -151 |
|           |         | Mais                      | Vergisting, biogasopwerking, geïsoleerde methaan comprimeren                                                              | 1.28 | 41.0  | 44  | 2.1 | -1   | -1  | 4.8 | 86   | 92   |
|           | LBG     | Mest                      | Vergisting                                                                                                                | ?    | ?     | ?   | ?   | ?    | ?   | ?   | ?    | ?    |
|           |         | Afval                     | Vergisting                                                                                                                | ?    | ?     | ?   | ?   | ?    | ?   | ?   | ?    | ?    |
|           |         | Natte biomassa            | Covergisting                                                                                                              | ?    | ?     | ?   | ?   | ?    | ?   | ?   | ?    | ?    |
|           |         | Houtachtige biomassa      | Vergassing                                                                                                                | ?    | ?     | ?   | ?   | ?    | ?   | ?   | ?    | ?    |

|               |               |                 |                                                                                                 |      |        |      |      |     |   |     |     |     |
|---------------|---------------|-----------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|------|--------|------|------|-----|---|-----|-----|-----|
| Elektriciteit | Elektriciteit | NL mix          |                                                                                                 | 1.04 | 124.3  | 124  | 0.65 | 0.0 | 0 | 1.3 | 81  | 81  |
|               |               | EU mix (medium) |                                                                                                 | 2.05 | 141.1  | 141  | 0.65 | 0.0 | 0 | 2.0 | 92  | 92  |
|               |               | Aardgas         | Transport 7000 km, Combined Cycle Gas Turbine                                                   | 1.36 | 146.0  | 146  | 0.65 | 0.0 | 0 | 1.5 | 95  | 95  |
|               |               |                 | Transport 4000 km, Combined Cycle Gas Turbine                                                   | 1.19 | 132.4  | 132  | 0.65 | 0.0 | 0 | 1.4 | 86  | 86  |
|               |               |                 | Transport 4000 km, Combined Cycle Gas Turbine + CCS                                             | 1.71 | 44.7   | 45   | 0.65 | 0.0 | 0 | 1.8 | 29  | 29  |
|               |               | Kolen EU mix    | Conventionele technologie (boiler + steam turbine)                                              | 1.81 | 292.4  | 292  | 0.65 | 0.0 | 0 | 1.8 | 190 | 190 |
|               |               |                 | Integrated Gasification and Combined Cycle                                                      | 1.54 | 262.4  | 262  | 0.65 | 0.0 | 0 | 1.7 | 171 | 171 |
|               |               |                 | Integrated Gasification and Combined Cycle + CCS                                                | 1.98 | 71.0   | 71   | 0.65 | 0.0 | 0 | 1.9 | 46  | 46  |
|               |               | Nucleair        |                                                                                                 | 3.07 | 5.0    | 5    | 0.65 | 0.0 | 0 | 2.6 | 3   | 3   |
|               |               | Biomassa (GFT)  | Vergisting, biogasopwerking, geïsoleerde methaan comprimeren gebruiken in grote energiecentrale | 2.7  | 23.8   | 24   | 0.65 | 0.0 | 0 | 2.4 | 15  | 15  |
|               |               | Biomassa (mest) | Vergisting, biogasopwerking, geïsoleerde methaan comprimeren gebruiken in grote energiecentrale | 6.04 | -116.0 | -116 | 0.65 | 0.0 | 0 | 4.6 | -75 | -75 |
|               |               | PV              |                                                                                                 | 0.12 | 0.0    | 0    | 0.65 | 0.0 | 0 | 0.7 | 0   | 0   |
|               |               | Windmolenpark   |                                                                                                 | 0.12 | 0.0    | 0    | 0.65 | 0.0 | 0 | 0.7 | 0   | 0   |

|                |                      |                                                                                       | WTT                         |                                |                                | TTW (personeervoertuigen)   |                    |                    | WTW (personeervoertuigen)      |                              |                              |
|----------------|----------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|--------------------------------|--------------------------------|-----------------------------|--------------------|--------------------|--------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| Energie-drager | Grondstof            | Proces                                                                                | WTT Energiegebruik<br>MJ/MJ | WTT GHG (excl<br>ILUC)<br>g/MJ | WTT GHG (incl<br>ILUC)<br>g/MJ | TTW Energiegebruik<br>MJ/km | TTW<br>GHG<br>g/MJ | TTW<br>GHG<br>g/km | WTW<br>Energiegebruik<br>MJ/km | WTW GHG (ex<br>ILUC)<br>g/km | WTW GHG (in<br>ILUC)<br>g/km |
| Waterstof      | NI mix               |                                                                                       | 0.75                        | 101.3                          | 101                            | 0.98                        | 0.0                | 0                  | 1.7                            | 99                           | 99                           |
|                | EU elektriciteitsmix | On-site electrolyse                                                                   | 3.62                        | 209.1                          | 209                            | 0.98                        | 0.0                | 0                  | 4.5                            | 205                          | 205                          |
|                |                      | Centrale electrolyse, liquefactie                                                     | 4.22                        | 237.0                          | 237                            | 0.98                        | 0.0                | 0                  | 5.1                            | 232                          | 232                          |
|                | Aardgas              | Aardgas 1000km - On-site reforming                                                    | 0.84                        | 105.2                          | 105                            | 0.98                        | 0.0                | 0                  | 1.8                            | 103                          | 103                          |
|                |                      | Transport 4000 km, On-site reforming                                                  | 0.95                        | 111.7                          | 112                            | 0.98                        | 0.0                | 0                  | 1.9                            | 109                          | 109                          |
|                |                      | Transport 4000 km, Centrale reforming                                                 | 0.72                        | 98.8                           | 99                             | 0.98                        | 0.0                | 0                  | 1.7                            | 97                           | 97                           |
|                |                      | Transport 4000 km, Centrale reforming/CCS                                             | 0.77                        | 37.8                           | 38                             | 0.98                        | 0.0                | 0                  | 1.7                            | 37                           | 37                           |
|                |                      | Transport 4000 km, Centrale reforming, Vloeibaar maken waterstof en vervoer per truck | 1.13                        | 127                            | 127                            | 0.98                        | 0.0                | 0                  | 2.1                            | 124                          | 124                          |
|                |                      | Transport 7000 km, stoom- en gascentrale, on-site electrolyse                         | 2.72                        | 227.1                          | 227.1                          | 0.98                        | 0.0                | 0                  | 3.6                            | 223                          | 223                          |
|                |                      | Transport 4000 km, stoom- en gascentrale, on-site electrolyse                         | 2.4                         | 203.5                          | 203.5                          | 0.98                        | 0.0                | 0                  | 3.3                            | 199                          | 199                          |
|                |                      | Transport 4000 km, stoom- en gascentrale, centrale electrolyse                        | 2.45                        | 203.5                          | 203.5                          | 0.98                        | 0.0                | 0                  | 3.4                            | 199                          | 199                          |
|                |                      | Transport 4000 km, stoom- en gascentrale, centrale electrolyse, liquefactie           | 2.86                        | 231.5                          | 231.5                          | 0.98                        | 0.0                | 0                  | 3.8                            | 227                          | 227                          |
|                | Kolen                | On-site electrolyse                                                                   | 3.17                        | 433.4                          | 433.4                          | 0.98                        | 0.0                | 0                  | 4.1                            | 425                          | 425                          |
|                |                      | Centrale electrolyse                                                                  | 3.19                        | 423.2                          | 423.2                          | 0.98                        | 0.0                | 0                  | 4.1                            | 415                          | 415                          |
|                |                      | Centrale electrolyse, liquefactie                                                     | 3.73                        | 490.3                          | 490.3                          | 0.98                        | 0.0                | 0                  | 4.6                            | 480                          | 480                          |
|                | Biomassa             | Farmed wood, large scale gasification, 200 MW (biomass)                               | 0.97                        | 13.1                           | ?                              | 0.98                        | 0.0                | 0                  | 1.9                            | 13                           | ?                            |
|                |                      | Farmed wood, large scale gasification, 200 MW (biomass), liquefaction                 | 1.5                         | 7.5                            | ?                              | 0.98                        | 0.0                | 0                  | 2.5                            | 7                            | ?                            |
|                |                      | Wood waste, on-site gasification, 10 MW (biomass)                                     | 1.22                        | 10.7                           | 11                             | 0.98                        | 0.0                | 0                  | 2.2                            | 10                           | 10                           |
|                |                      | Wood waste, large scale gasification, 200 MW (biomass)                                | 0.97                        | 12.1                           | 12                             | 0.98                        | 0.0                | 0                  | 1.9                            | 12                           | 12                           |
|                | PV                   |                                                                                       | 0.79                        | 9.1                            | 9                              | 0.98                        | 0.0                | 0                  | 1.8                            | 9                            | 9                            |
|                | Windmolenpark        | Elektriciteit wind - On-site elektrolyse - Pijpleiding                                | 0.79                        | 9.1                            | 9                              | 0.98                        | 0.0                | 0                  | 1.8                            | 9                            | 9                            |
|                |                      | Elektriciteit wind - Centrale elektrolyse - Pijpleiding                               | 0.79                        | 9.1                            | 9                              | 0.98                        | 0.0                | 0                  | 1.8                            | 9                            | 9                            |
|                | Nucleair             | Elektrolyse                                                                           | 5.03                        | 7.0                            | 7                              | 0.98                        | 0.0                | 0                  | 5.9                            | 7                            | 7                            |