



Energy research Centre of the Netherlands

Effecten en kosten van duurzame innovatie in het wegverkeer

**Een verkenning voor het programma
'De auto van de toekomst gaat rijden'**

M.A. Uyterlinde

C.B. Hanschke

P. Kroon

ECN-E--07-106

Maart 2008

Verantwoording

Het project staat bij ECN geregistreerd onder nummer 7.7852. De auteurs bedanken de betrokkenen bij het programma ‘De auto van de toekomst gaat rijden’, de leden van de begeleidingscommissie vanuit de Ministeries van VROM en Verkeer en Waterstaat, en het platform Duurzame Mobiliteit voor hun constructieve bijdragen. De auteurs bedanken Karst Geurs en Anco Hoen (MNP) voor het reviewen van het rapport. Uiteraard is de inhoud volledig de verantwoordelijkheid van de auteurs.

Naast de auteurs hebben ECN-medewerkers Harm Jeeninga (workshops), Sander Lensink (modelberekeningen BIOTRANS) en Per Godfroj (dataverzameling) aan de studie bijgedragen.

Abstract

The Dutch government has set ambitious targets for greenhouse gas emission reduction by 2020. Therefore, it aims at accelerating the market penetration of innovative technologies for sustainable mobility. This report presents results of two innovation-scenarios in terms of their impacts on energy use and CO₂ emissions of technical innovations in drive trains and alternative fuels in the Dutch road transport sector. The options considered are (plug-in) hybrids, efficient tyres, intelligent transport systems, biofuels, CNG and hydrogen. Emission reductions and costs are presented for the years 2020 and 2030. The report concludes that technical innovations in drive trains and alternative fuels can achieve substantial CO₂ emission reductions in the Dutch road transport sector. Furthermore, as the large scale market penetration of new vehicle types takes several decades, early action is necessary, but needs to be coupled to a long-term strategy with clear priorities. It also requires a balancing of different policy objectives, such as CO₂ emissions reduction, energy savings, air quality and reduction of the dependency on imported oil.

Inhoud

Lijst van tabellen	5
Lijst van figuren	6
Samenvatting	7
Samenvatting	7
S.1. Twee innovatiescenario's	7
S.2. Wat kan er bereikt worden?	8
S.3. Kosten en baten	10
S.4. Wat is er voor nodig?	14
S.5. Discussie	16
1. Inleiding	18
2. Schone technologieën en hun potentieel	19
2.1 Efficiencyverbetering	19
2.1.1 Hybrides en plug-in hybrides	19
2.1.2 Brandstofcelvoertuigen	20
2.1.3 Zuinige banden	20
2.1.4 Energiebesparende ICT - 'de slimme auto'	20
2.2 Alternatieve brandstoffen	21
2.2.1 Biobrandstoffen	21
2.2.2 CNG en biogas	21
2.2.3 Waterstof	22
2.2.4 Elektrisch vervoer	23
3. Constructie van scenario's	24
3.1 Uitgangspunten	24
3.2 Beschrijving van de scenario's	25
3.2.1 Overzicht	25
3.2.2 Referentiescenario	28
3.2.3 Scenario 1: generieke innovatie	28
3.2.4 Scenario 2: technologie-specifieke innovatie	29
3.3 Raadpleging deskundigen	30
4. Achterliggende gegevens	33
4.1 Technische gegevens	33
4.1.1 Brandstoffen: emissiefactoren	33
4.1.2 Brandstoffen: energieverbruik	34
4.1.3 Besparingseffect innovatieve technologieën	34
4.2 Kostenmethodiek	35
4.3 Brandstofprijzen	36
4.4 Basisprijzen referentievoertuigen	38
4.5 Onzekerheid in meerkosten voertuigen	38
4.6 Kosten hybride voertuigen	39
4.6.1 Hybride personenauto	39
4.6.2 Hybride bestelauto	41
4.6.3 Hybride bus/vrachtauto	41
4.6.4 Plug-in-voertuigen	41
4.7 Kosten CNG-voertuigen	42
4.8 Kosten waterstofvoertuigen	43
4.9 Kosten zuinige banden en ICT	44
5. Resultaten	45
5.1 Energiegebruik en emissies	45

5.1.1	Wegverkeer	45
5.1.2	Resultaten per voertuigcategorie	48
5.2	Kosten	52
5.2.1	Brandstofkosten	52
5.2.2	Kosten van het wagenpark	54
5.2.3	Kosten in termen van € per ton CO ₂	57
5.2.4	Baten	58
6.	Gevoeligheidsanalyses	59
6.1	Emissie-gerelateerde gevoeligheidsanalyses	59
6.1.1	Lagere emissiefactor van elektriciteit	59
6.1.2	CNG vervangen door Biogas	60
6.2	Innovatie-gerelateerde gevoeligheidsanalyses	61
6.2.1	Geen innovatie door zuinige banden en/of ICT	61
6.2.2	Lagere/hogere besparing in verbruik door hybrides	64
6.3	Kosten-gerelateerde gevoeligheidsanalyses	65
6.3.1	Hogere innovatiekosten omdat Nederland alleen innoveert	65
6.3.2	Goedkopere hybride technologie	67
6.3.3	Extra hoge fossiele brandstofprijzen	68
7.	Conclusies en aanbevelingen	71
7.1	Wat kan er bereikt worden?	71
7.2	Kosten en baten	72
7.3	Wat is er voor nodig?	74
7.4	Discussie van onzekerheden	76
7.5	Aanbevelingen voor vervolgonderzoek	77
	Referenties	79
Bijlage A	TEMPO Transportmodel	81

Lijst van tabellen

Tabel 3.1	<i>Kerngegevens gehanteerde scenario's</i>	25
Tabel 3.2	<i>Overzicht van de gehanteerde aannames en onderbouwing per scenario per voertuigcategorie</i>	26
Tabel 3.3	<i>Scenario 1: aandelen biobrandstoffen, zuinige banden en energiebesparende ICT</i>	28
Tabel 3.4	<i>Scenario 2: Aandelen biobrandstoffen, zuinige banden en energiebesparende ICT</i>	30
Tabel 3.5	<i>Commentaar uit de raadpleging van deskundigen en conclusies voor de invulling van de scenario's</i>	30
Tabel 3.6	<i>Marktaandeelen innovaties in vervoersprestatie per scenario</i>	32
Tabel 4.1	<i>Directe en ketenemissiefactoren van brandstoffen</i>	34
Tabel 4.2	<i>Besparingseffect innovatieve technologieën op energieverbruik per voertuigtype</i>	35
Tabel 4.3	<i>Basisprijzen energiedragers</i>	36
Tabel 4.4	<i>Gehanteerde brandstofprijzen exclusief heffingen en BTW</i>	37
Tabel 4.5	<i>Basisprijzen van de voertuigen</i>	38
Tabel 4.6	<i>Effect van progress ratio en productievolume op kostprijs</i>	40
Tabel 4.7	<i>Meerkosten personenauto's exclusief heffingen en BTW</i>	40
Tabel 4.8	<i>Meerkosten bestelauto's</i>	41
Tabel 4.9	<i>Meerkosten hybride vrachtauto's en bussen exclusief heffingen en BTW</i>	41
Tabel 4.10	<i>Meerkosten plug-in hybride</i>	42
Tabel 4.11	<i>Meerkosten plug-in hybride ten opzichte van hybride bij personen- en bestelauto's</i>	42
Tabel 4.12	<i>Meerkosten CNG voertuigen exclusief heffingen en BTW</i>	43
Tabel 4.13	<i>Meerkosten waterstofvoertuig met brandstofcellen</i>	44
Tabel 5.1	<i>Vermeden CO_{2-eq} [Mton] volgens ketenbenadering vergeleken met directe emissies, ten opzichte van Referentiescenario</i>	48
Tabel 5.2	<i>Emissies CO_{2-eq} wegverkeer volgens ketenbenadering [Mton]</i>	48
Tabel 5.3	<i>Totale en gemiddelde brandstofkosten wegverkeer</i>	53
Tabel 5.4	<i>Brandstofkosten personenwagens per 100 km en de relatieve verkeersprestatie</i>	54
Tabel 5.5	<i>Kosteneffectiviteit innovatiescenario's</i>	58
Tabel 6.1	<i>Lage ketenemissiefactor elektriciteit - overzicht aannames</i>	60
Tabel 6.2	<i>Lage ketenemissiefactor elektriciteit - impact op vermeden CO₂-ketenemissies</i>	60
Tabel 6.3	<i>CNG vervangen door Biogas - Overzicht aannames</i>	60
Tabel 6.4	<i>CNG vervangen door Biogas - Impact op vermeden CO₂ (keten-)emissies</i>	61
Tabel 6.5	<i>Kosteneffectiviteit innovatiescenario's - Nederland innoveert alleen</i>	66
Tabel 6.6	<i>Kosteneffectiviteit innovatiescenario's - Goedkopere hybride technologie</i>	68
Tabel 6.7	<i>Extra hoge brandstofprijzen voor gevoeligheidsanalyse exclusief heffingen en BTW</i>	69
Tabel A.1	<i>Overzicht voertuigtypes en voor studie gebruikte technologieën/brandstoffen</i>	81

Lijst van figuren

Figuur S.1	<i>CO₂-emissie wegverkeer (IPCC definitie); innovatiescenario's vergeleken met het WLO-GEHP scenario en de hoge en lage variant in de beoordeling van Schoon en Zuinig</i>	8
Figuur S.2	<i>Aandelen van voertuigtypes in het energiegebruik van het wegverkeer in 2005 (totaal 463 PJ) en in 2030 (totaal 435 PJ) in Scenario 2</i>	9
Figuur S.3	<i>Jaarlijkse brandstofkosten wegverkeer, excl. accijns en BTW</i>	11
Figuur S.4	<i>Jaarlijkse kosten wagenpark</i>	12
Figuur S.5	<i>Toepassing van de Trias Energetica op de in deze studie bekeken opties</i>	15
Figuur 2.1	<i>Ontwikkeling van de penetratiegraad van waterstofvoertuigen in personenvervoer</i>	23
Figuur 3.1	<i>Verkeersprestatie personenauto's in de innovatiescenario's per brandstof (linkeras) en het marktaandeel van hybrides (rechteras)</i>	29
Figuur 3.2	<i>Verkeersprestatie bestelauto's in de innovatiescenario's per brandstof (linkeras) en het marktaandeel van hybrides (rechteras)</i>	29
Figuur 3.3	<i>Verkeersprestatie bussen in de innovatiescenario's per brandstof (linkeras) en het marktaandeel van hybrides (rechteras)</i>	30
Figuur 4.1	<i>Gehanteerde brandstofprijzen exclusief heffingen en BTW</i>	37
Figuur 5.1	<i>Energiegebruik wegverkeer (IPCC-definitie)</i>	45
Figuur 5.2	<i>Energiegebruik wegverkeer per brandstof</i>	46
Figuur 5.3	<i>CO₂-emissie wegverkeer (IPCC definitie)</i>	46
Figuur 5.4	<i>Vergelijking directe en keten CO_{2-eq}-emissies wegverkeer voor het jaar 2030</i>	48
Figuur 5.5	<i>Aandelen van voertuigtypes in het energiegebruik van het wegverkeer in 2005 (totaal 463 PJ) en in 2030 (totaal 435 PJ) in Scenario 2</i>	49
Figuur 5.6	<i>CO₂-emissies personenauto's en bestelauto's</i>	50
Figuur 5.7	<i>Gemiddelde CO₂-efficiency van het totale personenautopark</i>	50
Figuur 5.8	<i>CO₂-emissies bussen</i>	51
Figuur 5.9	<i>CO₂-emissies vrachtwagens</i>	52
Figuur 5.10	<i>Jaarlijkse brandstofkosten wegverkeer</i>	52
Figuur 5.11	<i>Jaarlijkse brandstofkosten personenwagens</i>	54
Figuur 5.12	<i>Jaarlijkse kosten wagenpark</i>	55
Figuur 5.13	<i>Jaarlijkse meerkosten wagenpark</i>	56
Figuur 5.14	<i>Jaarlijkse meerkosten wagenpark per technologie, incl. en excl. meerkosten ICT</i>	57
Figuur 6.1	<i>Vermeden CO₂-emissie van innovatiescenario's met en zonder zuinige banden en ICT</i>	62
Figuur 6.2	<i>Vermeden CO₂-emissie per deelsector voor 2030 van innovatiescenario's met en zonder zuinige banden en ICT</i>	62
Figuur 6.3	<i>Jaarlijkse bespaarde brandstofkosten ten opzichte van het referentiescenario met en zonder zuinige banden en ICT</i>	63
Figuur 6.4	<i>Vermeden CO₂-emissie van innovatiescenario's bij gewijzigde aannames voor besparing van hybrides</i>	64
Figuur 6.5	<i>Jaarlijkse bespaarde brandstofkosten ten opzichte van het referentiescenario bij gewijzigde aannames voor besparing van hybrides</i>	65
Figuur 6.6	<i>Jaarlijkse meerkosten wagenpark indien Nederland alleen innoveert</i>	66
Figuur 6.7	<i>Meerkosten hybride personen- en bestelwagen - goedkopere hybride technologie</i>	67
Figuur 6.8	<i>Jaarlijkse meerkosten wagenpark - goedkopere hybride technologie</i>	68
Figuur 6.9	<i>Extra hoge fossiele brandstofprijzen</i>	69
Figuur 6.10	<i>Extra hoge brandstofprijzen - Extra jaarlijkse brandstofkosten</i>	70
Figuur 6.11	<i>Jaarlijkse brandstofkosten: impact extra hoge fossiele brandstofprijzen</i>	70
Figuur 7.1	<i>Toepassing van de Trias Energetica op de in deze studie bekeken opties</i>	75
Figuur A.1	<i>Schematisch overzicht ECN's transportmodel TEMPO</i>	82

Samenvatting

Het programma ‘De auto van de toekomst gaat rijden’ richt zich op het in Nederland versneld op de markt brengen van innovaties voor stille, schone, zuinige, slimme en veilige mobiliteit. Daarbij heeft de overheid behoefte aan een doorrekening van de mogelijke effecten van deze inspanningen op het energieverbruik en de CO₂-emissies van het wegverkeer. Onderzocht is wat de bijdrage van technische innovaties in voertuigaandrijving en brandstoffen kan zijn aan energiebesparing en CO₂-emissiereductie in het wegverkeer, en wat de kosten zijn. Consequenties voor geluid, luchtkwaliteit en veiligheid zijn geen onderdeel van de studie.

S.1. Twee innovatiescenario's

In samenspraak met de betrokkenen bij het programma ‘De auto van de toekomst gaat rijden’ en het platform Duurzame Mobiliteit zijn twee scenario's ontwikkeld, die vergelijkbaar zijn in innovatietempo, maar verschillen in de technische invulling. De scenario's beperken zich tot personenauto's, bedrijfsauto's en busvervoer, in lijn met de scope van het programma ‘De auto van de toekomst gaat rijden’. De beelden zijn realiseerbaar en richten zich op 2020 en 2030. Gekozen is voor de innovatieve technologieën waarvan het programma veel verwacht, zoals hybridisering, biobrandstoffen, waterstof, CNG of biogas, zuinige banden en energiezuinige ICT.

De scenario's zijn in overleg met de opdrachtgevers ingevuld. ECN heeft haar kennis ingebracht om eventuele bijstellingen voor te stellen. Daarnaast heeft ECN via een jaargangenbenadering in het TEMPO-model de potentiële penetratie van een aantal innovatieve technologieën bijgesteld naar realistische waarden. De definitieve scenario-invulling is goedgekeurd door de opdrachtgevers. De innovatiescenario's kunnen als volgt kort gekarakteriseerd worden.

Scenario 1 Generieke innovatie: In Europa en Nederland is er maatschappelijk draagvlak en generiek beleid voor innovatie, maar er is beperkte coördinatie. Daarom is een diverse mix van technologieën succesvol, maar zijn de voornaamste barrières voor opkomst van de waterstofauto niet overwonnen. Duurzame biobrandstoffen voorzien in 2020 in 20% van de vraag naar transportbrandstoffen in het wegverkeer, en er vindt verdere groei plaats tot een aandeel van 30% in 2030. Ook treedt er een verschuiving op van eerste generatie biobrandstoffen naar de tweede generatie met een betere CO₂-prestatie. Bij personenauto's wordt de hybride auto dominant. De plug-in hybride is voorzichtig in opkomst. Het aandeel van aardgas of biogas auto's¹ groeit naar zo'n 10% in 2030 omdat Nederland hier op inzet. Bestelauto's zijn hybride/(bio)diesel of rijden op CNG. Dankzij de innovatieconcessies zijn stad- en streekbussen hybride of rijden op CNG. Er is ook een beperkt aandeel waterstofbussen, omdat de meerkosten daarvan te overzien zijn. Touringcars rijden lange afstanden op (bio)diesel, evenals vrachtwagens. In de stad is er ook sprake van hybride vrachtwagens. Stille, zuinige banden, en energiebesparende ICT worden op redelijk grote schaal toegepast.

Scenario 2 Technologie specifieke innovatie: Europa en Nederland zetten gecoördineerd in op innovatie, er worden keuzes gemaakt voor bepaalde oplossingsrichtingen, waardoor waterstof kan doorbreken. Vanaf 2020 speelt waterstof een rol, en deze rol zal na 2030 verder groeien. De groei van waterstof dempt de groei van biobrandstoffen in Scenario 2 vergeleken met Scenario 1 omdat een deel van de beschikbare biomassa voor waterstofproductie wordt gebruikt. Biobrandstoffen voorzien in 2030 in 20% van de vraag naar transportbrandstoffen. Er vindt een specialisatie in de markt plaats: waterstof bij lichte voertuigen en bussen, biobrandstoffen in vrachtvervoer en touringcars. In 2030 is het marktaandeel van de brandstofcelauto, op waterstof, substantieel met zo'n 20%, terwijl de hybride auto fors groeit, maar iets langzamer na 2020, omdat deze

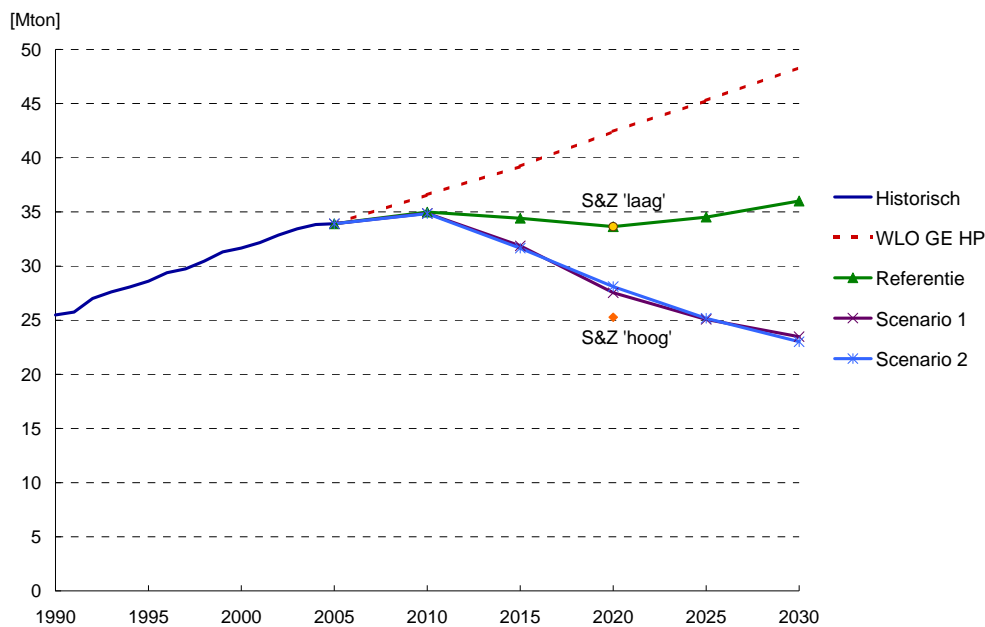
¹ De scenario's zijn doorgerekend met CNG. In de gevoeligheidsanalyse (zie Hoofdstuk 6) is ook het effect van vervanging van CNG door biogas doorgerekend.

wordt opgevolgd door de brandstofcelauto. Stille, zuinige banden, en energiebesparende ICT worden vanwege de Europese coördinatie op grote schaal toegepast, meer dan in Scenario 1.

S.2. Wat kan er bereikt worden?

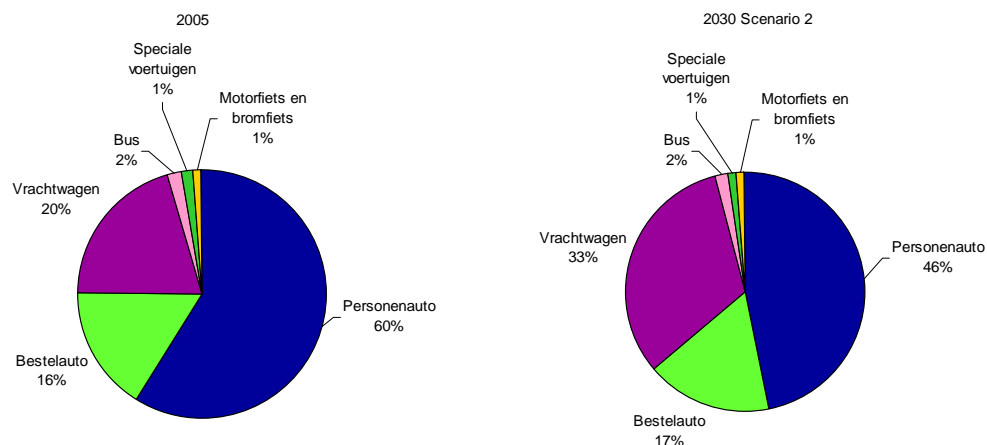
Met innovatie wordt substantiële CO₂-emissiereductie bereikt

Als het Nederlandse en Europese beleid sterk inzet op innovatie en daarmee de marktaandelen gerealiseerd worden die in de innovatiescenario's verondersteld zijn, kunnen de CO₂-emissies van het wegverkeer in 2020 met zo'n 6 Mton dalen tot ongeveer 2 Mton boven het niveau van 1990, zie ook Figuur S.1. Tot 2030 blijven de emissies verder dalen, waarbij het niveau van 1990 ongeveer in 2025 wordt bereikt.



Figuur S.1 CO₂-emissie wegverkeer (IPCC definitie); innovatiescenario's vergeleken met het WLO-GEHP scenario en de hoge en lage variant in de beoordeling van Schoon en Zuinig

In absolute zin wordt de grootste emissiereductie behaald bij personenauto's, gevolgd door bestelauto's, wat verklaard wordt door het grote aandeel van deze voertuigen in het energiegebruik. In relatieve zin wordt de sterkste reductie behaald bij de bussen, vanwege de mogelijk grote penetratie van innovatieve technologie. Het effect op de totale emissies van het wegverkeer is echter gering. De linkerkant van Figuur S.2 geeft aan welke aandelen de verschillende voertuigtypen op dit moment hebben in het energiegebruik van het wegverkeer. Dit illustreert de reikwijdte van beleid gericht op de verschillende voertuigcategorieën. Als voorbeeld is aan de rechterkant van de figuur het energiegebruik per voertuigtype gegeven in Scenario 2 in 2030. Er is sprake van 6% besparing ten opzichte van 2005. Deze besparing is het sterkst bij personenauto's en het minst bij vrachtwagens, wat zichtbaar is als een verschuiving tussen de aandelen in het energieverbruik.



Figuur S.2 Aandelen van voertuigtypes in het energiegebruik van het wegverkeer in 2005 (totaal 463 PJ) en in 2030 (totaal 435 PJ) in Scenario 2

Innovatiescenario's gaan verder dan Schoon en Zuinig

Vergeleken met de lage variant in de beoordeling van het beleidspakket Schoon en Zuinig wordt in de innovatiescenario's in 2020 zo'n 6 Mton extra CO₂-emissiereductie behaald, oplopend tot ongeveer 13 Mton extra reductie in 2030. De lage variant van de beoordeling van Schoon en Zuinig gaat uit van beperkte Europese CO₂-normering van auto's (130 gr/km vanaf 2015), en 10% biobrandstoffen. De hoge variant van de beoordeling van het beleidspakket Schoon en Zuinig bereikt in 2020 een iets hogere reductie dan de innovatiescenario's, met name vanwege het in Europa eerder en sterker inzetten van CO₂-normering bij personen- en bestelauto's. Worden de uitgangspunten van de innovatiescenario's tegen de achtergrond van deze hoge variant geplaatst, dan kan van deze combinatie nog een grotere emissiereductie verwacht worden in 2020. Dit onderstreept de Nederlandse afhankelijkheid van Europees beleid.

Nog sterkere emissiereducties mogelijk?

Aangezien de beleidsambitie van het kabinet zich, voor Nederland als geheel, richt op 30% reductie van CO₂-emissies ten opzichte van 1990, kan een verdere emissiereductie van de transportsector nodig zijn. Sterkere reducties door de innovatiepakketten eventueel te combineren lijken onrealistisch. Dat zou het uiterste vergen van technologie ontwikkeling, beschikbaarheid van biomassa-grondstoffen, aanwezigheid van tankstations voor zowel CNG als waterstof, en komt aan de grens van de snelheid waarmee een wagenpark zich kan vernieuwen. Daarom geven de innovatiescenario's een indicatie van wat maximaal haalbaar geacht mag worden met de geselecteerde innovaties.

Er zijn nog wel andere aanknopingspunten voor verdere reductie, die in deze studie niet beschouwd zijn. Het belangrijkste is een beperking van de groei van het transportvolume, waarbij kilometerbeprijzing, logistieke efficiency en modal shift de belangrijkste instrumenten zijn. Ook rijgedrag en snelheden zijn belangrijke factoren. Meer energiebesparing kan bovendien bereikt worden door veranderingen in het ontwerp van de auto. Hierbij kan gedacht worden aan de prestaties en grootte van de auto, maar ook aan lichte materialen en betere aërodynamica. Een sterkere Europese CO₂-normering dan de 130 gr/km vanaf 2015 die hier verondersteld is zal waarschijnlijk ook leiden tot het nemen van zulke maatregelen.

Innovatie maakt de transportsector toekomstbestendiger

Het stimuleren van innovatie is met name vanuit een lange termijn perspectief erg belangrijk. Het kost tijd om nieuwe voertuigtypen te laten instromen in het wagenpark. Ook in de innovatiescenario's is in 2030 nog 60-70% van de gebruikte brandstof benzine, diesel of LPG. Aangezien een transitie 20 tot 30 jaar duurt, is het belangrijk om een visie te ontwikkelen op de gewenste situatie. Hierbij moet een afweging gemaakt worden tussen beleidsdoelen als CO₂-

emissiereductie, energiebesparing, luchtkwaliteit en vermindering van de afhankelijkheid van olie door diversificatie van brandstoffen. Hoewel de innovatiescenario's gebaseerd zijn op verschillende technologieën, liggen de behaalde resultaten voor emissiereductie dicht bij elkaar. Toch zijn er grote verschillen in het lange termijn perspectief van de scenario's in het licht van de hierboven genoemde beleidsdoelstellingen.

Perspectieven van de innovatiescenario's

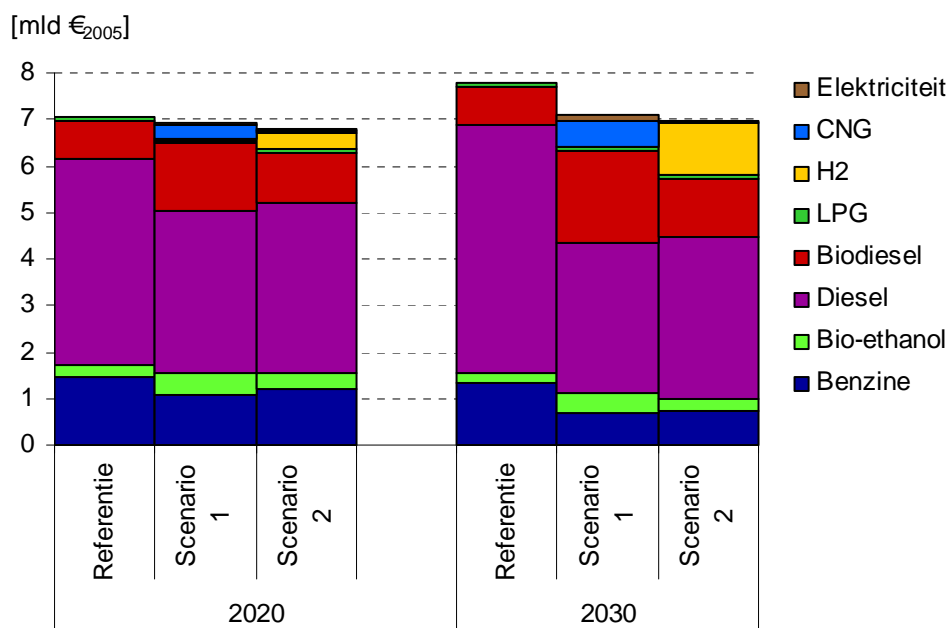
In Scenario 1 *Generieke innovatie* blijft de interne verbrandingsmotor dominant. De sector is daardoor sterk afhankelijk van biobrandstoffen, biogas en (schone) fossiele brandstoffen zoals CNG. Dit scenario laat op korte termijn sterkere emissiereductie zien, omdat biobrandstoffen technisch gezien goed toepasbaar zijn in het huidige wagenpark. Echter, na 2030 is er weinig zicht op verdere groei van het aandeel biobrandstoffen, zeker gezien de eisen die het kabinet stelt aan de duurzaamheid van de teelt en productie van deze biobrandstoffen. Het aandeel tweede generatie biobrandstoffen is dan al groot, maar er kan nog verdere verschuiving en groei plaatsvinden. Het inzetten van biogas in aardgasauto's is aantrekkelijk om de emissies sterker te reduceren. Een gevoeligheidsanalyse wijst uit dat het vervangen van CNG door biogas in Scenario 1 ongeveer 2 Mton extra kan reduceren. Echter, omdat de totale hoeveelheid beschikbare biomassa beperkt is, zou dit wel ten koste gaan van inzet van vloeibare biobrandstoffen, waardoor het totale effect op de vermeden emissies lager zou uitvallen. De prijs van CNG hangt direct af van de ontwikkeling van de aardgasprijs. Als in de context van Scenario 1 na 2030 nog sterkere reducties beoogd worden, zal daarom nog sterker ingezet moeten worden op energiebesparing, of zal alsnog voor de route via waterstof of elektrisch vervoer gekozen moeten worden.

In Scenario 2 *Technologie specifieke innovatie* wordt vooral waterstoftechnologie ontwikkeld. Dit biedt meer mogelijkheden voor diversificatie van de energiemix en primaire energiedragers. Waterstof kan uit vrijwel alle grondstoffen geproduceerd worden. De kosten voor waterstofproductie zijn relatief stabiel omdat kosten van productie uit kolen of aardgas met CO₂-afvang vergelijkbaar zijn met die van productie uit biomassa. Dit geeft flexibiliteit in grondstofkeuze. Als, conform dit scenario, de brandstofcelauto in 2030 een 20% aandeel heeft en de kosten niet of nauwelijks hoger zijn dan die van een conventionele auto, is te verwachten dat het aandeel waterstofauto's na 2030 verder stijgt, en de conventionele auto in hoog tempo zal verdringen, met alle daaraan gepaard gaande voordelen voor de CO₂-emissie en luchtkwaliteit.

S.3. Kosten en baten

Innovatiescenario's besparen brandstofkosten

Figuur S.3 toont de jaarlijkse brandstofkosten voor de innovatiescenario's voor de sector wegverkeer, zonder accijns en BTW. In 2020 hebben de innovatiescenario's al lagere brandstofkosten omdat het lagere brandstofverbruik de relatief hogere kosten van de alternatieve brandstoffen meer dan goed maakt. In 2030 wordt het verschil met het referentiescenario nog groter door een viertal effecten: a) verhoogde penetratie van innovatieve brandstoffen en technologieën b) dalende prijs alternatieve brandstoffen c) licht stijgende prijs van fossiele brandstoffen d) gestegen vervoersprestatie.

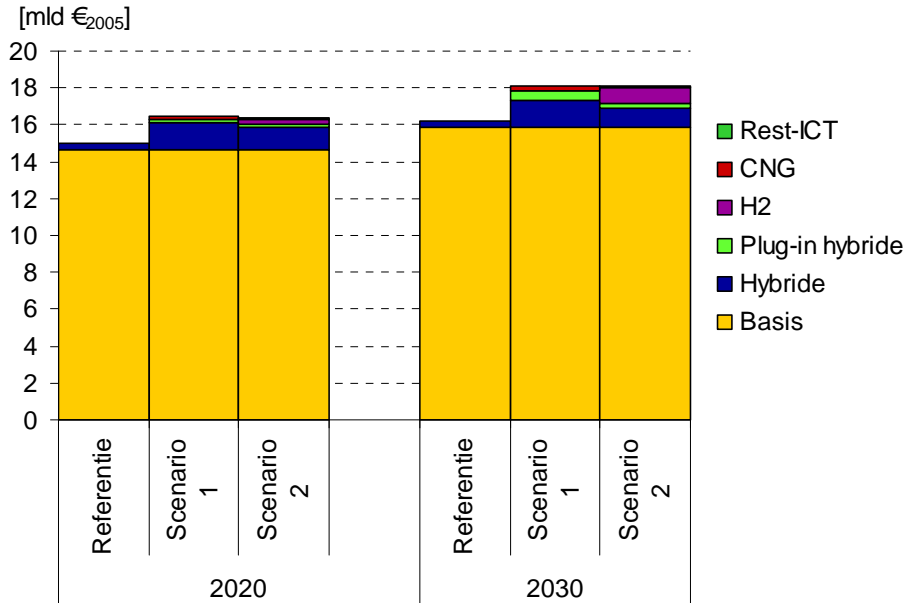


Figuur S.3 Jaarlijkse brandstofkosten wegverkeer, excl. accijns en BTW

Wagenpark innovatiescenario's in 2030 ongeveer 12% duurder op jaarbasis

Als alleen gekeken wordt naar het wagenpark, zijn de kosten 12% hoger dan in het referentiescenario. Deze kostenstijging kan in perspectief geplaatst worden door op te merken dat in de afgelopen 15 jaar, tussen 1990 en 2005, de prijs van personenauto's met 18% gestegen is. Dat is gemiddeld 1,1% per jaar (in reële termen). De voornaamste reden hiervoor is waarschijnlijk dat er meer grotere en luxere auto's werden verkocht.

Om de jaarlijkse (meer-)uitgaven van het wagenpark te vertalen naar jaarlijkse kosten is gekozen voor een afschrijving op basis van een annuïteit met als uitgangspunten een looptijd van 10 jaar en een rente-/discontovoet van 4%, die gebruikt mag worden als vanuit nationale kosten perspectief wordt gekeken. Figuur S.4 presenteert de jaarlijkse meerkosten voor de vervanging van het wagenpark, exclusief BTW, subsidies en BPM. Op jaarbasis gaat het in totaal om ongeveer € 2 mld hogere kosten voor het wagenpark versus het referentiescenario. De figuur geeft de meerkosten per innovatieve brandstof/technologie, maar bevat ook de 'basis'-kosten voor het wagenpark. 'Basis'-kosten zijn de kosten van het voertuig dat gekocht was als niet voor een innovatieve brandstof of technologie was gekozen: de non-hybride binnen de gebruikte brandstof/voertuig combinatie. De totale kosten voor het wagenpark van de innovatiescenario's zijn in 2030 12% hoger dan in het referentiescenario. De jaarlijkse meerkosten van de innovatiescenario's zijn vergelijkbaar qua orde van grootte en ongeveer zes keer zo hoog als de meerkosten in het referentiescenario. Het grootste deel van de meerkosten is het gevolg van de hybridisering van het wagenpark, alhoewel de meerkosten van waterstofvoertuigen in 2030 ook een groot deel van de meerkosten van Scenario 2 veroorzaken. Dit verschil ten opzichte van het referentiescenario is deels veroorzaakt doordat in het referentiescenario de meerkosten van hybrides relatief wat hoger blijven doordat de schaalvoordelen van innovatie niet behaald worden.



Figuur S.4 Jaarlijkse kosten wagenpark

Netto jaarlijkse kosten innovatiescenario's 5% hoger dan referentie in 2030

De jaarlijkse kosten voor de innovatiescenario's zijn bepaald door de jaarlijkse meerkosten van het wagenpark te verminderen met de bespaarde brandstofkosten, in vergelijking met het referentiescenario - de lage variant uit de beoordeling van Schoon en Zuinig. Opgemerkt moet worden dat de netto-kosten een combinatie zijn van (besparings-)opties met een goede kosten-baten verhouding, en opties met initieel hoge kosten zoals waterstof. Als de relatieve stijging wordt bepaald op basis van de totale kosten (brandstof en kosten wagenpark) hebben de innovatiescenario's 5% hogere kosten in 2030 ten opzichte van het referentiescenario.

De netto-kosten van Scenario 1 *Generieke innovatie* dalen van ca. € 1,4 mld (2020) naar ca. € 1,1 mld (2030) per jaar. Scenario 2 *Technologie specifieke innovatie* leidt tot iets lagere kosten dankzij een grotere besparing op de brandstof. De baten in termen van bereikte CO₂-emissiereductie zijn aanzienlijk. De kosteneffectiviteit van innovatie in de transportsector is in 2020 rond € 200 per ton vermeden CO₂, in 2030 daalt dit tot onder € 100 per ton CO₂. Aangezien niet alle kosten in de studie zijn meegenomen (bijvoorbeeld onderhoudskosten), en hier de kosteneffectiviteit van een *pakket* maatregelen is bepaald, kan deze niet exact vergeleken worden met resultaten uit andere studies. Toch kunnen de kosten enigszins in perspectief worden geplaatst door op te merken dat de kosten van wind op zee, of CO₂-afvang en -opslag rond de 50 €/ton CO₂ liggen (Daniëls en Farla, 2006). In de beoordeling van het beleidspakket Schoon en Zuinig (Menkveld, 2007), is uitgegaan van een CO₂-prijs van 20 tot 50 €/ton in 2020.

Vergeleken bij maatregelen in andere sectoren, lijkt de kosteneffectiviteit van dit pakket aan innovatiemaatregelen in de transportsector niet gunstig. Hierbij kunnen echter een paar kanttekeningen geplaatst worden. Allereerst zijn de effecten op andere beleidsdoelen (voorzieningszekerheid, luchtkwaliteit) niet gekwantificeerd, evenmin als maatschappelijke baten zoals veiligheid en comfortverbetering voor de consument. Ten tweede, zoals recentelijk benadrukt door de adviesraden (RV&W, VROM-raad, AER, 2008), groeien de CO₂-emissies in de transportsector zo snel dat deze sector zelf een bijdrage aan emissiereductie zal moeten leveren. Ten derde kunnen hogere prijzen van fossiele brandstoffen leiden tot een betere kosteneffectiviteit.

In deze studie is namelijk gerekend met benzine- en dieselprijzen die in 2030 ongeveer 10% lager zijn dan de gemiddelde prijzen in het jaar 2007. Als de brandstofprijzen juist blijven stijgen, bijvoorbeeld tot ongeveer 15% boven het niveau van 2007, verbetert de kosteneffectiviteit aan-

zienlijk. De kosteneffectiviteit is dan in 2020 rond € 160 per ton vermeden CO₂ en daalt onder de 50 €/ton CO₂ in 2030. Bovendien hebben de inschattingen van de meerkosten van de voertuigen en de biobrandstoffen een onzekerheidsmarge. Bij een gunstige ontwikkeling (ondermarge meerkosten) en de genoemde hogere energieprijzen kan zelfs het 'break even point' bereikt worden, waarbij er vanuit nationale optiek geen meerkosten meer zijn. Na 2030 zal de kosteneffectiviteit ook nog verder verbeteren.

Wezenlijk is wel dat heel Europa inzet op innovatie in de transportsector, zodat grote volumes van nieuwe technologieën worden bereikt en de kosten als gevolg van leereffecten en schaalvoordelen kunnen dalen. Als Nederland alleen staat in het stimuleren van innovatie, kunnen de kosten fors hoger uitvallen. De kosteneffectiviteit blijft dan in 2030 voor beide scenario's rond € 175 per ton CO₂.

Uit de gevoeligheidsanalyses kan tenslotte nog geconcludeerd worden dat de besparingsopties zuinige banden en ICT zeer kosteneffectief zijn. Zonder deze brandstofbesparende technologieën zouden in 2020 de jaarlijkse brandstofkosten van de innovatiescenario's zelfs hoger zijn dan het referentiescenario. Ook een doorbraak die leidt tot een goedkopere hybride technologie zal de kosteneffectiviteit van de innovatiescenario's sterk verbeteren doordat er nog steeds bespaard wordt op de jaarlijkse brandstofkosten, maar nu tegen veel lagere meerkosten voor het wagenpark.

Niet alle baten zijn gekwantificeerd

De maatschappelijke baten van de innovatiescenario's zijn niet eenvoudig te kwantificeren. De brandstofbesparing levert naast de financiële besparing ook een positief effect op de luchtkwaliteit (NO_x, SO_x, etc) en vermindert bovendien de afhankelijkheid van fossiele brandstoffen. Voor de consument leveren de innovaties ook comfortverbetering (hybride, brandstofcel, ICT) en verhoogde veiligheid (ICT) op. Daarnaast zal de sterke impuls om te innoveren mogelijk leiden tot technologische ontwikkelingen die de Nederlandse positie binnen de auto-industrie kunnen versterken. Ook voor de Nederlandse wegtransportsector zijn positieve bij-effecten te verwachten. Deze maatschappelijke baten zijn over het algemeen moeilijk te kwantificeren en zijn in deze studie niet verder geanalyseerd.

Duidelijk is wel dat de meerkosten van de innovaties niet alleen als CO₂-reductiekosten kunnen worden beschouwd. Omdat er geen volledige kosten-baten analyse uitgevoerd is, dienen de in de vorige paragrafen weergegeven kosten en kosteneffectiviteit in dit perspectief geplaatst te worden.

Voor consumenten valt de kosteneffectiviteit wellicht gunstiger uit

De kosten zijn alleen bekeken vanuit het perspectief van de Nederlandse economie, ofwel de 'nationale kosten'. Voor een consument kan het voordeel van uitgespaarde brandstofkosten groter zijn, omdat er ook minder accijns betaald hoeft te worden. Dit is natuurlijk wel afhankelijk van de manier waarop accijnzen en andere belastingen in de toekomst vormgegeven worden. Bovendien heeft de overheid de mogelijkheid om met BPM-differentiatie bepaalde voertuigen financieel nog aantrekkelijker te maken. Verder is een deel van de consumenten bereid meer te betalen voor een auto met de nieuwste innovaties, zoals in de afgelopen jaren ook gebleken is. Het zal daarom belangrijk zijn om aan het imago van zuinige en innovatieve auto's te werken en ook de andere voordelen zoals een stille motor en high-tech aspecten te benadrukken.

S.4. Wat is er voor nodig?

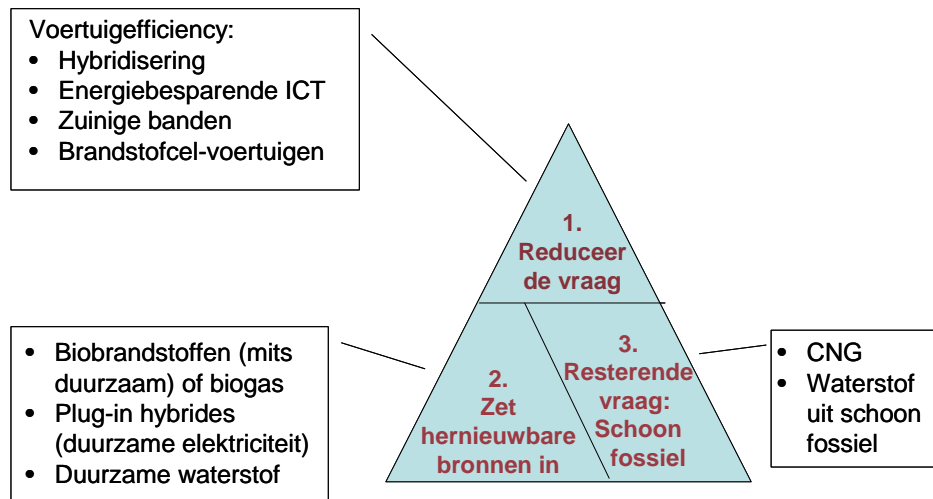
In de innovatiescenario's wordt verondersteld dat het programma 'De auto van de toekomst gaat rijden' geïmplementeerd wordt, en de Nederlandse overheid gedurende langere tijd blijft inzetten op innovatie. Daarnaast wordt een aantal randvoorwaarden verondersteld. Essentieel is een hoog innovatietempo en innovatiebeleid in de rest van Europa. Internationale ontwikkelingen bepalen namelijk in hoge mate of de kosten van innovatieve technologie zullen dalen en of deze überhaupt op de markt beschikbaar komen. Daarnaast is uitgegaan van voldoende maatschappelijk draagvlak om innovaties in Nederland op te pakken. Ook is een voldoende hoog tempo van technologische ontwikkeling verondersteld, rekening houdend met meevallers of tegenvallers bij specifieke technologieën.

Het programma 'De auto van de toekomst gaat rijden' draagt bij aan het scheppen van genoemde voorwaarden, omdat het zich niet alleen richt op het in Nederland introduceren van technische innovaties, maar ook op creëren van maatschappelijk draagvlak bij marktpartijen, consumenten en maatschappelijke organisaties.

Strategische beleidskeuzen

De absolute impact van beleid is afhankelijk van de omvang van het energiegebruik van een bepaalde voertuigcategorie. Daarom is het belangrijk om beleid op personen- en bestelauto's te richten, aangezien deze voertuigen goed zijn voor driekwart van het brandstofverbruik. Daarnaast zijn er meer strategieën voor energiebesparing en emissiereductie in de transportsector:

- Het besparingspotentieel bij bestelauto's is tot nu toe minder benut dan bij personenauto's. Er is in Europees verband nauwelijks beleid op gevoerd, hoewel dit waarschijnlijk gaat veranderen. Het eerder en strakker invoeren van CO₂-normering bij bedrijfsauto's kan daarom nog extra besparing en emissiereductie opleveren.
- Bij het openbaar busvervoer is via concessies een snellere vergroening te bereiken dan bij de meeste andere voertuigtypen, zodat de emissies kunnen dalen met meer dan 60% vergeleken met de referentie, en een verbetering van de stedelijke luchtkwaliteit bereikt kan worden. Hoewel het effect op de emissies van het gehele wegverkeer gering is, kan het busvervoer beschouwd worden als een innovatieniche, waarmee ervaring wordt opgedaan met nieuwe technologie. Daarna kan opschaling volgen naar andere voertuigcategorieën.
- Verder zijn er opties die over de hele linie van het wagenpark effect hebben, waardoor de omvang van het effect groot is. Dit zijn biobrandstoffen, zuinige banden, en energiebesparende ICT. Deze opties zijn, zij het soms in een minder duurzame vorm, nu al grotendeels beschikbaar. Het voordeel van biobrandstoffen is daarnaast dat ze tot een substantieel percentage toegepast kunnen worden in het bestaande wagenpark.
- Alle opties die de mobiliteitsvraag reduceren, hebben als bijeffect dat er minder brandstof nodig is om in de resterende vraag te voorzien. Dit betekent bijvoorbeeld dat er met dezelfde hoeveelheid biobrandstoffen een groter aandeel behaald kan worden. In het verlengde hiervan wordt vaak de Trias Energetica gehanteerd. In Figuur S.5 worden de innovatieve opties, zoals in deze studie bekeken, geprioriteerd volgens de principes van de Trias Energetica.



Figuur S.5 Toepassing van de Trias Energetica op de in deze studie bekeken opties

Nederland in Europa

Aangezien de uiteindelijke efficiëntie van het Nederlandse wagenpark sterk afhankelijk is van het Europese voertuigaanbod, is het raadzaam om wat CO₂-normering betreft sterk in te zetten op hoge ambities in Brussel. Vervolgens is het, via bijvoorbeeld de BPM-differentiatie, altijd mogelijk om binnen Nederland een verschuiving te bewerkstelligen naar de meer efficiënte modellen en types. Ook de beschikbaarheid van flexifuel auto's zal Europees geregeld moeten worden. Aangezien voertuigen en brandstoffen op een Europese markt verhandeld worden, is het belangrijk om stimuleringsbeleid continu te blijven afstemmen op de Europese context. Daarnaast is, zoals eerder aangetoond, grootschalige innovatie in de transportsector alleen betaalbaar als Nederland daarin niet alleen staat.

Hoewel geen onderdeel van deze studie, is het toch van belang om ook de mogelijke rol van de Nederlandse industrie naar voren te brengen. Omdat in Nederland maar in beperkte mate voertuigen gemaakt worden lijkt deze beperkt. In Nederland worden echter ook op grote schaal componenten voor voertuigen gemaakt, en ook deze producenten kunnen een belangrijke rol bij innovatie vervullen. Van belang is dat de Nederlandse industrie ten minste meeloopt met de Europese concurrenten. Een insteek op transport innovatie kan dus ook voor de Nederlandse industrie positieve effecten hebben en kan bovendien de kennis en kunde die in Nederland aanwezig is op het gebied van gas, waterstof productie en infrastructuur benutten.

Aangrijpingspunten voor beleid per optie

Er zal nog een vertaalslag gemaakt moeten worden naar specifiek beleid om de verschillende technologieën in de Nederlandse transportsector te introduceren en te stimuleren. Hierbij is het goed om op te merken dat sommige opties veel dichterbij marktintroductie zijn dan andere, en dus een andere benadering vergen. Bij het geven van financiële ondersteuning geldt in alle gevallen dat het belangrijk is om het kostenverschil met de referentie te monitoren, en subsidies op tijd af te bouwen.

Biobrandstoffen worden op dit moment al gestimuleerd door een verplichting. Bij oplopende bijmengpercentages zal daarnaast gewerkt moeten worden aan het stimuleren van E85 via accijnsvrijstelling, het opzetten van een distributie infrastructuur voor E85, en eventueel het (Europees) stimuleren van de aankoop van flexifuel auto's. Gezien de bijna verwaarloosbare meerkosten voor flexifuel auto's zou, analoog aan de VS, in EU-verband gestreefd moeten worden naar een verplichting voor nieuwe auto's als *no-regret* maatregel. Voor de introductie van tweede generatie brandstoffen is nog technische innovatie nodig.

Voor hybride voertuigen is het met name nodig dat er een groter aanbod op de markt komt, bijvoorbeeld via de Europese CO₂-normering. De vraag kan met fiscale instrumenten, zoals BPM-differentiatie, gestimuleerd worden. Hetzelfde geldt voor plug-in hybrides. Hier zijn de meer-kosten een nog grotere barrière.

Voor CNG is het raadzaam dat de overheid een lange termijn visie ontwikkelt. De transitie naar biogas kan daar onderdeel van zijn, zoals onder meer aanbevolen door de werkgroep Groen Gas (Platform Nieuw Gas, 2007). CNG wordt ondersteund via de brandstof (lage accijns) en het voertuig (BPM-differentiatie). Ook zijn er subsidies beschikbaar voor infrastructuur opbouw. Opgemerkt wordt nog dat Nederland rond 2030 waarschijnlijk een netto-importeur van aardgas geworden zal zijn.

Voor waterstof is het op dit moment vooral van belang om (Europees) grootschalige demonstratieprojecten op te (laten) zetten, en de markt een lange termijn perspectief te bieden. Financiële ondersteuning moet voorlopig nog gegeven worden op twee fronten, zowel voor de brandstof (waterstof productie en infrastructuur) als het voertuig. Technologiespecifieke ondersteuning moet geleidelijk afgebouwd worden en vervangen door technologie-indifferente (generieke) ondersteuning, zoals een CO₂-heffing, hogere accijns, of op CO₂-emissie gedifferentieerde kilometerbeprijzing.

S.5. Discussie

Zoals bij alle scenariostudies, zijn ook de resultaten van deze studie met de nodige onzekerheden omgeven. Allereerst wordt opgemerkt dat de innovatiescenario's voortbouwen op een specifiek achtergrondscenario, namelijk het Global Economy scenario met hogere brandstofprijzen uit de WLO studie (CPB/MNP/RPB, 2006). Dit scenario kenmerkt zich door een relatief hoge economische groei van 2,9% per jaar, en daarom ook een sterke groei in de mobiliteitsvraag. De huidige lagere economische groei, in combinatie met hogere olieprijsen, zou kunnen leiden tot een meer gematigde mobiliteitsontwikkeling. De verkeersprestatie van de verschillende voertuigtypen en de ontwikkeling van de verhouding tussen benzine, diesel en LPG zijn gebaseerd op dit scenario. Wijzigingen in deze uitgangspunten zijn niet bekeken.

Verder is het inherent aan innovaties dat de mate van succes en het daadwerkelijke effect ervan niet bij voorbaat aan te geven is. Dat impliceert dat alle resultaten met marges beschouwd moeten worden. De mate van onzekerheid en risico in de beide innovatiescenario's is niet geheel vergelijkbaar. De route via hybridisering (Scenario 1) is vanuit de huidige kennis over effecten, kosten en stand van de techniek minder onzeker dan een route via waterstof (Scenario 2), in ieder geval op de beschouwde termijn tot 2030. Daarnaast zijn er onzekerheden in de gehanteerde aannames. Zo zijn de besparingseffecten van ICT onzeker, omdat er sprake kan zijn van een 'rebound effect'. Dat wil zeggen dat een verbeterde verkeersdoorstroming, als gevolg van intelligente transportsystemen, een groei in de mobiliteit kan veroorzaken. Dit effect is in de berekeningen niet meegenomen.

Ook de gehanteerde projecties van brandstofprijzen en de kosten van het wagenpark moeten met marges beschouwd worden. Brandstofprijzen worden deels bepaald door het verloop van de ruwe olieprijs. Deze afhankelijkheid is met een gevoeligheidsanalyse bekeken. Daarnaast zal de dynamiek op de markt voor biomassa de komende jaren bepalend zijn voor de ontwikkeling van de prijzen van biobrandstoffen. De snelheid waarmee de kosten van innovatieve voertuigen zullen dalen zal afhankelijk zijn van de mate waarin leereffecten en schaalvoordelen daadwerkelijk optreden. Gezien de spreiding die kostencijfers voor voertuigen in de literatuur aangetroffen is, kan de feitelijke ontwikkeling van de meerprijs in de orde van 30% tot 50% afwijken. Ook zijn onderhoudskosten en verzekeringen buiten beschouwing gebleven.

Er is bij de doorrekening gekozen voor een beperkt aantal innovaties waarvan een substantieel effect en marktaandeel verwacht mag worden op termijn 2020-2030. Andere opties worden daarmee niet gediskwalificeerd. Er zijn twee innovatiescenario's geconstrueerd die beide realiseerbaar zouden kunnen zijn, maar dat sluit vele andere mogelijkheden natuurlijk niet uit. Mocht er bijvoorbeeld een doorbraak komen in elektriciteitsopslag in batterijen, dan zou het voertuigpark zich wel heel anders kunnen ontwikkelen.

Tot slot zijn er onzekerheden van een andere orde. De maatschappelijke dynamiek die zich uit in draagvlak, politieke gevoeligheid, meer of minder succesvolle lobby's en technische en organisatorische implementatiemissers zal mede het succes van duurzame innovatie in het wegverkeer bepalen. Het programma 'De auto van de toekomst gaat rijden' onderkent het belang van deze factoren.

Aanbevelingen voor vervolgonderzoek

In deze studie is een verkenning uitgevoerd naar de effecten en kosten van een aantal innovaties in de transportsector die in het programma 'De auto van de toekomst gaat rijden' een grote rol spelen. Naar aanleiding van de resultaten kan een aantal mogelijke vervolgvragen geformuleerd worden.

- Consequenties voor beleidskeuzes. Er kan verder ingegaan worden op de vraag wat de overheid moet doen om deze scenario's te verwezenlijken. Ook kan de connectie tussen de activiteiten van programma 'De auto van de toekomst gaat rijden', en de lange termijn doelen expliciet gemaakt worden, en kan er een prioritering aangebracht worden aan de hand van de omvang van de effecten van specifieke innovaties.
- Het perspectief van de eindgebruiker. De meerkosten zullen gunstiger uitvallen als gerekend wordt met BPM voor personenauto's en bestelwagens, en accijnzen voor brandstoffen. Daarnaast is de consument wellicht bereid om meer te betalen voor innovatieve schone technologie omdat die ook comfortwinst oplevert.
- Er zou nader onderzoek gedaan kunnen worden naar de verwachte penetratie en het energiebesparingseffect van ICT (interactieve voertuigelektronica, automatische voertuig geleiding en feedback in de auto).
- Andere achtergrondscenario's, met name het effect van een lagere economische groei, hogere olieprijsen, en effect op de mobiliteitsontwikkeling.

1. Inleiding

Het programma ‘De auto van de toekomst gaat rijden’ (V&W, 2007) richt zich op het in Nederland versneld op de markt brengen van innovaties voor stille, schone, zuinige, slimme en veilige mobiliteit. Daarbij heeft de overheid behoefte aan een doorrekening van de mogelijke effecten van specifieke innovaties op het energieverbruik en de CO₂-emissies van het wegverkeer. Voor dit doel heeft ECN twee scenario’s geconstrueerd en doorgerekend. Dit is gebeurd in samenspraak met de betrokkenen bij het programma ‘De auto van de toekomst gaat rijden’ en het platform Duurzame Mobiliteit.

Afbakening

De scenario’s beperken zich tot personenauto’s, bedrijfsauto’s en busvervoer, in lijn met de scope van het programma ‘De auto van de toekomst gaat rijden’. De beelden zijn realiseerbaar en richten zich op 2020 en 2030. De exercitie is niet bedoeld voor het onderbouwen van een bepaalde ambitie, bijvoorbeeld de ambitie geformuleerd door het Platform Duurzame Mobiliteit, maar wil in kaart brengen wat er redelijkerwijs verwacht kan worden als Nederland en Europa inzetten op innovatie in het wegverkeer. De scenario’s zijn in overleg met de opdrachtgevers ingevuld. ECN heeft haar kennis ingebracht om eventuele bijstellingen voor te stellen. Daarnaast heeft ECN via een jaargangenbenadering in het TEMPO-model de potentiële penetratie van een aantal innovatieve technologieën bijgesteld naar realistische waarden. De definitieve scenario-invulling is goedgekeurd door de opdrachtgevers.

Tot slot wordt opgemerkt dat het programma ‘De auto van de toekomst gaat rijden’ op een aantal punten een veel bredere insteek heeft dan datgene wat in deze studie is beschouwd, en zich allereerst richt op het jaar 2011. Dit rapport is dus niet te beschouwen als een volledige doorrekening van het programma, en ook niet bedoeld om aanbevelingen te doen voor een invulling van het beleid. Een evaluatie van de consequenties voor geluid, luchtkwaliteit en veiligheid is geen onderdeel van de studie.

Leeswijzer

Het rapport is als volgt opgebouwd. In Hoofdstuk 2 wordt een overzicht gegeven van de belangrijkste mogelijkheden voor duurzame innovatie in voertuigaandrijving en brandstoffen in het wegverkeer. Hoofdstuk 3 beschrijft vervolgens de gehanteerde scenario’s, waarna Hoofdstuk 4 de achterliggende gegevens documenteert. Hoofdstuk 5 presenteert de resultaten in termen van energiebesparing, CO₂-emissiereductie en kosten van de innovatiescenario’s. In Hoofdstuk 6 wordt een aantal gevoeligheidsanalyses beschreven. In Hoofdstuk 7 tenslotte, worden conclusies en aanbevelingen geformuleerd.

2. Schone technologieën en hun potentieel

Dit hoofdstuk geeft een kort overzicht van de technische mogelijkheden voor duurzame innovaties in het wegverkeer. Voor een uitgebreidere behandeling wordt verwezen naar bijvoorbeeld (King, 2007). Deze mogelijkheden vallen uiteen in twee groepen, namelijk efficiencyverbetering en alternatieve brandstoffen. Gedragsverandering en vermindering van de mobiliteitsvraag zijn belangrijk voor het reduceren van CO₂-emissies, maar vallen buiten de scope van deze studie. Ook alternatieve, mogelijk kansrijke motorconcepten of brandstoffen zoals de persluchtauto zijn buiten beschouwing gebleven, omdat prioriteit is gegeven aan opties waarvoor in 2020-2030 een substantieel marktaandeel verwacht kan worden. Dit is ook in lijn met de prioriteiten van het programma 'De auto van de toekomst gaat rijden'. Tot slot wordt opgemerkt dat de interne verbrandingsmotor ook nog verder verbeterd kan worden, zie (TNO/IEEP/LAT, 2006) of (McKinsey, 2007). Verwacht mag worden dat deze ontwikkeling onder invloed van de EURO-normen en Europese CO₂-normering de komende jaren door zal gaan.

2.1 Efficiencyverbetering

2.1.1 Hybrides en plug-in hybrides

De opmars van de hybride auto is al begonnen. Hybride voertuigen combineren een verbrandingsmotor met een elektromotor met accu en maken gebruik van de terugwinning van remenergie. De accu wordt onder het rijden opgeladen door een generator die wordt aangedreven door de verbrandingsmotor. Omdat het hybride concept voortbouwt op conventionele technologie is het direct toepasbaar, en het heeft zich in de praktijk bewezen. De brandstofbesparing van hybrides is het grootst in het stadsverkeer, bij veel optrekken en stoppen. Hybride auto's zijn stiller en zuiniger, en stoten daarom minder CO₂, NO_x, SO_x en fijn stof uit.

De huidige 'eerste generatie' hybride die werkt met een dubbele aandrijflijn kan opgevolgd worden door de 'tweede generatie' waar de verbrandingsmotor nog slechts als elektriciteitsgenerator functioneert. Als de opslagcapaciteit van accu's groter wordt, komt de plug-in hybride in beeld (EPRI, 2007). Deze heeft een kleine verbrandingsmotor, en de accu wordt aan het stopcontact opgeladen. De elektrische actieradius is afhankelijk van de omvang van de accu. Een volgende stap zou de vervanging van de verbrandingsmotor door een brandstofcel kunnen zijn, waarmee de overstap naar waterstof gemaakt kan worden. Als er daarentegen een doorbraak komt in de opslagcapaciteit van de accu's, is een doorontwikkeling naar all-electric voertuigen te verwachten.

Bij sterke CO₂-regulering is de hybride auto de meest realistische korte termijn optie, en kan een sterke marktgroei verwacht worden voor dit type auto. Voor plug-in hybrides zijn er additionele barrières door de meerkosten van het grotere accupakket, en de beperkte beschikbaarheid van oplaadvoorzieningen. Zo had in 2006 slechts twee miljoen van de zeven miljoen huishoudens een garage of carport en kon dus thuis opladen. Dit vormt een indicatieve bovengrens voor het aantal auto's dat voorlopig als plug-in kan worden uitgevoerd.

Vanwege de voordelen van hybride aandrijving in het stadsverkeer, zijn diverse fabrikanten bezig met de ontwikkeling van hybride aandrijfsystemen voor bussen. Voor vrachtwagens is voornamelijk de terugwinning van remenergie interessant.

2.1.2 Brandstofcelvoertuigen

In een brandstofcel wordt waterstof met zuurstof omgezet in water(damp) en elektriciteit. Omdat waterstof bij verbinding met zuurstof alleen waterdamp oplevert, kan een brandstofcelsysteem op zichzelf als een schone vorm van energieopwekking worden beschouwd. Het effect op emissies wordt bepaald door de manier waarop de waterstof wordt geproduceerd (emissie over de gehele keten). Waterstof kan bijvoorbeeld emissievrij worden geproduceerd uit duurzame bronnen zoals wind en PV via electrolyse. Ook kan de waterstof lokaal worden geproduceerd via een aardgasreformer. Hierbij komt CO₂ vrij dat op dit niveau niet kan worden afgevangen. Voordelen van een brandstofcel zijn: een hoog elektrisch rendement, modulaire opbouw, geluidsarm bedrijf en weinig onderhoud (weinig bewegende delen) en geen emissies.

Brandstofcelvoertuigen bevinden zich in het stadium van onderzoek, ontwikkeling en demonstratie. De meeste grote autofabrikanten hebben, soms in een samenwerkingsverband met leveranciers van brandstofcelsystemen, prototypes brandstofcelauto's en -bussen gebouwd en beproefd. Zie verder de discussie in combinatie met de energiedrager waterstof, in Paragraaf 2.2.3.

2.1.3 Zuinige banden

Banden zijn een belangrijke component in de rolweerstand van auto's. Daarnaast dragen ze door het rondraaien ook bij aan het dynamisch moment van de auto. Bij het optrekken moet ook de roterende beweging weer versneld worden.

Het besparingeffect van energiezuinige banden bij lichte voertuigen is circa 5% (4-6,5%). Voor vrachtauto's is het lager (circa 4%). Energiezuinige banden kunnen hier voor 3 tot 4% aan bijdragen en banden beter op spanning houden voor 1 tot 2,5%. Hiervoor zijn wel goede installaties bij tankstations nodig en dienen de gebruikers de juiste kennis en motivatie te hebben. Een ruw wegdek (met kleine hoogteverschillen) kan het verbruik ook met 3 tot 7% verhogen, maar dit geldt voor onverharde wegen. De gladheid van asfalt(snel)wegen is zodanig dat hier niet veel meer valt te verbeteren (ETRMA, 2006).

Op dit moment heeft een groot deel van de nieuwe personenauto's (o.a. door de convenanten met ACEA, JAMA en KAMA) energiezuinige autobanden. Er is voor de autobezitter echter geen informatie beschikbaar over de energiezuinigheid van de banden die daarna (een auto gebruikt over zijn hele levensduur ongeveer 22 banden) op zijn auto gemonteerd worden. Er is nog geen gestandaardiseerde methode om dit te meten. Bij commerciële voertuigen is het aandeel energiezuinige autobanden circa 2-5%.

2.1.4 Energiebesparende ICT - 'de slimme auto'

Het programma 'De auto van de toekomst gaat rijden' dicht ook een belangrijke rol toe aan het inzetten van ICT voor betere verkeersdoorstroming, met als neveneffect een vermindering van het energieverbruik en de emissies van het wegverkeer. Echter, dit effect kan gedeeltelijk teniet gedaan worden doordat een betere doorstroming ook meer mobiliteit uitlokt.

Bij ICT gaat het om een veelheid aan technologieën, van navigatiesystemen en apparatuur in de auto die de automobilist feedback geeft op het rijgedrag, tot interactieve voertuigelektronica, waarmee voertuigen op elkaar inspelen. Nog verdergaand is ICT die de controle over het voertuig op specifieke trajecten overneemt (automatische voertuig geleiding, zoals dat momenteel in de Phileas bus gebeurt²). Voertuigen kunnen in zo'n situatie dicht op elkaar rijden, wat de wegcapaciteit vergroot en het brandstofverbruik vermindert door lagere luchtweerstand. Een barrière hiervoor zal weerstand bij de bestuurder zelf zijn, die controle uit handen zal moeten geven.

² http://www.infrasite.nl/projectreportages/718/projectreportage/projectreportage.php?keuze_cover=1&ID_projecten=718

2.2 Alternatieve brandstoffen

2.2.1 Biobrandstoffen

Biobrandstoffen verminderen de afhankelijkheid van olie, en dragen bij aan de reductie van CO₂-emissies. In principe zijn biobrandstoffen koolstofneutraal, dat wil zeggen dat de koolstof die vrijkomt bij verbranding of vergassing van de biomassa eerder geabsorbeerd is bij de teelt. In de keten van teelt, oogst, transport en omzetting kunnen wel bijkomende emissies van broeikasgassen ontstaan. Er zijn grote verschillen tussen ketens, en binnen ketens. Speciale aandacht is er voor het gebruik van kunstmest bij de teelt, want hierbij kunnen aanzienlijke hoeveelheden van het broeikasgas N₂O in de atmosfeer terecht komen.

Biobrandstoffen zijn technisch gezien goed toepasbaar in het huidige wagenpark (door bijmenging), en worden op dit moment in Nederland al gestimuleerd door een verplichting. Het Biofuels Research Advisory Council heeft voor 2030 de ambitie geformuleerd om in 25% van de Europese vraag voor transportbrandstoffen te voorzien met biobrandstoffen (Biofrac, 2006). Dit is gebaseerd op de aanname dat het technische en duurzame potentieel voor biomassa binnen de EU (EEA, 2006) voldoende is om aan 27% tot 48% van de vraag voor transportbrandstoffen te voldoen, indien alle biomassa voor transportdoeleinden gebruikt zou worden.

Als kanttekening bij deze ambities, moet opgemerkt worden dat er vraagtekens zijn over de duurzaamheid van biomassa, vooral als gekeken wordt naar de volledige keten, van teelt tot eindgebruik. In het bijzonder kan een verandering van landgebruik ten behoeve van grootschalige biomassateelt, zoals ontbossing, een CO₂-uitstoot veroorzaken die niet opweegt tegen de reductie door biobrandstoffen. Dit kan leiden tot een verlies aan biodiversiteit, met name in tropische gebieden (regenwoud). Er is ook onzekerheid over het potentieel, de hoeveelheid biomassa die in de toekomst beschikbaar is voor energiedoelinden, gegeven de vele andere mogelijke toepassingen van biomassa en de beperkte beschikbaarheid van landbouwgrond. Om deze redenen heeft de OECD recentelijk het stimuleren van biobrandstoffen ter discussie gesteld (OECD, 2007). Het kabinet stelt extra eisen aan de duurzaamheid van de teelt en productie van deze biobrandstoffen.

De huidige 'eerste generatie' biobrandstoffen worden geproduceerd uit voedselgewassen, zoals maïs, koolzaad of graan omdat dit proces relatief eenvoudig is. De CO₂-emissiereductie (over de keten) van deze biobrandstoffen is echter beperkt. Zogenaamde 'tweede generatie' biobrandstoffen, bestaande uit hout- of grasachtige gewassen zoals populier of miscanthus, scoren qua CO₂-emissiereductie aanmerkelijk hoger, en leggen minder beslag op landbouwgrond. Voor deze 'tweede generatie' conversieprocessen is nog verdere technologische ontwikkeling en kostendaling nodig.

Op de lange termijn kan in de transportsector overgeschakeld worden naar biowaterstof, toegepast in brandstofcelauto's. Dankzij de grote efficiency van de brandstofcel levert dit het grootste rendement op in termen van gereden kilometers per hectare (Uyterlinde et al., 2007). Voor vrachtverkeer geldt dit waarschijnlijk minder; hier blijft biodiesel op de lange termijn overheersen. Deze biodiesel hoeft niet alleen uit plantaardige olie gemaakt te worden, maar kan onder andere via het Fischer Tropsch proces ook uit andere biograndstof gemaakt worden. Het Fischer Tropsch proces heeft als voordeel dat de eerste stap in het proces (vergasning van biomassa) ook gebruikt kan worden voor waterstofproductie.

2.2.2 CNG en biogas

Het gebruik van aardgas in de vorm van Compressed Natural Gas (CNG) als transportbrandstof kan helpen de import afhankelijkheid van olie te verminderen, en verbetert de lokale luchtkwali-

teit vanwege de lagere uitstoot van fijn stof en NO_x. Dit laatste is via katalysatoren en filters ook bij benzine- en dieselveertuigen te compenseren. Het CO₂-voordeel van aardgas is beperkt. De uitstoot van een aardgasauto is ongeveer 20% lager dan die van een benzineauto en maximaal 5-10% lager dan die van een dieselauto.

Aardgas kan gezien worden als een voorloper van het toepassen van biogas als transportbrandstof, hoewel er sprake is van meerdere onzekerheden. Allereerst hangt het potentieel van biogas af van de hoeveelheid beschikbare en duurzaam geproduceerde biomassa, en is er sprake van concurrentie met andere toepassingen van biomassa. De Werkgroep Groen Gas (Platform Nieuw Gas, 2007) heeft de ambitie geformuleerd dat in 2030 15-20% van de Nederlandse aardgasconsumptie door biogas geleverd kan worden, en dat dit aandeel zou kunnen groeien tot 50% in 2050. Hierbij wordt overigens onderkend dat een groot deel van de daarvoor benodigde biomassa geïmporteerd zal moeten worden. Dit biogas is daarnaast ook goed toepasbaar in de gebouwde omgeving, waar het bijgemengd kan worden in het bestaande gasnet. Vanwege de hoge eisen aan de kwaliteit van gas als motorbrandstof, moet biogas uit een vergistinginstallatie vaak eerst nog worden opgewerkt.

De belangrijkste voorwaarden voor de marktgroei van CNG zijn als volgt:

- Er moet geïnvesteerd worden in een landelijk dekkend netwerk van vulstations. Voor niche-markten, zoals het openbaar busvervoer, kan vaak volstaan worden met een centraal vulpunt, en zijn de voordelen voor de lokale luchtkwaliteit bepalend.
- CNG-voertuigen zullen financieel aantrekkelijk moeten zijn voor de consument. Naar verwachting blijven bi-fuel auto's altijd iets duurder dan benzinevoertuigen.
- Aardgas moet op lange termijn beschikbaar en betaalbaar blijven. De verhouding tussen de Nederlandse aardgasreserve en de productie (de R/P-ratio) was eind 2006 bijna 22 (jaar)³, wat betekent dat de Nederlandse gasvoorraden, bij het huidige productieniveau, rond 2030 uitgeput zullen zijn. Nederland zal op termijn dus een netto-importeur van aardgas worden. Er zal daarom een heldere afweging gemaakt moeten worden tussen de milieuvoordelen op de kortere termijn en strategische risico's op de langere termijn.

2.2.3 Waterstof

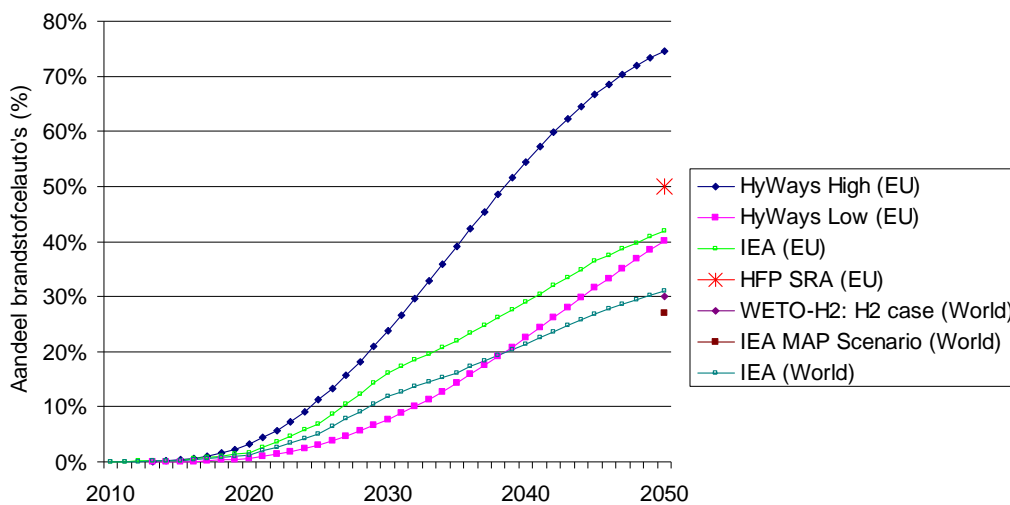
Waterstof kan gezien worden als een energiedrager met een groot potentieel. Net als elektriciteit (en warmte) betreft het hier een koolstofvrije energiedrager die zonder emissies met een hoog rendement kan worden omgezet en uit nagenoeg alle energiebronnen kan worden geproduceerd⁴. Er is echter een aantal significante barrières die overwonnen moeten worden alvorens dit potentieel kan worden benut. Inzet van waterstof is in de transportsector het meest waarschijnlijk bij personenauto's, stadsbussen en bestelbussen (HyWays, 2007). Toepassing in lange afstand transport (bussen, trucks) wordt als minder voor de hand liggend beschouwd, omdat de opslag van voldoende waterstof voor het afleggen van grote afstanden problematisch is en de verbrandingsmotor met een relatief hoge efficiëntie kan worden ingezet zodat het voordeel van een brandstofcelvoertuig beperkt is.

Voor de introductie van toepassingen op waterstof zijn veranderingen nodig in het hele energiesysteem: productie, infrastructuur en eindgebruik. Vooral de meerkosten voor de eindverbruiktoepassing zijn nog zeer hoog, omdat de kostenreductie door schaalvergroting van productie nog vrijwel verwaarloosbaar is. Ingeschat wordt dat de meerkosten bij een totale cumulatieve productie van 100.000 auto's nog steeds significant zijn, maar dat bij een cumulatieve productie

³ Bron: www.energie.nl.

⁴ Waterstof is een dure energiedrager omdat het altijd met rendementsverlies en productiekosten uit andere energiedragers moet worden gemaakt. Waterstof is dan ook alleen maar interessant als het een duidelijke meerwaarde heeft ten opzichte van de andere energiedragers. Dit kan zijn als het gemaakt wordt uit aardgas, waarbij de vrijkomende CO₂ ondergronds wordt opgeslagen, of als het met een veel beter rendement kan worden omgezet in aandrijfenergie, zoals bijvoorbeeld bij het gebruik van brandstofcellen in auto's het geval is.

van rond de 10.000.000 auto's de meerkosten beperkt kunnen zijn (HyWays, 2007). Ter vergelijking: jaarlijks worden in de EU circa 15.000.000 auto's verkocht. In Figuur 2.1 is de ontwikkeling van het aandeel waterstofvoertuigen binnen personenvervoer weergegeven voor een aantal scenario's (Ros, 2007).



Figuur 2.1 *Ontwikkeling van de penetratiegraad van waterstofvoertuigen in personenvervoer*

De introductie van waterstof brengt veranderingen in alle delen van de energievoorziening met zich mee. Zoals al opgemerkt zijn de kosten voor de brandstofcelvoertuigen nu nog zeer hoog en zijn aanzienlijke kostendalingen nodig maar ook mogelijk. Echter, het doorlopen van het noodzakelijke leertraject is alleen mogelijk indien de introductie van waterstof sterk wordt gestimuleerd. Zonder zeer aanzienlijke beleidsondersteuning zal waterstof niet in staat zijn de eerste fase van kostenreductie te doorlopen. Hoge fossiele energieprijzen vormen in deze eerste fase onvoldoende prikkel om de initiële barrières te overwinnen. De analyses in HyWays geven aan dat waterstof bij een olieprijs van \$ 50 - \$ 60 kan concurreren met conventionele brandstoffen nadat het leertraject (deels) is doorlopen. Belangrijkste onzekerheid is nog de snelheid waarmee de waterstoftechnologie in kosten daalt. De totale cumulatieve investering die nodig is om het break-even punt te behalen is zeer gevoelig voor de veronderstelde leersnelheid (de zogeheten progress ratio). Via gerichte R&D ondersteuning kan deze kostendaling beïnvloed worden.

2.2.4 Elektrisch vervoer

Elektrische voertuigen hebben als voordeel dat er op de weg geen broeikasgassen of andere emissies uitgestoten worden. Tot nu toe is grootschalige toepassing van elektrische voertuigen uitgebleven, omdat de opslagcapaciteit van de accu's beperkt is. Echter, recente ontwikkelingen op het gebied van accutechniek en (super-)condensatoren geven wel perspectief (King, 2007).

De actieradius van elektrische voertuigen is veel kleiner in vergelijking tot alternatieven en de oplaadtijd langer, wat betekent dat niet in alle vervoerswensen van consumenten voorzien kan worden. Inzet in lange afstand transport (vrachtverkeer, regionaal en internationaal opererende bussen) is niet waarschijnlijk. Wel zijn elektrische voertuigen goed inzetbaar in een aantal niches, zoals goederentransport in binnensteden. Dit potentieel kan vergroot worden door het creëren van distributiecentra aan de rand van steden. Belangrijkste driver voor het all-electric concept in wegverkeer is vermindering van lokale emissies (zoals fijn stof en NO_x) en geluidsreductie.

3. Constructie van scenario's

In dit hoofdstuk zullen het referentiescenario en de beide innovatiescenario's beschreven worden, startend met de uitgangspunten voor de constructie van de scenario's. De penetratiepaden zoals doorgerekend met het model zijn weergegeven in Tabel 3.6 aan het eind van het hoofdstuk.

3.1 Uitgangspunten

Aangezien deze studie zich richt op het in kaart brengen van de effecten op energiegebruik en emissies van duurzame innovaties in het wegverkeer, is bij de constructie van de scenario's gekozen voor de 'grote brokken': de voertuig- en brandstofinnovaties waarmee naar verwachting op deze vlakken de grootste winst behaald kan worden. Daarnaast zijn de prioriteiten van het programma 'De auto van de toekomst gaat rijden' sturend geweest. Op basis van de inventarisatie in Hoofdstuk 2 zijn daarom de volgende opties gekozen:

- Efficiencyverbetering: hybrides en plug-in hybrides, zuinige banden en energiebesparende ICT.
- Alternatieve brandstoffen: biobrandstoffen, CNG, biogas en waterstof in een brandstofcelauto.

Elektrisch vervoer en waterstof in een verbrandingsmotor zijn buiten beschouwing gelaten, vanwege de verwachte kleine aandelen. Daarnaast zijn verandering van het rijgedrag en mobiliteitsreductie buiten beschouwing gelaten omdat dat geen speerpunten zijn voor het programma 'De auto van de toekomst gaat rijden'.

Er zijn twee innovatiescenario's geconstrueerd, gebaseerd op verschillende transitiepaden, maar met een vergelijkbaar innovatietempo. De innovatiescenario's kunnen als volgt kort gekarakteriseerd worden.

- Scenario 1 *Generieke innovatie*: In Europa en Nederland is maatschappelijk draagvlak en generiek beleid voor innovatie, maar er is beperkte coördinatie. Daarom is een diverse mix van technologieën succesvol, maar zijn de voornaamste barrières voor de opkomst van de waterstofauto niet overwonnen.
- Scenario 2 *Technologie specifieke innovatie*: Europa en Nederland zetten gecoördineerd in op innovatie, er worden keuzes gemaakt voor waterstof en brandstofceltechnologie, waardoor waterstof kan doorbreken.

Als beleidsarme achtergrond is gekozen voor het scenario Global Economy met hoge brandstofprijzen uit de WLO-studie (CPB/MNP/RPB, 2006), afgekort WLO GE-HP. Dit scenario kenmerkt zich door een relatief hoge economische groei van 2,9% per jaar, en daarom ook een sterke groei in de mobiliteitsvraag. De verkeersprestatie van de verschillende voertuigtypen en de ontwikkeling van de verhouding tussen benzine, diesel en LPG zijn gebaseerd op het WLO GE-HP scenario. De innovatiescenario's worden vergeleken met een referentiescenario, wat correspondeert met de lage variant in de beoordeling van het beleidspakket Schoon en Zuinig (Menkveld et al., 2007). Deze keuze is gemaakt om de vraag te kunnen beantwoorden wat extra innovatie kan bereiken ten opzichte van de inspanning die in het beleidsprogramma Schoon en Zuinig al gepleegd wordt.

3.2 Beschrijving van de scenario's

3.2.1 Overzicht

Tabel 3.1 geeft een kort overzicht van de invulling van de scenario's. In de volgende paragrafen wordt deze invulling verder besproken en onderbouwd.

Tabel 3.1 *Kerngegevens gehanteerde scenario's*

Referentie: S&Z 'laag' voor het wegverkeer	Scenario 1: NL en EU generieke innovatie inspanning	Scenario 2: NL en EU specifieke innovatie inspanning (H ₂)
Beleidspakket Schoon en Zuinig: <ul style="list-style-type: none"> • Kilometerbeprijzing • 130 g/km in 2015 (personenauto's) leidend tot 9% hybride auto's in 2020 • Europese CO₂-normering voor bestelauto's met ruime normen • Fiscale vergroening mobiliteit • Voorlichting over gedragsverandering 	Bovenop referentie: <ul style="list-style-type: none"> • Hybride technologie grootschalig toegepast • CNG bij (bestel)auto's en bussen • Beperkt aandeel waterstofbussen • Vrachtwagens 15% hybride 	Bovenop referentie: <ul style="list-style-type: none"> • Waterstofauto sterk in opkomst (20% in 2030) • Ook H₂ bij (bestel)auto's en bussen • Groei hybrides iets minder sterk • CNG beperkt bij bussen • Vrachtwagens: 15% hybride
Biobrandstoffen: 10% in 2020 en verder	20% in 2020, 30% in 2030	15% in 2020, 20% in 2030
Zuinige banden: 25% bij personenauto's, 2-5% bij commerciële voertuigen	Sterke groei marktaandeel zuinige banden en energiebesparende ICT	Volledige penetratie zuinige banden in 2030, ICT 90% in 2030

In dit rapport wordt ook een vergelijking gemaakt met de hoge variant uit de beoordeling van Schoon en Zuinig. Het beleidspakket 'Schoon en Zuinig Hoog' verschilt op de volgende punten van 'Schoon en Zuinig Laag' (de referentie):

- In Schoon en Zuinig Hoog wordt eerder begonnen met aanscherping van de CO₂-normering van personenauto's: 130 gr/km in 2012, en aanscherping naar 95 gr/km in 2020. Ook voor bestelauto's wordt de CO₂-normering eerder en sterker ingezet.
- Een hoger aandeel biobrandstoffen (20%) in 2020 dan Schoon en Zuinig Laag (10%).

Bij het invullen van de innovatiescenario's is per voertuigcategorie gekeken wat een ambitieus maar realistisch aandeel van de innovatieve technologieën zou kunnen zijn. Hierbij is gebruik gemaakt van literatuur (zie Hoofdstuk 2) en expert judgement. Uitgangspunt was ook dat de scenario's zich voldoende van elkaar zouden moeten onderscheiden.

De scenario's zijn in overleg met de opdrachtgevers ingevuld. Met behulp van het TEMPO-model⁵ is nagegaan of een bepaalde penetratiesnelheid ook daadwerkelijk mogelijk is, gegeven de opbouw van het huidige wagenpark. De definitieve scenario-invulling is goedgekeurd door de opdrachtgevers. In Tabel 3.2 wordt een overzicht gegeven van de aannames op voertuigniveau.

⁵ Het TEMPO-model (Transport Emissions Model for POLicy evaluation) van ECN heeft een jaargangenopbouw, waardoor het nieuwe technologieën in de transportsector goed door kan rekenen, zie ook Bijlage A.

Tabel 3.2 *Overzicht van de gehanteerde aannames en onderbouwing per scenario per voertuigcategorie*

	Scenario 1 generieke innovatie	Onderbouwing	Scenario 2 Technologie specifieke innovatie	Onderbouwing
Personenauto's				
Hybride	In 2020 wordt 40% van de vervoersprestatie van alle benzine- en dieselauto's uitgevoerd door (plug-in) hybrides, dit groeit naar 80% in 2030. In 2015 is 60% van de nieuw-verkochte auto's hybride, in 2020 meer dan 80%.	De hybride auto wordt dominant omdat deze voortbouwt op conventionele technologie. Vanuit een marktaandeel van 0,06% in 2005 en gegeven de leeftijdsopbouw van het wagenpark is dit een behoorlijk ambitieuze groei.	Hybride auto (incl. plug-in) groeit fors, maar iets langzamer na 2020 tot een marktaandeel van 60% in 2030. In 2015 is 50% van de nieuw-verkochte auto's hybride, in 2020 60%.	Aangenomen is dat de groei van de hybride afvlakt omdat deze wordt opgevolgd door de brandstofcel auto
Plug-in hybride	Plug-in hybrides hebben een marktaandeel (binnen de hybrides) van 6% in 2020 en 15% in 2030. Dit correspondeert met ongeveer 2,5% (2020) en 12% (2030) marktaandeel in vervoersprestatie van benzine en diesel.	Als indicatieve bovengrens is er rekening mee gehouden dat er ca. 2 mln carports en garages in Nederland zijn. Uitgaande van 8 mln auto's is de plug-in penetratie maximaal 25%.	Plug-in hybrides hebben een marktaandeel (binnen de hybrides) van 5% in 2020 en 10% in 2030. Dit correspondeert met ongeveer 2% (2020) en 6% (2030) marktaandeel in vervoersprestatie van benzine en diesel.	De groei is beperkter dan in Scenario 1 omdat de focus van het innovatiebeleid ligt op waterstof.
CNG/biogas ⁶	Het aandeel van aardgasauto's in de voertuigkilometers groeit naar zo'n 6% in 2020 en 10% in 2030.	Inschatting van ECN/PDM, voor de situatie dat Nederland inzet op CNG.	Het marktaandeel van CNG is verwaarloosbaar.	Aanname dat er in dit scenario geen uitgebreide distributie infrastructuur voor CNG wordt aangelegd en geen stimuleringsbeleid wordt gevoerd.
Waterstof /brandstofcel voertuig	Het marktaandeel van de waterstofauto is verwaarloosbaar.	In dit scenario blijven waterstofauto's duur en wordt er geen stimuleringsbeleid gevoerd.	De groei van de brandstofcelauto start in 2020 met 4%, naar 20% van de auto-kilometers in 2030.	Studies verwachten een aandeel van 7-24% in 2030, zie Figuur 2.1 en (HyWays, 2007). In Scenario 2 gekozen voor de hoge kant van de marge.
Bestelauto's				
Hybride	In 2020 is 25% van de bestelauto's uitgevoerd als hybride, dit groeit naar 70% in 2030. Deze groei vergt 25% van de nieuw-verkopen in 2015; 55% in 2020.	Met name interessant voor bestelauto's in stadsverkeer. Er zijn op dit moment nog nauwelijks hybride bestelauto's op de markt.	In 2020 is 20% van de bestelauto's uitgevoerd als hybride, dit groeit naar 50% in 2030. Correspondeert met 20% van nieuwverkopen in 2015, 45% in 2020.	De groei is beperkter dan in Scenario 1 omdat de focus van het innovatiebeleid ligt op waterstof.
CNG	In 2020 wordt 10% van de vervoersprestatie o.b.v. CNG geleverd, 15% in 2030	CNG in bestelauto's heeft een goede economische propositie en is goed toepasbaar in captive fleets.	In 2020 wordt 5% van de vervoersprestatie o.b.v. CNG geleverd, 1% in 2030	In eerste instantie groeit CNG, daarna verdrongen door waterstof
Waterstof /brandstofcel voertuig	Geen bestelauto's op waterstof	Waterstofvoertuigen zijn in dit scenario nog te duur	Bestelauto's op waterstof: 10% van de kilometers in 2020, 25% in 2030	Er vindt specialisatie in de markt plaats: lichte voertuigen op waterstof. Groei kan bij bestelauto's iets sneller gaan dan bij personenauto's omdat er fleetowners zijn, bestelauto's relatief veel in de stad rijden en 's avonds op één locatie terugkomen.

⁶ De scenario's zijn doorgerekend met CNG. In de gevoeligheidsanalyse (zie Hoofdstuk 6) is ook het effect van vervanging van CNG door biogas doorgerekend.

	Scenario 1 generieke innovatie	Onderbouwing	Scenario 2 Technologie specifieke innovatie	Onderbouwing
Bussen ⁷	Uitgangspunt is dat in het busvervoer m.b.v. innovatieconcessies en in captive fleets met relatief korte levensduur veel mogelijkheden zijn om snel een grote penetratie van nieuwe technologie te realiseren. In Scenario 1 leidt dit tot een mix van opties voor stad- en streekbussen.		Idem, met accent op waterstof.	
Hybride	Stad/streekbus: 50% van kilometers in 2020, 100% in 2030. Deze ingroei betekent al 70% hybride in de nieuwverkopen in 2015. Touringcar: 10% in 2010, 20% in 2020	Voor stad- en streekbussen is hybride aantrekkelijke besparingsoptie. Voor touringcars een beperkt aandeel hybride en verder biodiesel (zie onder).	Stad/streekbus: 40% van kilometers in 2020, 80% in 2030 Deze ingroei betekent 55% hybride in de nieuwverkopen in 2015. Touringcar: 10% in 2010, 20% in 2020	Aangenomen is dat de groei van de hybride wat afvlakt omdat deze wordt opgevolgd door de brandstofcelbus. Voor touringcars een beperkt aandeel hybride en verder biodiesel (zie onder).
CNG	Stad/streekbus: 25% van kilometers in 2020, 40% in 2030	Zie algemeen uitgangspunt en haalbaar ingroei tempo.	Stad/streekbus: 20% van kilometers in 2020, 10% in 2030	In eerste instantie groeit CNG, daarna verdrongen door waterstof
Waterstof/ brandstofcel voertuig	Stad/streekbus: 10% van kilometers in 2020, 15% in 2030	Zie algemeen uitgangspunt	Stad/streekbus: 25% van kilometers in 2020, 75% in 2030	Aangenomen is dat waterstofbussen in de stad snel doorbreken.
Vrachtwagens				
Hybride	In 2020 wordt 5% van de vervoersprestatie geleverd met hybride vrachtwagens, in 2030 is dat 15%.	Een hybride aandrijflijn voor vrachtwagen kan een spillover zijn van de ontwikkelingen bij bussen. Met name interessant voor vrachtwagens in het stadsverkeer.	Idem	Aangezien de brandstofcel, vanwege beperkte actieradius en vermogen, niet voor de hand ligt voor vrachtverkeer, is bij het invullen van de scenario's geen onderscheid gemaakt tussen Scenario 1 en 2.
Alle voertuigen				
Biobrandstoffen	Biobrandstoffen totaal: 30% in 2030 Biobrandstoffen: 1e generatie groeit tot 2010, 2e generatie groeit verder	Hierbij is de ambitie nog iets hoger gelegd dan de 25% ambitie die voor heel Europa geformuleerd is in (BioFrac, 2006).	Biobrandstoffen totaal: 20% in 2030 Biobrandstoffen: 1e generatie groeit tot 2010, neemt daarna af, 2e generatie groeit verder maar minder dan in Scenario 1,	Een lager aandeel dan in Scenario 1, omdat aangenomen is dat biomassa ook gebruikt wordt om waterstof te maken.
Stille / zuinige banden	In 2020 heeft 50% van de <i>nieuwe</i> voertuigen zuinige banden, in 2030 90%. Verondersteld wordt dat deze voertuigen ook bij vervanging zuinige banden laten monteren.	Inschatting van ECN/PDM	In 2020 heeft 70% van de <i>nieuwe</i> voertuigen zuinige banden, in 2030 100%. Verondersteld wordt dat deze voertuigen ook bij vervanging zuinige banden laten monteren.	Als gevolg van de Europese beleidscoördinatie wordt deze optie op grote schaal toegepast
Energiebesparende ICT	In 2020 is 50% van de <i>nieuwe</i> voertuigen voorzien van energiebesparende ICT, in 2030 75%	Als gevolg van innovatiebeleid en de huidige trend richting meer in-car apparatuur zoals navigatiesystemen	In 2020 is 75% van de <i>nieuwe</i> voertuigen voorzien van energiebesparende ICT, in 2030 90%	Als gevolg van de Europese beleidscoördinatie wordt deze optie op grote schaal toegepast

De vervoersprestaties geleverd door benzine- en diesel- en LPG voertuigen zijn overgenomen uit het achtergrondscenario. Hierin is een verschuiving richting diesel zichtbaar. De scenario's zijn geïmplementeerd door voertuigen aan alternatieve brandstoffen of aandrijvingen toe te wijzen met behulp van de volgende vuistregels.

- De meeste bestuurders van CNG personenauto's reden vroeger benzine. Waterstof komt deels van benzine, later ook van diesel.
- LPG wordt niet hoger dan in het achtergrondscenario.

⁷ De verdeling tussen de vervoersprestatie van stad/streekbussen en touringcars is volgens verhouding 2:1 geaggregeerd naar één modelcategorie.

3.2.2 Referentiescenario

Het referentiescenario komt overeen met de lage variant in de beoordeling van het beleidspakket Schoon en Zuinig voor het wegverkeer, zoals gekwantificeerd in (Menkveld et al., 2007). Dit correspondeert met:

- 10% duurzame biobrandstoffen in 2020 en daarna.
- 9% hybride auto's in 2020 als gevolg van Europese CO₂-normering voor personenauto's (130 gr/km in 2015 en daarna) en een verbetering van de efficiency van auto's.

Ook zijn effecten ingeboekt van de volgende maatregelen⁸:

- Kilometerbeprijzing.
- Europese CO₂-normering voor bestelauto's met ruime normen.
- Fiscale vergroening mobiliteit.
- Voorlichting over gedragsverandering.

In de kabinetsplannen worden nog meer maatregelen genoemd, waarvoor in (Menkveld et al., 2007) nog geen effectschatting gegeven kon worden, omdat er eerst nader onderzoek nodig is. Uiteraard zijn deze maatregelen hier buiten beschouwing gebleven, evenals maatregelen die zich richten op het niet-wegverkeer.

3.2.3 Scenario 1: generieke innovatie

Er is in Europa en Nederland maatschappelijk draagvlak en beleid voor innovatie, maar er is beperkte coördinatie. Duurzame biobrandstoffen voorzien in 2020 in 20% van de vraag naar transportbrandstoffen in het wegverkeer, en er vindt verdere groei plaats tot een aandeel van 30% in 2030. Ook treedt er een verschuiving op van eerste generatie biobrandstoffen naar de tweede generatie met een betere CO₂-prestatie, zoals gepresenteerd in Tabel 3.3. Stille, zuinige banden, en energiebesparende ICT worden op grote schaal toegepast, maar minder dan in Scenario 2, waar meer Europese coördinatie is. Waterstof speelt geen rol van betekenis.

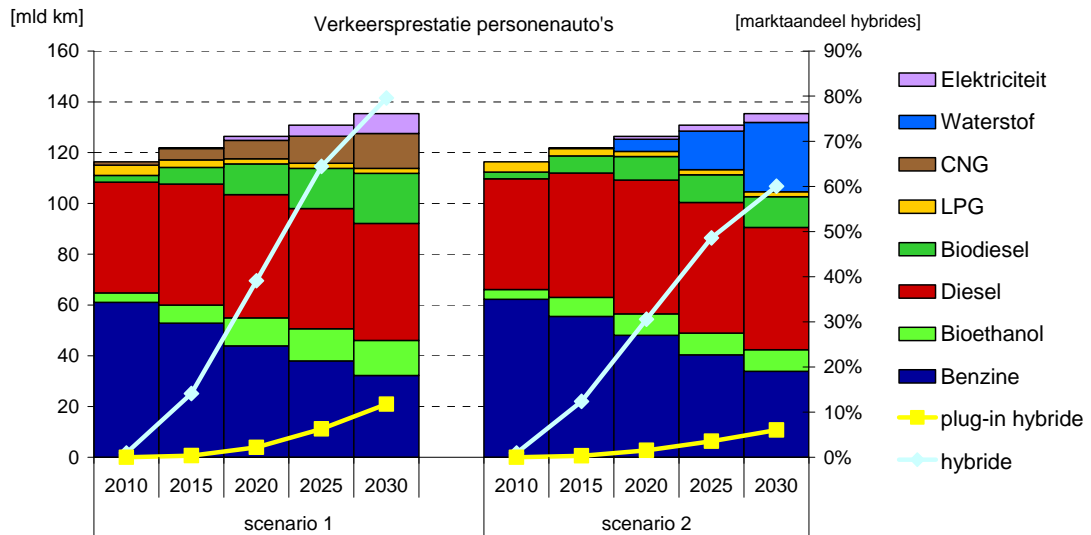
Tabel 3.3 *Scenario 1: aandelen biobrandstoffen, zuinige banden en energiebesparende ICT*

		2010	2020	2030
		[%]	[%]	[%]
Biobrandstoffen	(% brandstof vraag)	6	20	30
	<i>waarvan</i> eerste generatie	5	10	10
	<i>waarvan</i> tweede generatie	1	10	20
Marktaandeel nieuwe verkoop	stille zuinige banden	5	50	90
Marktaandeel nieuwe verkoop	energiebesparende ICT	5	50	75

Voor personenauto's betekent dit dat de hybride auto dominant wordt. De plug-in hybride is voorzichtig in opkomst. Het aandeel van aardgasauto's groeit naar zo'n 10% in 2030 omdat Nederland hier op inzet. De scenario's zijn doorgerekend met CNG. In de gevoeligheidsanalyse (zie Hoofdstuk 6) is ook het effect van vervanging van CNG door biogas doorgerekend.

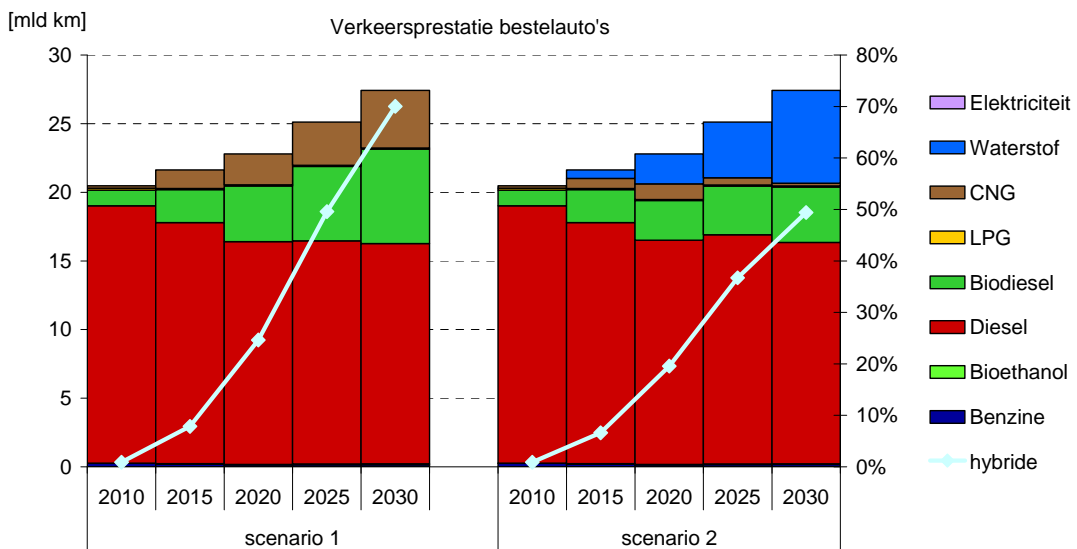
Deze trends zijn voor beide scenario's geïllustreerd in Figuur 3.1. De linker-as geeft de verkeersprestatie in miljarden km weer, de rechter-as het marktaandeel van (plug-in) hybrides in het totaal aantal benzine- en dieselauto's.

⁸ Voor de maatregel 'openstellen concessiestelsel openbaar vervoer voor innovaties' is in het referentiescenario geen effect opgenomen, omdat dit overlapt met de innovatiescenario's. In (Menkveld et al., 2007) is het effect overigens zeer beperkt (0,05 Mton).



Figuur 3.1 Verkeersprestatie personenauto's in de innovatiescenario's per brandstof (linkeras) en het marktaandeel van hybrides (rechteras)

Bestelauto's zijn hybride/(bio)diesel of rijden op CNG, zoals zichtbaar in Figuur 3.2. Er is nog geen substantiële doorbraak van de plug-in hybride voorzien. Dankzij de innovatieconcessies zijn stad- en streekbussen hybride of rijden op CNG. Er is ook een beperkt aandeel waterstofbussen, omdat de meerkosten daarvan te overzien zijn. De verkeersprestatie, per brandstof, is voor bussen weergegeven in Figuur 3.3. Touringcars rijden lange afstanden op (bio)diesel, evenals vrachtwagens. In de stad is er ook sprake van hybride vrachtwagens.



Figuur 3.2 Verkeersprestatie bestelauto's in de innovatiescenario's per brandstof (linkeras) en het marktaandeel van hybrides (rechteras)

3.2.4 Scenario 2: technologie-specifieke innovatie

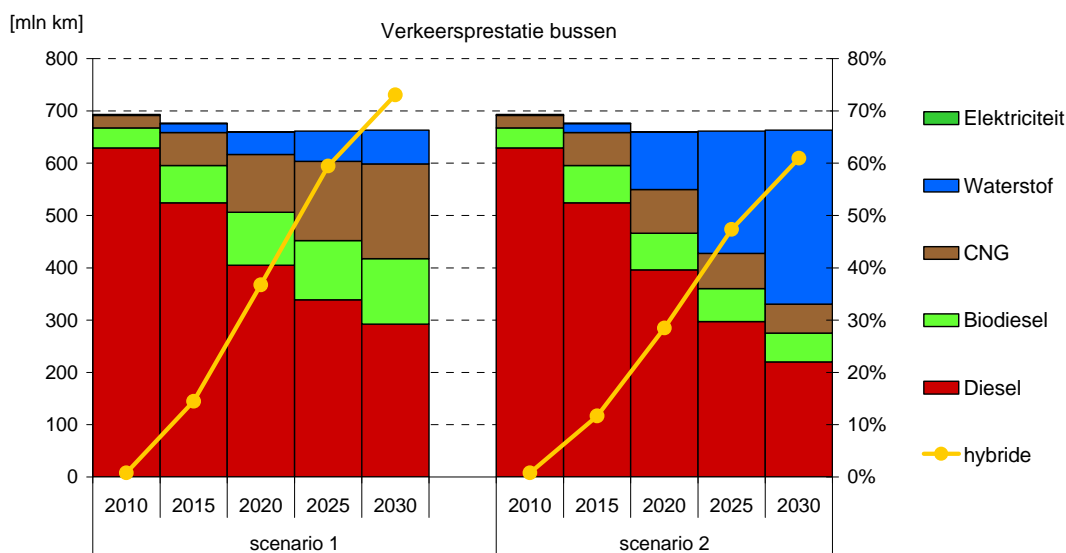
In Scenario 2 zetten de verschillende lidstaten van Europa, waaronder Nederland, gecoördineerd in op innovatie. Doordat er keuzes worden gemaakt voor waterstof en brandstofceltechnologie kan waterstof doorbreken.

Vanaf 2020 speelt waterstof een rol, en deze rol zal na 2030 verder groeien. De groei van waterstof dempt de groei van biobrandstoffen in Scenario 2 vergeleken met Scenario 1 omdat een deel van de beschikbare biomassa voor waterstofproductie wordt gebruikt. Biobrandstoffen voorzien in 2030 in 20% van de vraag naar transportbrandstoffen, zoals weergegeven in Tabel 3.4. Stille, zuinige banden, en energiebesparende ICT worden vanwege de Europese coördinatie op grote schaal toegepast, meer dan in Scenario 1.

Tabel 3.4 *Scenario 2: Aandelen biobrandstoffen, zuinige banden en energiebesparende ICT*

		2010	2020	2030
		[%]	[%]	[%]
biobrandstoffen	(% brandstof vraag)	6	15	20
<i>waarvan</i>	eerste generatie	5	8	8
<i>waarvan</i>	tweede generatie	1	7	12
marktaandeel nieuwe verkoop	stille zuinige banden	10	70	100
marktaandeel nieuwe verkoop	energiebesparende ICT	10	75	90

Er vindt een specialisatie in de markt plaats: waterstof bij lichte voertuigen en bussen, biobrandstoffen in vrachtovervoer en touringcars. In 2030 is het marktaandeel van de brandstofcelauto, op waterstof, substantieel met zo'n 20%, terwijl de hybride auto fors groeit, maar iets langzamer na 2020, omdat deze wordt opgevolgd door de brandstofcelauto, zie ook Figuur 3.1.



Figuur 3.3 *Verkeersprestatie bussen in de innovatiescenario's per brandstof (linkeras) en het marktaandeel van hybrides (rechteras)*

3.3 Raadpleging deskundigen

Een eerste invulling van de twee innovatiescenario's door ECN in samenwerking met het Platform Duurzame Mobiliteit is voorgelegd aan betrokkenen bij de ministeries van VROM, Verkeer en Waterstaat, en de leden van de Strategiegroepen van het Platform Duurzame Mobiliteit. Tabel 3.5 geeft een overzicht van de belangrijkste commentaarpunten en de conclusies voor de invulling van de scenario's.

Tabel 3.5 *Commentaar uit de raadpleging van deskundigen en conclusies voor de invulling van de scenario's*

Commentaar	Invulling scenario's
------------	----------------------

Andere voorstellen voor de ontwikkeling van de verhouding tussen benzine en diesel.	De benzine/dieselverhouding is gebaseerd op het achtergrondscenario en buiten de scope van de studie gehouden.
Divers commentaar op de bijdrage van CNG.	CNG krijgt in Scenario 1 een duidelijke rol, waar het een optie is waar Nederland op kan inzetten zonder veel coördinatie met andere landen. CNG wordt in het programma Auto van de Toekomst beschouwd als een voorloper voor de introductie van biogas.
Voorwaarde voor hoge percentages bioethanol is een voldoende hoge penetratie van flexifuel auto's in het wagenpark.	Deze voorwaarde wordt onderschreven, maar er is niet gerekend met een aparte categorie E85 auto's.
Elektrische auto's apart onderscheiden.	Er is bij de doorrekening gekozen voor een beperkt aantal innovaties waarvan een substantieel effect en marktaandeel verwacht mag worden op termijn 2020-2030. Andere opties worden daarmee niet gediskwalificeerd.
De optie elektrische (trolley) bussen apart onderscheiden.	Aangezien er voor trolleybussen ook een bovenleiding aangelegd moet worden, en het marktaandeel naar verwachting niet snel zal stijgen, is dit niet als een apart bustype onderscheiden.

Tabel 3.6 *Marktaandelen innovaties in vervoersprestatie per scenario*

[%]		Referentie			Scenario 1 <i>Generieke innovatie</i>			Scenario 2 <i>Technologie specifieke innovatie</i>			
		2005	2010	2020	2030	2010	2020	2030	2010	2020	2030
Personenauto's	benzine/bioethanol/E85	69	57	48	42	56	43	34	57	45	31
	(bio)diesel	26	40	51	56	40	48	49	40	49	45
	LPG	5	3	2	1	3	2	1	3	2	1
	CNG/biogas	0	0	0	0	1	6	10	0	0	0
	H2FC	0	0	0	0	0	0	0	0	4	20
	Elektriciteit (plug-in hybride)	0	0	0	0	0	1	6	0	1	3
	Totaal	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
<i>penetratie</i>	Hybride	0	0	9	18	1	39	80	1	31	60
<i>waarvan</i>	plug-in hybride		0	0	0	0	6	15	0	5	10
Bestelauto's	benzine	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	(bio)diesel	95	98	99	99	97	89	84	97	84	73
	LPG	2	1	0	0	1	0	0	1	0	0
	CNG/biogas	0	0	0	0	1	10	15	1	5	1
	H2FC	0	0	0	0	0	0	0	0	10	25
	Totaal	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	<i>penetratie</i>	Hybride		0	0	0	1	25	70	1	20
Bussen	(bio)diesel	99	99	100	100	96	77	63	96	71	41
	CNG/biogas		1	0	0	3	17	27	3	13	8
	H2FC		0	0	0	0	6	10	0	17	50
	All-electric	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Totaal	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
<i>penetratie</i>	Hybride		0	0	0	1	37	73	1	29	61
Vrachtwagens en trekkers	(bio)diesel	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	<i>penetratie</i>	Hybride		0	0	0	0	5	15	0	5

4. Achterliggende gegevens

Dit hoofdstuk beschrijft de gebruikte uitgangspunten en gemaakte aannames die ten grondslag liggen aan ECN's transportmodel TEMPO en de innovatiescenario's.

4.1 Technische gegevens

4.1.1 Brandstoffen: emissiefactoren

Om de CO₂-emissie van het wegverkeer te berekenen is voor iedere brandstof een emissiefactor gebruikt. Als grondslag voor de CO₂-emissie van het wegverkeer in Nederland is de door IPCC voorgeschreven methode gebruikt. Deze baseert zich op de in Nederland verkochte brandstof (in plaats van op het brandstofverbruik dat gekoppeld is aan de in Nederland afgelegde vervoersprestatie). Deze keuze beïnvloedt naast de gebruikte emissiefactoren ook het gemiddelde energieverbruik per kilometer, en daarmee de brandstofkosten. Deze keuze is consequent gehanteerd door dit hele rapport.

De directe emissiefactoren zijn conform de door de IPCC voorgeschreven emissiefactoren (Vreuls, 2007). De IPCC schrijft geen ketenemissiefactoren⁹ voor. Deze zijn van de directe emissiefactoren afgeleid op basis van de volgende aannames:

- Benzine en diesel: opslag van 15%.
- LPG en CNG: opslag van 10%.
- Waterstof: gelijk gesteld aan 20% van de ketenemissiefactor van benzine.
- Elektriciteit: bepaald op basis van elektriciteitsproductie in 2020 in WLO GE scenario, gecorrigeerd voor warmteproductie, import en vuilverbranding en inclusief WKK.

Voor de biobrandstoffen zijn de ketenemissiefactoren bepaald op basis van de resultaten van REFUEL waarbij de ketenemissiefactor van de biobrandstof bepaald is op basis van het gemiddelde over de dominante feedstocks (Deurwaarder et al., 2007):

- 1^e generatie bioethanol: Maïs, suikerbieten en aantal graangewassen.
- 2^e generatie bioethanol: Resten uit agrarische en hout(verwerkings) sector.
- 1^e generatie biodiesel: Koolzaad- en zonnebloemolie.
- 2^e generatie bio-Fischer Tropisch (FT)-diesel: Houtachtige gewassen.

De ketenemissiefactor van bioethanol en biodiesel is bepaald met de voor de innovatiescenario's veronderstelde verdeling tussen 1^e en 2^e generatie. Het aandeel van 2^e generatie biobrandstoffen stijgt van 17% (2010) via 50% (2020) naar 67% (2030). Door het gestegen aandeel van 2^e generatie biobrandstoffen, daalt de ketenemissiefactor van CO₂ voor bioethanol en biodiesel. Voor alle overige brandstoffen zijn de emissiefactoren constant verondersteld tussen 2020 en 2030. Het kan zijn dat door verdergaande Europese wetgeving de ketenemissiefactoren lager uit zou kunnen vallen, maar dit is niet meegenomen in deze studie.

⁹ De ketenemissie geeft aan wat de uitstoot van broeikasgassen is inclusief winning, omzetting en transport van de energiedrager.

Tabel 4.1 *Directe en ketenemissiefactoren van brandstoffen*

CO ₂ -emissiefactor [g/MJ]	Direct		Keten	
	2010-2030	2010	2020	2030
Benzine	72,0	82,8	82,8	82,8
Bioethanol	0,0	36,1	20,3	16,9
Diesel	74,3	85,4	85,4	85,4
Biodiesel	0,0	32,9	22,1	17,5
LPG	66,7	73,4	73,4	73,4
Waterstof	0,0	16,6	16,6	16,6
CNG	56,8	62,5	62,5	62,5
Elektriciteit	0,0	156,5	137,0	137,0

4.1.2 Brandstoffen: energieverbruik

Het gemiddelde energieverbruik per voertuigcategorie/brandstof-combinatie is in het TEMPO-model bepaald in lijn met het WLO GE hoge prijsscenario uit (Hoen et al., 2006). Daarnaast zijn binnen ECN inschattingen gemaakt voor het gemiddelde energieverbruik van de alternatieve brandstoffen. Zij zijn bepaald door het energieverbruik uit te drukken ten opzichte van het energieverbruik van een referentie fossiele brandstof. Het energieverbruik is inclusief de efficiëntie van de motoren waarmee deze omgezet worden in bewegingsenergie. Per voertuigklasse is het energieverbruik van de alternatieve brandstoffen bepaald met behulp van de volgende aannames:

- CNG:
 - Personen-/bestelwagens: conform energieverbruik benzine.
 - Overige voertuigen: 20% hoger energieverbruik dan diesel.
- Waterstof (lager verbruik in verband met efficiëntere motor (brandstofcel)):
 - Personen-/bestelwagens: gelijk aan 62,5% van het energieverbruik benzine.
 - Overige voertuigen: gelijk aan 87,5% van het energieverbruik diesel.
- Elektriciteit: energetisch gezien een kwart (25%) van het diesel verbruik. Deze factor komt omdat elektriciteit min of meer direct voor aandrijving gebruikt kan worden en diesel eerst nog in de motor omgezet moet worden in aandrijfenergie.

Het daadwerkelijke verbruik per kilometer is vervolgens aangepast voor diverse aspecten van de vervoersprestatie zoals de wegtypeverdeling (stad, streek, autosnelweg).

Het brandstofverbruik is in het model bepaald op basis van het energieverbruik en de gevraagde vervoersprestatie per brandstof. Voor plug-in hybride voertuigen (binnen een brandstofklasse) is één aanvullende aanname nodig over het aandeel van de vervoersprestatie dat gereden wordt met behulp van elektriciteit van het net (dus niet op elektriciteit die de motor heeft gemaakt). Binnen deze studie is aangenomen dat elektriciteit de helft van de vervoersprestatie verzorgt.

4.1.3 Besparingseffect innovatieve technologieën

Voor iedere energiebesparende technologie is per voertuigtype bepaald hoe groot de verwachte besparing is in het brandstofverbruik.

Tabel 4.2 *Besparingseffect innovatieve technologieën op energieverbruik per voertuigtype*

[%]	Hybride	Zuinige banden	ICT
Personenwagen	18	3	10
Bestelwagen	18	4	10
Vrachtwagen	10	4	5
Trekker	10	4	5
Autobus	20	4	7,5
Speciale voertuigen	10	4	5

Voor zuinige banden is het technische besparingspotentieel voor een voertuig geschat op 4% (ETRMA, 2006). Ruim 40% van de nieuwe personenauto's is met zuinige autobanden uitgerust, mede door bandenvervanging (als de eerste banden versleten zijn) is het aandeel in de praktijk na verloop van tijd minder. Het exacte cijfer hiervoor ontbreekt, maar wordt geschat op 1 op de 4 (25%). Er is voor gekozen om binnen het model de penetratie van deze technologie in de nieuw verkochte personenwagens uit te drukken over het resterende marktaandeel (75%) en in lijn daarmee de maximale besparing aan te passen naar 3%. Een in deze studie gepresenteerd marktaandeel van 50% komt dan dus overeen met een echt marktaandeel van 62,5% en een besparing van 1,5% tegen het achtergrondscenario. Voor ICT en hybrides treedt dit effect niet op omdat daar het huidige marktaandeel verwaarloosbaar is.

De besparing van hybrides voor personen- en bestelwagens is gebaseerd op (TNO/IEEP/LAT, 2006), de overige waarden voor hybride voertuigen en de besparingswaarde van ICT zijn overeengekomen in de werkgroep, waarbij deze laatste gebaseerd is op een indicatie van het Platform Duurzame Mobiliteit. Om de reikwijdte van al deze aannames te bepalen, zijn gevoeligheidsanalyses uitgevoerd, zie Paragraaf 6.2. De netto-besparingseffecten van ICT zijn extra onzeker, omdat er sprake kan zijn van een 'rebound effect'. Dat wil zeggen dat een verbeterde verkeersdoorstroming, als gevolg van intelligente transportsystemen, een groei in de mobiliteit kan veroorzaken. Dit effect is in de berekeningen niet meegenomen.

Indien meerdere technologieën tegelijk in een segment aanwezig zijn, worden de relatieve besparingen met elkaar vermenigvuldigd om de totale besparing te bepalen. Bijvoorbeeld: twee technologieën die elk afzonderlijk 10% zouden besparen, resulteren gezamenlijk in een besparing van $19\% = 1 - 90\% \cdot 90\%$.

4.2 Kostenmethodiek

In de volgende subparagrafen wordt ingegaan op de gebruikte brandstofprijzen en meerkosten van het wagenpark. Daarvoor zal eerst nog een aantal uitgangspunten voor de gehanteerde methode van kostenbepaling beschreven worden.

Voor het bepalen van jaarlijkse kosten is zoveel mogelijk aangesloten bij de nationale kosten methodiek. Bij deze methode worden overdrachten tussen de overheid en consumenten of organisaties, zoals subsidies en belastingen, buiten beschouwing gelaten. Bij brandstofkosten worden daarom accijns en BTW buiten beschouwing gelaten; bij (meer-)kosten van het wagenpark de BTW, de BPM en subsidies.

Om de jaarlijkse (meer-)uitgaven van het wagenpark te vertalen naar jaarlijkse kosten is gekozen voor een afschrijving op basis van een annuïteit met als uitgangspunten een looptijd van 10 jaar en een rente-/discontovoet van 4%, die gebruikt mag worden als vanuit nationale kosten perspectief wordt gekeken.

Om daadwerkelijk de lasten voor de betrokken partijen zoals de consumenten en de overheid te bepalen zullen overdrachten wel degelijk meegenomen moeten worden, en is dus ook een con-

crete invulling van het beleid noodzakelijk. Dat aspect is bewust buiten de scope van deze studie gehouden en zal verder niet besproken worden.

Qua scope dient nog opgemerkt te worden dat voor kostenberekeningen in de huidige studie brommers en motoren niet meegenomen zijn. Door het zeer kleine volumeaandeel binnen het wegverkeer zal het effect op de uitkomsten verwaarloosbaar zijn indien naar verschillen wordt gekeken.

4.3 Brandstofprijzen

De brandstofprijzen die gebruikt zijn, zijn prijzen exclusief belastingen en heffingen. Gerekend wordt in €₂₀₀₅. Basis is de hoge prijsvariant van de WLO (CPB/MNP/RPB, 2006) waarbij de prijzen in €₂₀₀₀ naar €₂₀₀₅ zijn omgerekend met een (inflatie)factor van 1,135. Uiteindelijk resulteert dit in een aantal basisprijzen (zie Tabel 4.3). In de tabel staan voor aardgas en elektriciteit de zogenaamde commodity-prijzen. Afhankelijk van de specifieke situatie van de afnemer komen hier nog distributiekosten en andere kosten bovenop. De gehanteerde brandstofprijzen die hiermee bepaald zijn en gehanteerd worden staan in Tabel 4.4 en Figuur 4.1 en worden hieronder verder toegelicht.

Tabel 4.3 *Basisprijzen energiedragers*

[€ ₂₀₀₅ /GJ]	2005	2010	2020	2030
Ruwe olie	10,7	8,0	8,0	8,7
Aardgas (zonder distributiekosten)	5,2	6,5	6,8	7,2
Elektriciteit (zonder netwerk en capaciteitskosten)	14,1	16,2	17,4	14,7
Elektriciteit 's nachts (zonder netwerk en capaciteitskosten)	10,0	12,7	13,2	10,3
Elektriciteit overdag (zonder netwerk en capaciteitskosten)	18,7	20,0	22,0	19,4

Benzine-, diesel- en LPG-prijzen zijn gekoppeld aan de olieprijs. Hierbij is gebruik gemaakt van een meerjarige analyse van het verband tussen de olieprijs en prijs (exclusief accijns en BTW) die feitelijk aan de pomp betaald moet worden. De brandstofprijzen afgeleid uit de hoge prijsvariant van de WLO zijn ongeveer 10% lager dan de gemiddelde prijzen in het jaar 2007. In Paragraaf 6.3.3 wordt een gevoeligheidsanalyse gedaan waarin een 50% hogere olieprijs wordt verondersteld.

Voor CNG is gestart met de aardgasprijs voor een middelgrootte afnemer. Voor de kosten van het tankstation is onder andere gekeken naar een wat oudere ECN studie (Bakema, 1990) en naar informatie over recente projecten in Nederland (onder andere van Dutch4). Uiteindelijk is uitgegaan van een noodzakelijke investering van € 300.000 voor een tankstation met twee vulslangen en een capaciteit van 2.000 m³ aardgas/dag (150 personenauto's). Voor onderhoud is uitgegaan van 7% van de investering en als elektriciteitsgebruik voor compressie is 0,2 kWh m³ verondersteld.

De prijzen voor waterstof zijn overgenomen uit het HyWays project (Hyways, 2007). Deze prijzen hebben in dit project echter meer een indicatief karakter gehad. Aan de hand van andere publicaties (ECN/MNP, 2006a en 2006b), (Dale, 2002) en (Oostvoorn, 1998) is gekeken of deze prijzen, binnen het GE WLO hoge prijzen beeld realistisch zijn. Als uitgegaan wordt van aardgas met CO₂-opslag liggen de prijzen in de range. In de eerste decennia kloppen de prijzen als distributie met tankauto's wordt verondersteld. Daarna kunnen de prijzen dalen als de afzet zodanig hoog wordt dat een waterstof-leidingnet gebruik kan worden.

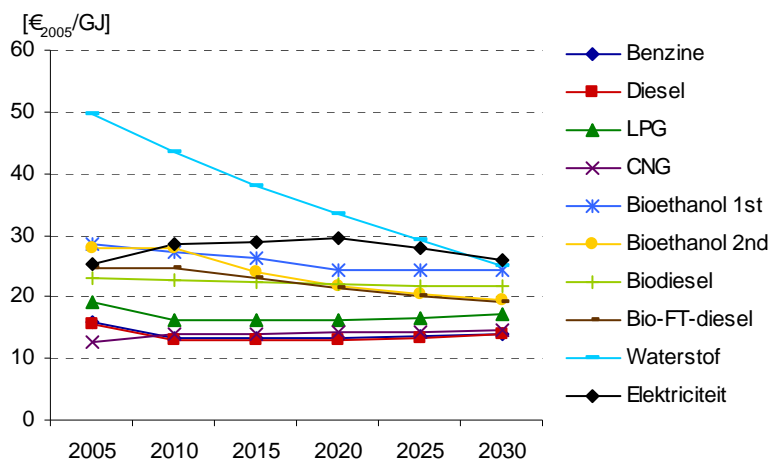
De prijzen van elektriciteit zijn afgeleid van de elektriciteitsprijzen voor de huishoudsector in het scenario beeld. Zonder heffingen verschillen deze niet zoveel van de prijzen voor middel-

grootte afnemers. Op deze prijzen heeft een correctie plaatsgevonden. Hierbij is verondersteld dat voor circa 50% van de elektriciteit een lager tarief verkregen kan worden in verband met alleen 's nachts opladen.

Voor biobrandstoffen loopt binnen de EU momenteel het REFUEL project (zie bijvoorbeeld (Lundbaek, 2007)). Probleem van de kostencijfers is dat deze primair gebaseerd zijn op gemiddelde productiekosten en niet op marginale prijzen (zoals bij de andere brandstoffen). Het prijsniveau in dit project wordt sterk beïnvloed doordat (nu nog) goedkope afvalstromen tot biobrandstof verwerkt worden en zo de gemiddelde productiekosten verlaagd worden. Vandaar dat ook gekeken is naar het VIEWLS project. De ontwikkelingen van de laatste jaren wijzen er echter op dat de prijzen in VIEWLS aan de hoge kant zijn. Uiteindelijk is er voor gekozen om cijfers van berekeningen voor REFUEL te gebruiken en daarbij een correctie voor de grondstofprijzen te hanteren. Voor biodiesel is hiervoor gekeken naar projecties van de IEA en gerealiseerde prijzen in de UK (Hygate, 2007). Voor bioethanol is aangesloten bij de lage waarde die het CE hiervoor noemt (Kampman, 2005). Voor 2^e generatie bioethanol is gebruik gemaakt van het gemiddelde uit dezelfde publicatie. De CE publicatie verwijst hierbij naar een rapport in het kader van het GAVE programma van SenterNovem (GAVE, 2003). Voor Fischer-Tropsch diesel wordt veelal gebruik gemaakt van houtafval uit bossen. In Polen kost dit, afhankelijk van de lokale vraag maar 0,4 tot 1,4 €/GJ; in Oostenrijk kosten houtchips voor houtkachels wel 14 €/GJ. Uiteindelijk is besloten om hier een houtafvalprijs van 3 €/GJ te hanteren. Dit is in de range van een OECD publicatie over Finland en enigszins in lijn met de 4 €/GJ die in het GE-beeld gebruikt wordt voor houtbijstook in kolencentrales.

Tabel 4.4 *Gehanteerde brandstofprijzen exclusief heffingen en BTW*

[€ ₂₀₀₅ /GJ]	2005	2010	2015	2020	2025	2030
Benzine	16,0	13,3	13,3	13,3	13,7	14,1
Diesel	15,7	13,0	13,0	13,0	13,4	13,8
LPG	19,0	16,3	16,3	16,3	16,7	17,1
CNG	12,6	13,8	14,0	14,2	14,4	14,5
Bioethanol 1st	28,6	27,4	26,2	24,4	24,4	24,4
Bioethanol 2nd	27,8	27,8	24,0	21,7	20,3	19,4
Biodiesel	22,9	22,7	22,5	22,0	21,8	21,6
Bio-FT-diesel	24,8	24,8	23,1	21,3	20,0	19,2
Waterstof	49,8	43,5	38,1	33,3	29,2	25,0
Elektriciteit	25,4	28,4	29,0	29,6	27,8	26,0



Figuur 4.1 *Gehanteerde brandstofprijzen exclusief heffingen en BTW*

4.4 Basisprijzen referentievoertuigen

In Tabel 4.5 zijn de voertuigprijzen opgenomen die als basis in de berekeningen worden gehanteerd. Deze zijn gebaseerd op interne cijfers van ECN die in 2004 zijn verzameld. De ECN cijfers in €₂₀₀₀ zijn met een inflatiecorrectie vertaald naar €₂₀₀₅. Bij vergelijking bleek dat het prijsniveau van de huidige voertuigen toch iets hoger ligt. Om dit te compenseren is nog een extra prijsstijging van 1% per jaar verondersteld. In principe wordt verwacht dat deze extra prijsstijging (samenhangend met een toenemende luxe en andere extra's van voertuigen) de komende jaren nog wel door kan gaan. Om het prijsbeeld niet te verstoren zijn toch deze voertuigprijzen richting de toekomst in €₂₀₀₅ constant verondersteld.

Tabel 4.5 *Basisprijzen van de voertuigen*

Voertuig	Brandstof	Prijs excl. heffingen en BTW [€ ₂₀₀₅]
Personenauto	Benzine	15.200
	Diesel	15.900
	LPG	17.000
Bestelauto	Benzine	17.100
	Diesel	17.900
	LPG	19.200
Vrachtauto	Diesel	89.000
Trekker	Diesel	131.000
Autobus	Diesel	245.000
Speciaal voertuig	Diesel	89.000

De prijzen van de LPG-voertuigen zijn gebaseerd op die van de benzineversie met een toeslag voor de LPG-installatie inclusief inbouwkosten. Voor de ombouw van een personenauto naar LPG met 3 jaar garantie kan volgens leveranciers een meerprijs van € 2.200 (incl. BTW) en € 1.850 excl. BTW worden aangehouden. De studie van (Beumer, 2004) ligt hier € 100 onder. Voor de ombouw van een bestelauto naar LPG rekent Beumer met € 2.000, als ook hier weer € 100 verschil bij gezet wordt komt de ombouw bij bestelauto's uit op € 2.100.

Voor bestelauto's is ook een benzine- en een LPG-versie opgenomen. In de praktijk worden deze echter nauwelijks nog verkocht. De kosten van de vrachtauto's vallen lager uit dan die van de trekkers, omdat hierin ook kleinere vrachtwagens zijn opgenomen. De prijzen van bussen kunnen sterk uiteenlopen. Een gelede bus of een lage vloer bus, is bijvoorbeeld aanzienlijk duurder dan het hier opgenomen cijfer. Voor speciale voertuigen, een categorie die sterk uiteen loopt, zijn de kosten gelijk verondersteld aan die van vrachtauto's.

4.5 Onzekerheid in meerkosten voertuigen

In de hierna volgende paragrafen zijn kostencijfers voor voertuigen opgenomen. Getracht is om hier een set gegevens te verzamelen en te bepalen die een redelijk consistent beeld geven. De nauwkeurigheid is wel beperkt. Gezien de spreiding die in de kostencijfers aangetroffen is, kan de feitelijke ontwikkeling van de meerprijs in de orde van 30% tot 50% afwijken. Voor de volledigheid kan nog vermeld worden dat tussen productiekosten en verkoopprijs marges in de orde van 30% tot 45% bestaan. Fabrikanten hebben hierdoor de mogelijkheid om bepaalde technologieën al naar gelang de marktsituatie of de situatie in een bepaald land duurder of goedkoper in de markt te zetten. Ook deze marge beïnvloedt het zicht op de feitelijke kostprijsontwikkeling.

Daarnaast is er ook onzekerheid met betrekking tot het feit of er ook voldoende Europees beleid is om innovatie te ondersteunen. Daarom zijn er twee varianten voor de prijsontwikkeling bepaald. De eerste variant veronderstelt voldoende stimulerend beleid in Europa om sterke kos-

tendalingen mogelijk te maken. Deze variant is gebruikt voor de innovatiescenario's. De tweede variant veronderstelt dat er geen Europees beleid is, en dat daarmee de kostendalingen beperkter zullen zijn. Deze variant is in deze studie gebruikt voor het referentiescenario en voor een gevoeligheidsanalyse.

4.6 Kosten hybride voertuigen

4.6.1 Hybride personenauto

De eerste Hybrides zijn in 1999 op de markt gebracht door Toyota in Japan. Inmiddels zijn er al circa een miljoen hybrides verkocht. Een uitgebreide studie van de IEA in 2001 heeft de mogelijkheden in kaart gebracht. De IEA schatte in dat de extra verkoopprijs (aanneeme dat € 1 = \$ 1) van een hybride auto zou dalen van € 7.500 naar € 4.000 in 2010 (IEA, 2001). Volgens TNO ligt de verkoopprijs (retail price) op een factor 1,4 tot 1,44 van de extra productiekosten; dus bij een verkoopprijs van € 4.000 moet de producent circa € 2.900 uitgeven (Smokers, 2006)¹⁰. In de berekeningen worden verkoopprijzen gebruikt.

Voor de EU is in 2006 een uitgebreide studie gedaan naar efficiency verbeteringen bij personenauto's en bestelauto's die hier ook naar gekeken heeft (Smokers, 2006). De 2005-prijs wordt op bijna € 7.000 geschat. Hoewel een fabrikant al een meerprijs van € 4.500 noemt. Uiteindelijk kiest TNO voor een extra productiekostenprijs van € 2.800 tot € 4.200 (afhankelijk van de grootte van de auto; parkgemiddeld circa. € 3.200). Van de productiekosten vindt TNO maar 75% aan CO₂-reductie toe te rekenen, zodat TNO voor 2012 met € 2.100 tot € 3.150 rekent (bijbehorende verkoopprijzen € 3.000 tot € 4.400).

Bij het beschrijven van de kostenontwikkeling van een nieuwe technologie, wordt veel gebruik gemaakt van leercurves. Naar mate meer van een bepaalde technologie geproduceerd wordt, dalen de kosten. Als uitgegaan wordt van productiekosten van € 4.000 bij een productie van 1 mln voertuigen en een leerfactor van 0,1 (bij elke verdubbeling in volume neemt de prijs 10% af¹¹) kan het effect hiervan meegenomen worden. Bij deze leerfactor komt een Europees marktaandeel in de nieuw verkoop van circa 15% uit op circa € 2.600 en bij een zeer hoge penetratie in de EU rond de € 1.700 (zie Tabel 4.6). Het gaat hier om productiekosten, 'kale' verkoopprijzen liggen hier een factor 1,4 tot 1,45 boven. De tabel is indicatief en sterk afhankelijk van de hoogte van de leerfactor. Wordt met 0,12 gerekend dan komt de reeks op € 1.400 uit en bij 0,08 op € 2.050.

¹⁰ Er zijn voor dezelfde aanpassing dus twee verschillende kostencijfers in omloop. Ook wordt nog wel gesproken over de af-fabriek prijs die hier ergens tussen ligt. In sommige studies is niet duidelijk welke prijzen nu gehanteerd worden.

¹¹ De leerfactor is hier 1 minus de zogenaamde progress ratio. De factor van 0,1 is afkomstig van windturbines. Hoewel de hier aangeven methode van leercurves op het terrein van technologieontwikkeling veel gebruikt wordt, wil dit niet zeggen dat deze erg nauwkeurig is of vrij is van elke discussie. Ook voor toepassing bij massaproductie worden er vraagtekens bij gezet. Eenvoudige alternatieve methoden zijn er echter niet.

Tabel 4.6 *Effect van progress ratio en productievolume op kostprijs*

Aantal voertuigen [mln]	Productiekosten bij Progr. Ratio 0,9	[%]
1 (2007)	4.000	100
2	3.600	90
4	3.240	81
8	2.916	73
16	2.624	66
32 (10%-15% EU park)	2.362	59
64	2.126	53
128	1.913	48
256 (100% EU park)	1.722	43

Het rapport van E4Tech (E4tech, 2006) geeft de nodige informatie over hybride voertuigen. De Toyota Camry Hybride die volgens het rapport in de US verkocht gaat worden krijgt daar een verkoopprijs van £ 14.500. Dit is een £ 3.600 duurder dan de vier-cilinder Toyota Camry LE (*1/0,717 = € 5.000). Volgens Toyota zijn de huidige meerkosten circa £ 2.245 (€ 3.132). Toyota verwacht nog een daling in de toekomst met circa 30%, onder andere door van nickel metaal hydride naar lithium ion accu's over te schakelen (€ 2.200). Nieuwsberichten uit 2007 geven echter aan dat er problemen zijn met deze overstap.

Ook Honda zou de extra kosten voor een Honda Civic hybride met 30% terug willen brengen tot £ 955 ofwel € 1.330 (E4tech, 2006). Een vergelijking van 2007-prijzen (via internet) levert echter nog steeds circa \$ 3.000 aan meerkosten voor de hybride op; bij vergelijking met een voertuig met evenveel extra's en een groter motorvermogen. Hier komt een tweede probleem bij naar voren. Er zijn hybride voertuigen die eigenlijk alleen remenergie opslaan, en er zijn voertuigen die ook daadwerkelijk elektrisch kunnen rijden. De 2007 Honda Civic (aangeduid met 2^e generatie) kan, omdat hij alle cilinders uit kan zetten, veel beter alleen elektrisch rijden dan voorgaande versies¹². In dit opzicht blijft hij volgens de nieuwsberichten echter technisch nog wel achter bij de Toyota Prius.

De focus in de kostencijfers ligt hier op hybride voertuigen die daadwerkelijk een stuk elektrisch kunnen rijden (gaat dus meer richting Toyota Hybride). De gehanteerde kostencijfers staan in Tabel 4.7. Deze worden zowel bij benzine als dieselveertuigen gebruikt. Hoewel verwacht mag worden dat de ontwikkeling in Scenario 2 wat langzamer verloopt is er geen onderscheid gemaakt tussen beide scenariobeelden (verschil valt binnen de onzekerheidsmarge). Ter vergelijking is ook een beeld geschetst waarin er weinig stimulering van hybride voertuigen is als gevolg van onvoldoende Europees beleid.

Tabel 4.7 *Meerkosten personenauto's exclusief heffingen en BTW*

Jaar	Meerprijs innovatiescenario's [€ ₂₀₀₅]	Meerprijs referentiescenario [€ ₂₀₀₅]
2005	6.000	6.000
(nu 2007)	circa 5.000	circa 5.000
2010	4.400	4.400
2020	2.500	3.200
2030	2.000	2.600

In Paragraaf 6.3.2 wordt nog een aparte gevoeligheidsanalyse gedaan met lagere meerkosten voor hybride voertuigen.

¹² Het accupakket heeft ook 1/3 meer inhoud dan de eerdere hybride. Wellicht dat de technische verbetering ook het kostenverschil verklaart.

4.6.2 Hybride bestelauto

Over de kosten van een hybride bestelauto is weinig bekend. TNO geeft voor bestelauto's cijfers voor productiekosten afhankelijk van de gewichtsklasse variërend van € 2.800 tot € 5.400 (Smokers, 2006). Over het Nederlandse park gemiddeld komt dit uit op € 4.000. Dit is 25% meer dan bij personenauto's. Omdat in de twee laagste gewichtsklassen de kosten van een hybride voor personen en bestelauto's gelijk zijn verondersteld (het verschil komt voort uit het hogere gewicht van bestelauto's) is niet duidelijk of TNO ook rekening houdt met het veel lagere productievolume van bestelauto's. Dit is wel een factor, die bijvoorbeeld bij zware voertuigen, veel in de literatuur genoemd wordt. In Tabel 4.8 is een inschatting gemaakt voor de meerkosten van hybride bestelauto's. Deze is afgeleid voor 2020 en 2030 uit Tabel 4.7 met de genoemde 25% verhoging en een hier veronderstelde verhoging van 15% in verband met de lagere productiehoeveelheden.

Tabel 4.8 *Meerkosten bestelauto's*

Jaar	Meerprijs innovatiescenario's [€ ₂₀₀₅]	Meerprijs referentiescenario [€ ₂₀₀₅]
2005	10.000 (stelpost)	10.000 (stelpost)
2010	8.600	8.600
2020	3.600	7.200
2030	2.900	6.300

4.6.3 Hybride bus/vrachtauto

De huidige meerprijs van een hybride ligt in de orde van € 100.000 tot € 150.000, zie onder andere (CFRVR, 2007) en (EESI, 2005). Productie aantallen liggen inmiddels in de orde van honderden stuks. Het gaat hierbij om individuele bestellingen; een echte doorbraak heeft nog niet plaatsgevonden. In het optiedocument van ECN (ECN/MNP, 2005b) is ook naar hybride bussen gekeken. In de brede spreiding van de kostenmarge voor 2020 van € 10.000 tot € 40.000 is hier gekozen voor € 30.000. Dit cijfer zal hier ook voor 2020 worden gehanteerd. Voor vrachtvoertuigen zijn de meerkosten hiervan afgeleid. In principe zouden hier de kosten, wegens de meer dan 10 keer hogere productievolumes, lager uit kunnen vallen. Daar staat echter tegenover dat een lagere penetratie is verondersteld. Omdat voor de kleinere vrachtwagens (en de bijzondere voertuigen) de kosten wel lager uit kunnen vallen, wegens het lagere vermogen, zijn voor vrachtwagens in 2020 en 2030 iets lagere kosten verondersteld.

Tabel 4.9 *Meerkosten hybride vrachtauto's en bussen exclusief heffingen en BTW*

Jaar	Meerprijs bussen en trekkers innovatiescenario's [€ ₂₀₀₅]	Meerprijs bussen en trekkers referentiescenario [€ ₂₀₀₅]	Meerprijs vrachtwagen innovatiescenario's [€ ₂₀₀₅]	Meerprijs vrachtwagen referentiescenario [€ ₂₀₀₅]
2005	120.000	120.000	120.000	120.000
2010	60.000	60.000	60.000	60.000
2020	30.000	50.000	25.000	45.000
2030	25.000	45.000	20.000	40.000

4.6.4 Plug-in-voertuigen

Voor de Toyota Prius zijn er inmiddels retrofit plug-in ombouwsets te koop, onder andere op de markt gebracht door EnergyCS (US). Onder de naam 'Edrive' worden deze in Californië verkocht voor £ 6,730 (circa € 9.500) (E4Tech, 2006).

Tabel 4.10 *Meerkosten plug-in hybride*

[US \$]	Korte termijn	Meerkosten	Lange termijn	Meerkosten
Benzine	23.400		23.400	
Benzine Hybride	28.800	5.400	26.700	3.300
Plug-in hybride 20 mile	38.900	15.500	31.800	8.400
Plug-in hybride 30 mile	42.600	19.200	33.500	10.100
Plug-in hybride 60 mile	50.200	26.800	36.700	13.300

In Tabel 4.10 zijn meerkosten voor plug-in hybride aangegeven volgens (Simson, 2006). De kosten zijn deels op modelberekeningen gebaseerd. Een factor die een rol speelt bij de kostendaling tussen korte termijn en lange termijn is de overgang van metaal hydride (NiMH) naar lithium ion (Li-Ion) accu's. De spreiding in cijfers voor de lange termijn meerkosten ligt tussen de € 1.300 goedkoper en € 2.700 duurder.

Tabel 4.11 *Meerkosten plug-in hybride ten opzichte van hybride bij personen- en bestelauto's*

Jaar	Meerprijs bij hoge innovatie Personenauto's [€ ₂₀₀₅]	Meerprijs bij lage innovatie Personenauto's [€ ₂₀₀₅]	Meerprijs bij hoge innovatie Bestelauto's [€ ₂₀₀₅]	Meerprijs bij lage innovatie Bestelauto's [€ ₂₀₀₅]
2005	10.000 (stelpost)	10.000 (stelpost)	13.000 (stelpost)	13.000 (stelpost)
2010	8.000	10.000	13.000	13.000
2020	4.000	5.000	5.200	6.500
2030	3.000	4.000	3.900	5.200

Uit de beperkte hoeveelheid informatie die beschikbaar is, is het kostenoverzicht van Tabel 4.11 samengesteld. Het gaat hier om de meerprijs (voor een plug-in hybride die na opladen circa 30 km elektrisch rijdt) ten opzichte van een hybride voertuig. Voor de mate van de kostendaling is gekeken naar de kostendaling bij hybrides. Voor bestelauto's zijn de kosten hierbij 30% hoger verondersteld dan bij personenauto's. Dat ook in een beeld met weinig innovatie de meerkosten dalen heeft te maken met de belangrijkste kostenfactor: de accu. Dat over een aantal jaren naar een goedkopere accutechnologie overgeschakeld zal worden, staat los van de ontwikkeling van de plug-in hybride.

4.7 Kosten CNG-voertuigen

Een analyse van de Gasunie (Westdijk, 2003) gaat uit van gelijke meerkosten van een LPG- en CNG- en dieselauto's ten opzichte van benzine. Namelijk circa € 2.000 tot € 2.500. Op de site van Cleangas wordt over circa € 2.500 aan meerkosten gesproken. De site van fuelswitch spreekt echter over € 3.000 voor personenauto's. Ook de site van 'aardgasinuwwagenpark' noemt dit cijfer. TNO noemt als gemiddelde voor zes wat grotere personenauto's een meerprijs van bijna € 3.000 (Smokers, 2006). In hetzelfde rapport geeft ACEA een schatting voor een middenklasse voertuigen (€ 19.000) en een productieomvang van meer dan 100.000 CNG voertuigen per jaar. Een bifuel voertuig komt volgens ACEA uit op € 2.500 en een dedicated voertuig op € 2.000. Ten aanzien van het verschil tussen klein en grote personenauto's noemt TNO een meer-verkoopprijs voor kleine voertuigen van € 2.090, € 2.520 voor middenklassers en € 2.950 voor grote auto's.

Voor bestelauto's noemt 'aardgasinuwwagenpark' een meerprijs van € 5.000 voor bestelauto's. In de toekomst kan dit echter dalen. Kooistra neemt voor een volwassen markt een meerprijs ten opzichte van diesel aan van € 500 (Kooistra, 2004). Dat een vergelijking soms complex is blijkt als op de Peugeot site bijvoorbeeld gekeken wordt naar de kleine Partner bestelauto 170c. De CNG-bifuel versie is circa € 3.500 duurder dan de benzine versie, maar ten opzichte van de dieselvesie is het maar € 2.200.

Een gemiddelde meerprijs voor vrachtwagens en bussen die regelmatig genoemd wordt is € 30.000. Voor de ombouw van een voertuig met 200 kW diesel, ofwel een kleine vrachtwagen met een laadvermogen van 6 ton¹³, moet volgens Cleangas aan € 25.000 worden gedacht (incl. tanks etc). Een studie van het CE uit 2000 (Vermeulen, 2000) komt voor grote vrachtauto's ook tot circa. € 20.000 - € 25.000. Bij grootschalige productie (meer dan 500/jaar op de DAF locatie) zou de prijs door gunstiger inkoop kunnen zakken tot circa € 10.000. Ook wordt er gewezen op het prijsverschil dat bij strenge euronormen lager kan worden.

Uit Amerikaanse rapporten blijkt volgens NGV-Holland dat een 12 meter CNG bus \$ 23.000 meer kost dan een diesel bus en \$ 90.000 minder dan een hybride bus. De verwachting is dat de verschillen met diesel kleiner zullen worden of zelfs geheel verdwijnen (Verbeek, 2007). In de VS moet, volgens de site van informinc, voor de aanschaf van CNG bussen op extra kosten in de orde van \$ 25.000 tot \$ 40.000 gerekend worden. Gezien de variatie in de dollarkoers is dit niet direct in euro's om te zetten.

Uiteindelijk is op basis van deze informatie gekozen voor de kostencijfers in Tabel 4.12. Hierbij blijft een stukje kostenreductie liggen, omdat de marktpenetratie van CNG beperkt is. Ten aanzien van het verschil tussen personenauto's en bestelauto's moet opgemerkt worden dat de meerkosten van een bestelauto, ten opzichte van een benzine versie hoger zijn. In de tabel is echter diesel als referentie gekozen. De daling bij dieselmotoren in 2010 heeft vooral met milieumaatregelen te maken. Richting 2020 zijn hier de effecten zichtbaar van een meer grootschalige productie.

Tabel 4.12 *Meerkosten CNG voertuigen exclusief heffingen en BTW*

Jaar	Personenauto [€ ₂₀₀₅]	Bestelauto [€ ₂₀₀₅]	Bussen [€ ₂₀₀₅]
Referentie	Benzine	Diesel	Diesel
2005	3.000	4.000	45.000
2010	2.500	3.500	25.000
Innovatiescenario's			
2020	2.000	2.000	15.000
2030	2.000	2.000	15.000
Referentiescenario			
2020/2030	2.500	3.000	25.000

4.8 Kosten waterstofvoertuigen

Door de IEA is in 2001 een overzicht gegeven van de verwachte kostenopbouw van waterstofvoertuigen in 2010. Hierbij veronderstellen ze een kostprijs voor de brandstofcel van \$ 3.000 en \$ 1.000 voor de waterstofopslag. Uiteindelijk komt de IEA uit op een verkoopprijs ten opzichte van benzine van \$ 6.500 (bij 20.000 voertuigen per jaar) en \$ 4.000 (bij 200.000 voertuigen) per jaar (IEA, 2001). Op dit moment zijn er op de markt geen waterstofauto's te koop. De voertuigen die rondrijden doen dit onder toezicht van de producent. Een commerciële marktprijs is dus niet bekend.

In 2003 hebben er in Amsterdam 3 waterstof brandstofcelbussen rondgereden in het kader van het CUTE (Clean Urban Transport for Europe) project. Totale kosten waren € 7,5 mln waarvan een belangrijk deel voor de bussen. Als we afgaan op een recent contract van Ballard, producent van brandstofcellen voor bussen, liggen op dit moment de kosten van brandstofcelbussen nog in de orde van € 1 mln (CFEVR 2007b).

¹³ Bijvoorbeeld de DAF CF75.

Het IEA-rapport en de CFEVR-informatie wordt gebruikt voor de inschatting van de huidige kosten.

Vanuit de deskundigheid van het Hyways project worden de meerkosten voor een waterstofpersoneelauto in 2030 ten opzichte van een hybride geschat op € 1.000 (€ 1.250 voor een bestelauto). Voor een waterstofbus wordt het prijsverschil met een hybride geschat op € 3.000 duurder (driemaal zo grote brandstofcel), hier afgerond naar € 5.000. Voor de tussenliggende jaren is in Tabel 4.13 zo goed mogelijk een inschatting gemaakt. Opgemerkt kan nog worden dat in een situatie met nauwelijks innovatie de kosten rond de 2010 cijfers blijven hangen.

Tabel 4.13 *Meerkosten waterstofvoertuig met brandstofcellen*

Jaar	Meerprijs personenauto's [€ ₂₀₀₅]	Meerprijs bestelauto's [€ ₂₀₀₅]	Meerprijs bussen [€ ₂₀₀₅]
Referentie	Benzine	Diesel	Diesel
2005	50.000 stelprijs	50.000 stelprijs	1.000.000
2010	8.000	10.000	60.000
2020	4.500	6.600	40.000
2030	3.000	4.200	30.000

4.9 Kosten zuinige banden en ICT

Voor zuinige banden zijn geen meerkosten meegenomen in de studie. Aangenomen is dat deze banden tegen vergelijkbare kosten zijn te produceren als gewone banden. Het is impliciet verondersteld dat leveranciers geen hogere prijs hiervoor gaan vragen om een hogere (dan normale) marge te maken.

De exacte meerkosten van ICT zullen afhangen van de functionaliteit die gewenst is en die is nu nog niet bekend. In deze studie zijn toch meerkosten verondersteld, te weten € 500 per auto. Deze zijn constant over de tijd verondersteld.

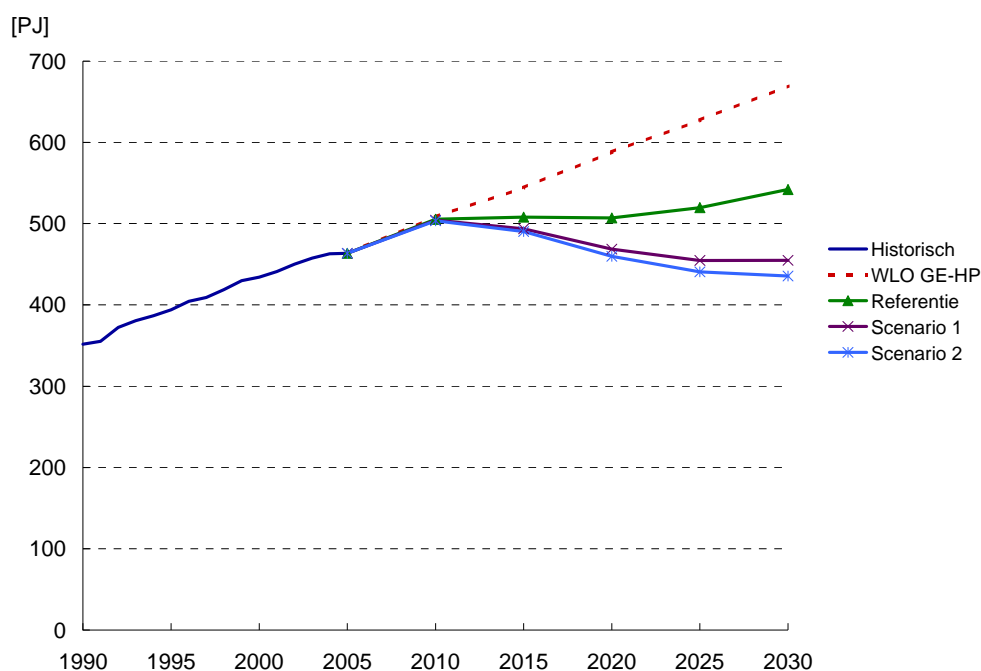
5. Resultaten

In dit hoofdstuk zullen de resultaten van de scenarioberekeningen beschreven worden, startend met het energiegebruik en de emissies. Vervolgens worden de kosten van de innovatiescenario's gepresenteerd.

5.1 Energiegebruik en emissies

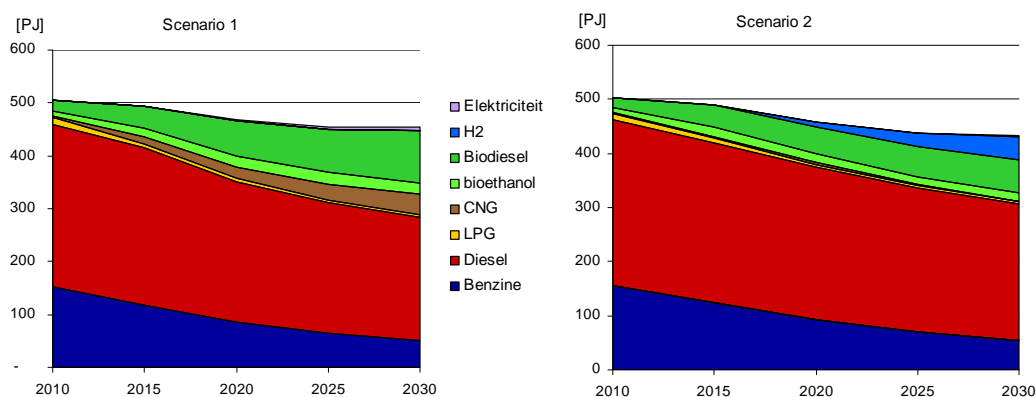
5.1.1 Wegverkeer

Het energiegebruik in de verschillende scenario's is weergegeven in Figuur 5.1. Ter vergelijking is ook het achtergrondscenario WLO GE-HP in de figuur opgenomen. In de innovatiescenario's wordt ten opzichte van de referentie een besparing van 8-9% bereikt in 2020, en 16-20% in 2030. Deze besparing is te danken aan de opmars van hybride voertuigen, de penetratie van zuinige banden en energiebesparende ICT. In Scenario 2 wordt een grotere besparing bereikt dan in Scenario 1, vanwege het grotere aandeel zuinige banden en ICT, en de grotere efficiency van de brandstofcel vergeleken met een verbrandingsmotor. Het referentiescenario komt overeen met de lage variant uit de beoordeling van Schoon en Zuinig Laag (zie ook Hoofdstuk 3). Het energiegebruik stabiliseert zich in het referentiescenario tot 2020 op het niveau van 2010. Na 2020 gaat het energiegebruik weer stijgen, vanwege mobiliteitsgroei en het ontbreken van een verdere aanscherping van het beleid.



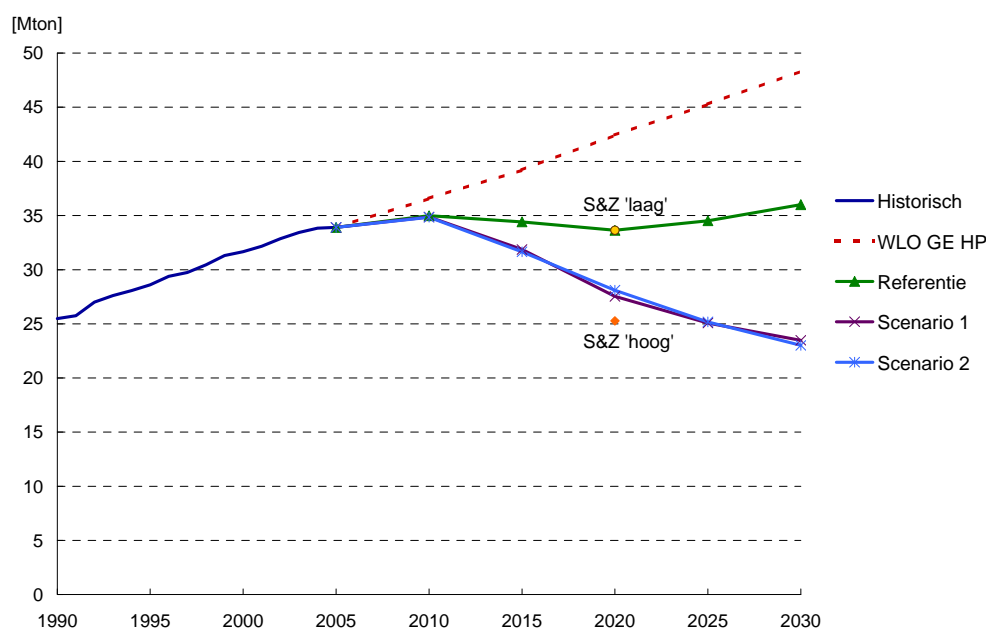
Figuur 5.1 Energiegebruik wegverkeer (IPCC-definitie)

Figuur 5.2 presenteert het energiegebruik per brandstof voor de twee innovatiescenario's. In 2030 is het aandeel van de alternatieve brandstoffen (biobrandstoffen, CNG, waterstof en elektriciteit) gestegen naar 37% in Scenario 1, en 28% in Scenario 2.



Figuur 5.2 *Energiegebruik wegverkeer per brandstof*

De CO₂-emissies van het wegverkeer dalen relatief sterker dan het energiegebruik, vanwege de inzet van klimaatneutrale opties zoals biobrandstoffen, waterstof, en elektriciteit in plug-in hybrides, zoals geïllustreerd in Figuur 5.3. Het niveau van 1990 wordt rond 2025 bereikt. De innovatiescenario's bereiken in 2020 een reductie van respectievelijk 6,1 en 5,5 Mton. De reductie van Scenario 1 is groter vanwege het hogere aandeel biobrandstoffen. In 2030 zijn de rollen omgedraaid, en wordt in Scenario 2 een grotere reductie bereikt van 13 Mton versus 12,5 Mton in Scenario 1. Dit verschil is te verklaren uit de grotere energiebesparing en de groeiende bijdrage van waterstof. Overigens vallen de verschillen tussen deze reducties weg in de onzekerheidsmarge.



Figuur 5.3 *CO₂-emissie wegverkeer (IPCC definitie)*¹⁴

¹⁴ In Figuur 5.3 wordt gesproken over Schoon en Zuinig Laag en Hoog. Strikt genomen is er sprake van S&Z Laag - 'ondermarge' en S&Z Hoog - 'bovenmarge'. Laag en Hoog verwijzen naar de aannames voor Europees beleid, ofwel CO₂-normering. De onder- of bovenmarge verwijst naar het aandeel biobrandstoffen (10% of 20%) en naar onzekerheidsmarges voor de effecten van een aantal beleidsmaatregelen, die samen ongeveer 0,5 Mton bedragen. Hiervan is 0,4 Mton een marge op de effectiviteit van het fiscale pakket, die zit in de reactie van de consument op de BPM -differentiatie en de extra BPM voor auto's met een hoge CO₂-uitstoot en in de prijselasticiteit voor de accijnsverhogingen. In principe zou Schoon en Zuinig Laag daarom nog 0,5 Mton extra kunnen reduceren in 2020, en zou Schoon en Zuinig Hoog 0,5 Mton minder kunnen reduceren. Dit verschil is echter nauwelijks zichtbaar te maken in de figuur, en geeft aan hoe bij alle getallen onzekerheidsmarges gehanteerd moeten worden.

De twee scenario's bereiken met verschillende innovatiepakketten, op termijn 2030, een vergelijkbare emissiereductie. Op de langere termijn heeft Scenario 2 wel betere perspectieven voor verdere energiebesparing en reductie van CO₂-emissies, dankzij de doorbraak van waterstof en de grotere diversificatie van brandstoffen. Sterkere reducties door de innovatiepakketten eventueel te combineren lijken onrealistisch. Er zouden dan nog hogere eisen gesteld worden aan de beschikbaarheid van biomassa grondstoffen, de aanwezigheid van tankstations voor zowel CNG als waterstof, het R&D-succes van diverse technologieën en de betaalbaarheid van de alternatieve brandstoffen. Daarom geven de innovatiescenario's een indicatie van wat maximaal haalbaar wordt geacht met de geselecteerde innovaties.

Daarentegen geeft een vergelijking met de hoge variant uit de beoordeling van Schoon en Zuinig nog wel aanknopingspunten voor een sterkere reductie. Het beleidspakket 'Schoon en Zuinig Hoog' behaalt in 2020 een grotere reductie van CO₂-emissies dan de innovatiescenario's, zie ook (Menkveld et al., 2007) en Figuur 5.3. Dit heeft de volgende redenen:

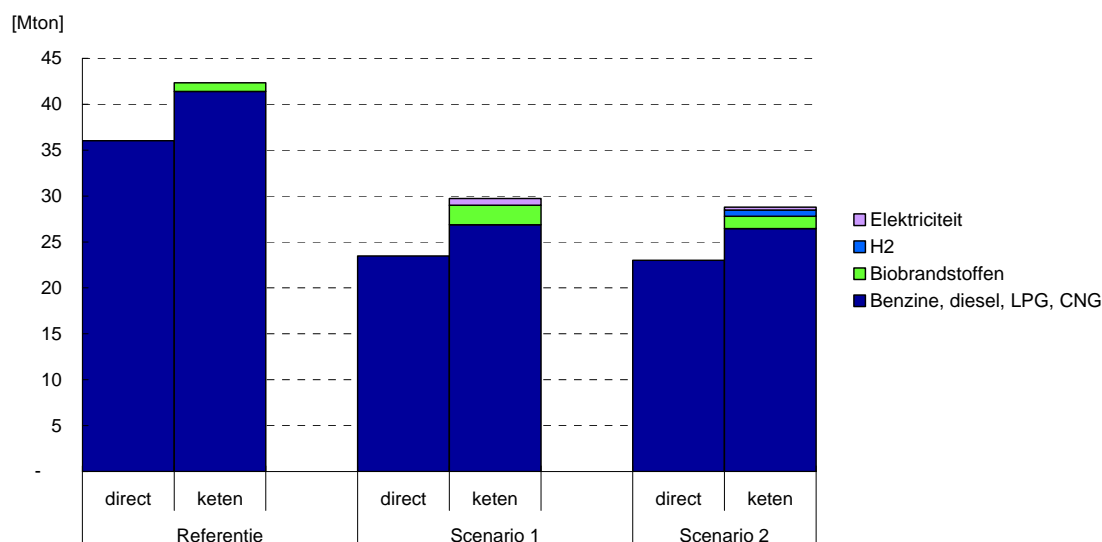
- In Schoon en Zuinig Hoog wordt eerder begonnen met aanscherping van de CO₂-normering van personenauto's. Dit levert een voorsprong op. Bovendien wordt de norm zo aangescherpt dat fabrikanten kritisch naar auto-ontwerp en prestaties moeten gaan kijken. Alleen met hybride uitvoeringen kan deze norm niet gehaald worden.
- Ook voor bestelauto's wordt de CO₂-normering eerder en sterker ingezet. De innovatiescenario's richten zich alleen op de inbouw van hybride aandrijving, banden en ICT in bestelauto's. Andere onderdelen, zoals de overbrenging, worden buiten beschouwing gelaten.
- Voor Scenario 2 geldt bovendien dat het een lager aandeel biobrandstoffen veronderstelt (15%) dan Schoon en Zuinig Hoog (20%). Scenario 1 is hierin wel vergelijkbaar met Schoon en Zuinig Hoog.

Worden de uitgangspunten van de innovatiescenario's tegen de achtergrond van deze hoge variant geplaatst, dan kan van deze combinatie nog een grotere emissiereductie verwacht worden in 2020. Dit onderstreept de Nederlandse afhankelijkheid van Europees beleid. Aan de andere kant kan men ook stellen dat bij een eventueel minder scherp Europese CO₂-normeringsbeleid een extra reductie van CO₂-emissies bereikt kan worden als het Nederlandse beleid sterk inzet op innovatie.

Ketenemissies wegverkeer

Het is niet alleen relevant om te kijken naar de directe CO₂-emissies, ook wel 'Tank to Wheel' genoemd, maar ook om de hele keten van productie, transport en distributie, 'Well to Wheel' te beschouwen. In Paragraaf 4.1 zijn de ketenemissiefactoren gegeven. Voor de fossiele brandstoffen zijn de ketenemissiefactoren 10-15% hoger omdat de CO₂-uitstoot bij raffinage en transport meegenomen wordt¹⁵. Voor biobrandstoffen, elektriciteit en waterstof worden in de tank-to-wheel benadering geen emissies gerekend, en is alleen sprake van emissies in productie en distributie. Figuur 5.4 presenteert een vergelijking van de directe en de ketenemissies voor het wegverkeer per brandstof, voor het jaar 2030. Het is duidelijk dat de bijdrage van alternatieve brandstoffen zeer beperkt is, vergeleken bij die van de fossiele brandstoffen.

¹⁵ De emissiefactor van fossiele brandstoffen kan eventueel nog wijzigen onder invloed van recent EU -beleid (Fuel Quality Directive) of van de kwaliteit van de grondstof. Hiermee is in de analyse geen rekening gehouden.



Figuur 5.4 *Vergelijking directe en keten CO_{2-eq}-emissies wegverkeer voor het jaar 2030*

Tabel 5.1 presenteert de reductie van directe emissies en de reductie volgens een ketenbenadering. Omdat de ketenemissiefactor van de alternatieve brandstoffen fors lager is dan die van fossiele brandstoffen, is de emissiereductie groter wanneer gekeken wordt naar de hele keten.

Tabel 5.1 *Vermeden CO_{2-eq} [Mton] volgens ketenbenadering vergeleken met directe emissies, ten opzichte van Referentiescenario*

	2020		2030	
	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 1	Scenario 2
Direct	6,1	5,5	12,5	13
Keten	6,1	5,8	12,6	13,5

In Tabel 5.2 worden de ketenemissies gegeven van biobrandstoffen, waterstof en elektriciteit. Voor biobrandstoffen is sprake van tegengestelde trends. Dankzij de verschuiving van eerste generatie naar tweede generatie brandstoffen daalt de emissie per kilometer. Tegelijkertijd stijgt het aantal gereden kilometers vanwege de groei in de verkeersprestatie, en groeit het aandeel biobrandstoffen in de totale brandstofconsumptie. Al met al is er daarom wel sprake van een groei in de emissies, maar minder sterk dan de groei in de consumptie van biobrandstoffen.

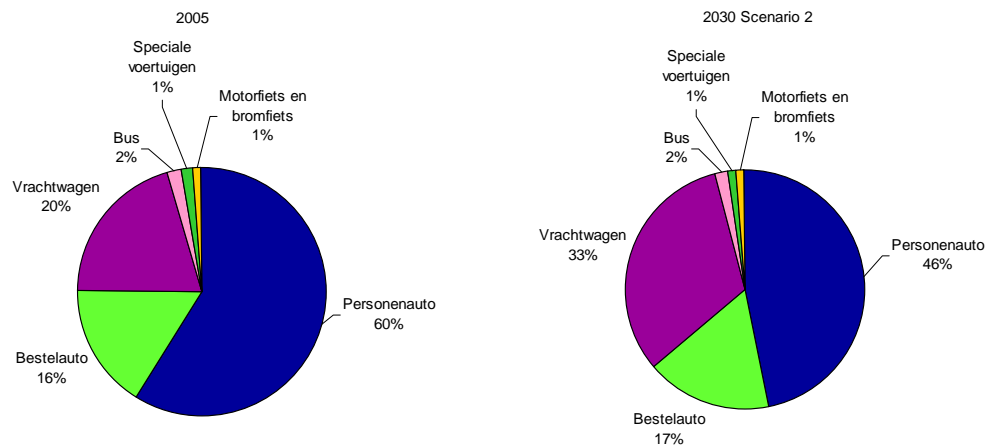
Tabel 5.2 *Emissies CO_{2-eq} wegverkeer volgens ketenbenadering [Mton]*

	2020			2030		
	Referentie	Scenario 1	Scenario 2	Referentie	Scenario 1	Scenario 2
Bioethanol	0,3	0,4	0,3	0,2	0,4	0,2
Biodiesel	0,8	1,5	1,1	0,7	1,7	1,1
H ₂	-	-	0,2	-	-	0,7
Elektriciteit	-	0,2	0,1	-	0,7	0,3

5.1.2 Resultaten per voertuigcategorie

In deze paragraaf presenteren we de CO₂-emissies per voertuigcategorie. In de figuren is ook het achtergrondscenario WLO GE-HP opgenomen. Dit representeert een beleidsarme trend. Vervolgens correspondeert het referentiescenario van deze studie met het beleidspakket Schoon en Zuinig Laag.

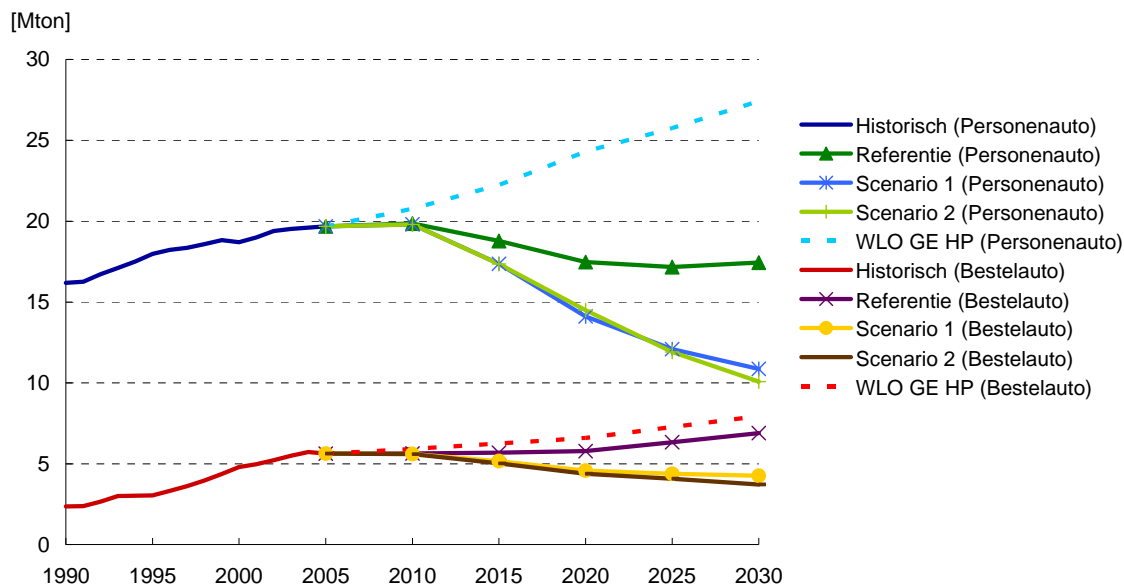
De linkerkant van Figuur 5.5 geeft aan welke aandelen de verschillende voertuigtypes op dit moment hebben in het energiegebruik van het wegverkeer. Dit illustreert de reikwijdte van beleid gericht op de verschillende voertuigcategorieën. Als voorbeeld is aan de rechterkant van de figuur het energiegebruik per voertuigtype gegeven in Scenario 2 in 2030. Er is sprake van 6% besparing ten opzichte van 2005. Deze besparing is het sterkst bij personenauto's en het minst bij vrachtwagens, wat zichtbaar is als een verschuiving tussen de aandelen in het energieverbruik.



Figuur 5.5 Aandelen van voertuigtypes in het energiegebruik van het wegverkeer in 2005 (totaal 463 PJ) en in 2030 (totaal 435 PJ) in Scenario 2

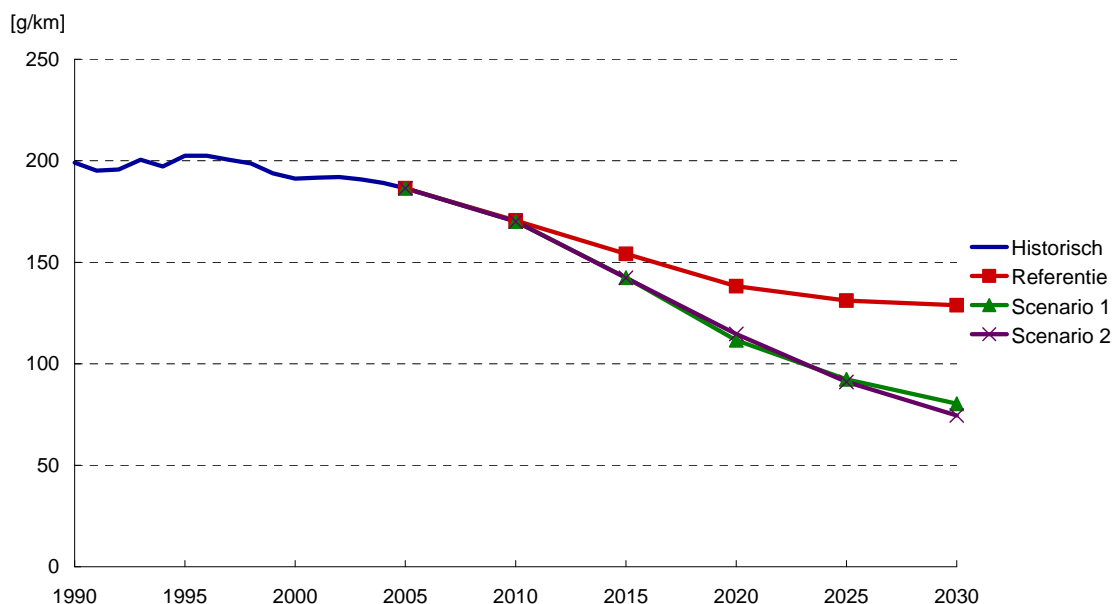
In absolute zin wordt de grootste emissiereductie behaald bij personenauto's, gevolgd door bestelauto's, wat verklaard wordt door het grote aandeel van deze voertuigen in het energiegebruik. Uit Figuur 5.6 blijkt dat Schoon en Zuinig Laag (Referentie) bij personenauto's al een forse trendbreuk bereikt in de periode tot 2020. De trends in de reducties door de innovatiescenario's zijn vergelijkbaar met die voor de gehele sector wegverkeer.

De CO₂-emissies van bestelauto's zijn in dezelfde figuur gepresenteerd. Zoals in de vorige paragraaf al aangegeven, is de reductie in het referentiescenario beperkt, en te danken aan 10% biobrandstoffen en een beperkte CO₂-normering. De innovatiescenario's bereiken wel een daling in CO₂-emissies. Dit is te danken aan de besparing van de verdergaande hybridisering (tot 70% in Scenario 1, 50% in Scenario 2), en het effect van zuinige banden en ICT. Ook alternatieve brandstoffen leveren een bijdrage en verzorgen in 2030 ongeveer 40% van de bestelauto-kilometers.



Figuur 5.6 CO₂-emissies personenauto's en bestelauto's

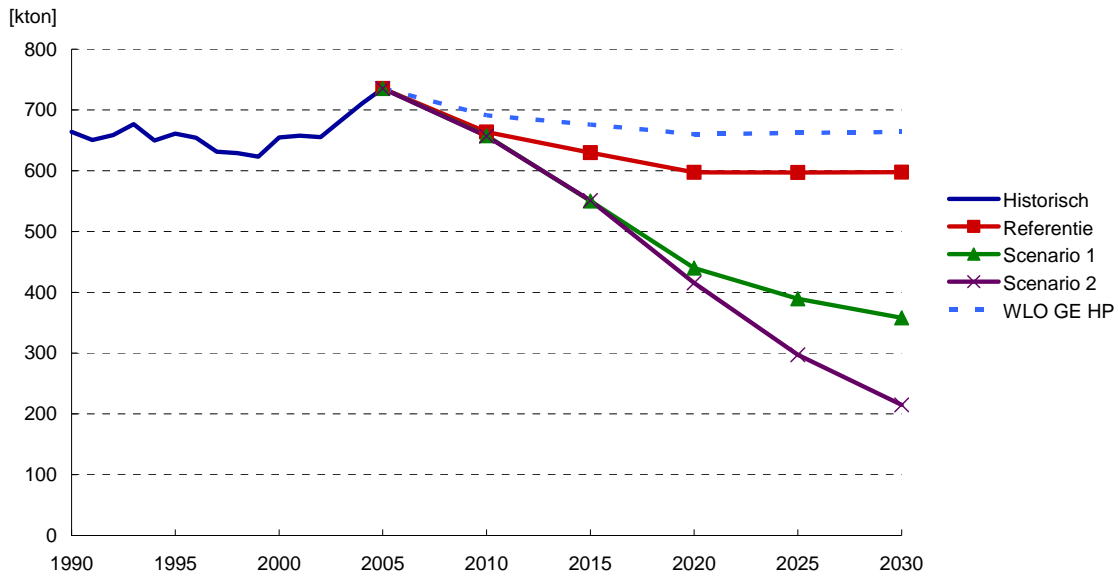
Figuur 5.7 illustreert de CO₂-emissies per gereden kilometer voor personenauto's. Het is belangrijk om op te merken dat dit een gemiddelde voor het hele park betreft, en dus niet vergelijkbaar is met de CO₂-normering zoals deze in de EU bediscussieerd wordt, die alleen voor nieuw verkochte auto's geldt. Ook is deze CO₂-efficiency een resultaat van niet alleen voertuigefficiency, zoals de EU-norm, maar ook van het toepassen van low carbon brandstoffen, zuinige banden, en efficiënte brandstofcelauto's. De gemiddelde CO₂-emissie daalt tot rond de 80 gram per km in 2030.



Figuur 5.7 Gemiddelde CO₂-efficiency van het totale personenautopark

In relatieve zin wordt de sterkste reductie behaald bij de bussen, vanwege de veronderstelde grote penetratie van innovatieve technologie. In Scenario 1 wordt in 2030 nog slechts 44% van de buskilometers op diesel gereden. In Scenario 2 is dit zelfs gedaald tot 33%. Bovendien is van de conventionele bussen respectievelijk 73% en 61% uitgevoerd als hybride. Een groot verschil met de andere voertuigtypen is dat het achtergrondscenario een daling veronderstelt in het aantal

gereden kilometers (de verkeersprestatie) van bussen, en dus in de absolute CO₂-emissies. Dit is zichtbaar in Figuur 5.8. De reductie van het referentiescenario ten opzichte van WLO GE-HP is te danken aan het inzetten van 10% biobrandstoffen. De innovatiescenario's veronderstellen vervolgens hogere aandelen biobrandstoffen, een sterke hybridisering, CNG in Scenario 1 en waterstof in Scenario 2. Ook zuinige banden en ICT leveren een bijdrage. Het inzetten van waterstof zorgt voor een forse extra reductie in Scenario 2 na 2020. Het effect op de totale emissies van het wegverkeer is echter gering.

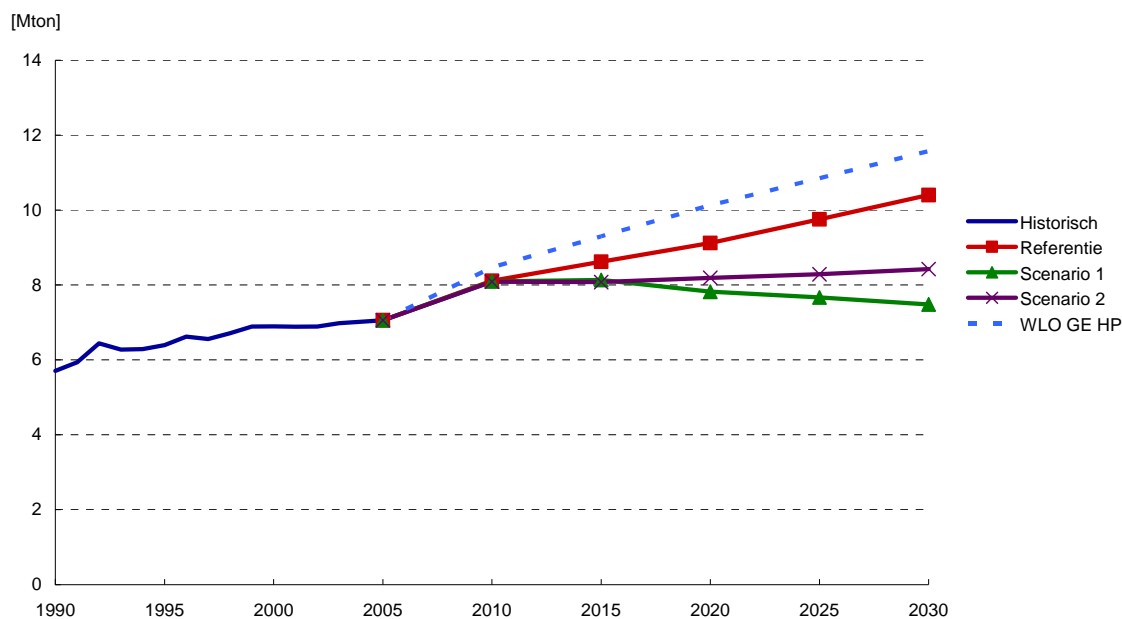


Figuur 5.8 CO₂-emissies bussen

Figuur 5.9 presenteert de CO₂-emissies van het vrachtverkeer. De reductie van de referentie ten opzichte van WLO GE-HP is te danken aan biobrandstoffen. Beide innovatiescenario's veronderstellen 15% hybride vrachtwagens in 2030. Dit betreft vooral kleine vrachtwagens in het stadsverkeer. De verschillen in de innovatiescenario's worden veroorzaakt door:

- Een hogere penetratie van zuinige banden en energiebesparende ICT in Scenario 2.
- Een groter aandeel biobrandstoffen in Scenario 1.

Dit laatste effect leidt tot een forse extra emissiereductie in Scenario 1. Hierbij is het goed om op te merken dat in Scenario 2 een deel van de biomassa gebruikt wordt om waterstof te produceren. Dit leidt, zoals eerder in dit hoofdstuk getoond, tot extra emissiereductie bij andere modaliteiten.



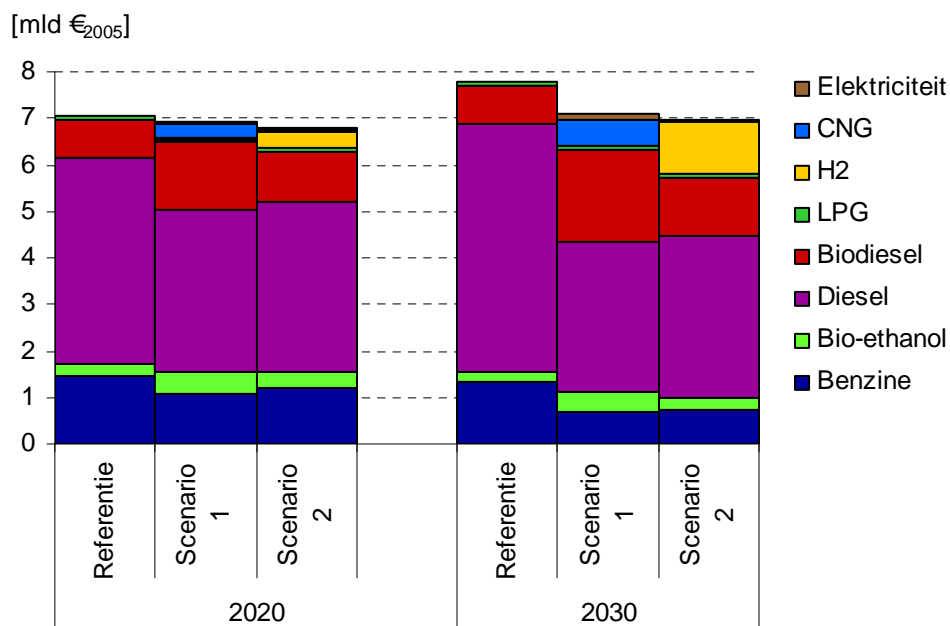
Figuur 5.9 CO₂-emissies vrachtwagens

5.2 Kosten

Voor de drie scenario's zijn de jaarlijkse kosten bepaald op basis van de in Paragraaf 4.2 beschreven uitgangspunten. Nadat de brandstofkosten en de kosten voor het wagenpark getoond zijn wordt de kosteneffectiviteit voor de CO₂-emissie reductie bepaald.

5.2.1 Brandstofkosten

Figuur 5.10 en Tabel 5.3 tonen de jaarlijkse brandstofkosten voor de scenario's van Auto van de Toekomst voor de sector wegverkeer. Zoals al eerder aangegeven zijn alle gepresenteerde brandstofkosten zonder accijns en BTW.



Figuur 5.10 Jaarlijkse brandstofkosten wegverkeer

Tabel 5.3 *Totale en gemiddelde brandstofkosten wegverkeer*

Brandstofkosten		2020			2030		
		Referentie	Scenario 1	Scenario 2	Referentie	Scenario 1	Scenario 2
Totaal	[mld € ₂₀₀₅]	7,0	6,9	6,8	7,8	7,1	7,0
Gemiddeld	[€ ₂₀₀₅ /GJ]	13,9	14,8	14,8	14,4	15,6	16,0

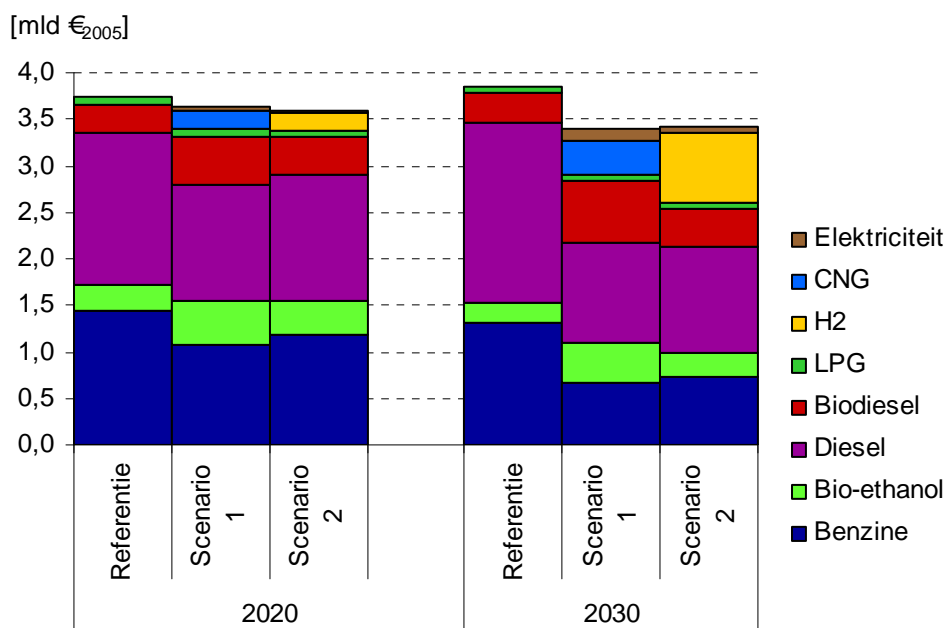
In 2010 bedragen de verwachte jaarlijkse brandstofkosten € 6,9 mld voor alle drie de scenario's. In 2020 hebben de innovatiescenario's al lagere brandstofkosten omdat het lagere brandstofverbruik de relatief hogere kosten van de alternatieve brandstoffen meer dan goed maakt. In 2030 wordt het verschil met het referentiescenario nog groter door een viertal effecten: a) verhoogde penetratie van innovatieve brandstoffen en technologieën b) dalende prijs alternatieve brandstoffen c) licht stijgende prijs van fossiele brandstoffen d) gestegen vervoersprestatie.

In 2030 laat het referentiescenario ten opzichte van 2010 een stijging zien van 13% in de brandstofkosten bij een toegenomen verkeersprestatie van 19%. Bij de beide innovatiescenario's is de stijging tussen de 1% en 3%, een bijna volledige ontkoppeling.

Het verschil tussen Scenario 1 en 2 is marginaal gezien de onzekerheden in de onderliggende scenario's. Op basis van de verdeling naar brandstof, en de onderliggende uitgangspunten, is wel een aantal conclusies te trekken:

- Aandeel (bio-)benzine/diesel blijft grootste aandeel met meer dan 80% van de kosten.
- Scenario 1 heeft relatief hogere kosten voor (bio-)benzine/diesel als gevolg van een hoger aandeel duurdere biobrandstoffen.
- Ondanks hogere brandstofkosten per GJ van waterstof, heeft waterstof in 2030 vanwege de hogere efficiëntie van de brandstofcel bijna met CNG vergelijkbare brandstofkosten per 100 km (zie verderop in deze paragraaf). De hogere kosten voor waterstof in Scenario 2 in 2030 ten opzichte van CNG in Scenario 1 zijn voornamelijk het gevolg van de hogere geleverde gerelateerde verkeersprestatie.

De bovenstaande waarnemingen zijn eenvoudiger te doorzien als alleen naar de brandstofkosten van één specifiek wagenpark gekeken wordt, zoals getoond in Tabel 5.4 voor de personenwagens die verantwoordelijk zijn voor de helft van de totale brandstofkosten. Hierdoor zijn er geen structurele effecten die de vergelijkbaarheid van de brandstofkosten per 100 km beïnvloeden.



Figuur 5.11 Jaarlijkse brandstofkosten personenwagens

Tabel 5.4 Brandstofkosten personenwagens per 100 km en de relatieve verkeersprestatie

Brandstofkosten [€ ₂₀₀₅ /100 km]	2020						2030					
	Referentie	Scenario 1		Scenario 2		Referentie	Scenario 1		Scenario 2			
	[€ ₂₀₀₅ /100 km]	[%]	[%]	[%]	[%]	[€ ₂₀₀₅ /100 km]	[%]	[%]	[%]	[%]		
Benzine	2,65	43	2,46	35	2,47	38	2,54	38	2,09	24	2,13	25
Bioethanol	4,59	5	4,25	9	4,28	7	3,79	4	3,12	10	3,19	6
Diesel	2,85	46	2,58	38	2,59	42	2,84	50	2,32	34	2,36	36
Biodiesel	4,73	5	4,29	10	4,30	7	4,12	6	3,36	15	3,43	9
LPG	3,89	2	3,80	2	3,75	2	3,66	1	3,37	1	3,29	1
H ₂	0	0	0	0	3,76	4	0	0	0	0	2,74	20
CNG	0	0	2,82	6	0	0	0	2,65	10	0	0	0
Elektriciteit	0	0	2,15	1	2,10	1	0	1,81	6	1,77	3	3
Totaal	2,96	100	2,88	100	2,84	100	2,85	100	2,52	100	2,53	100

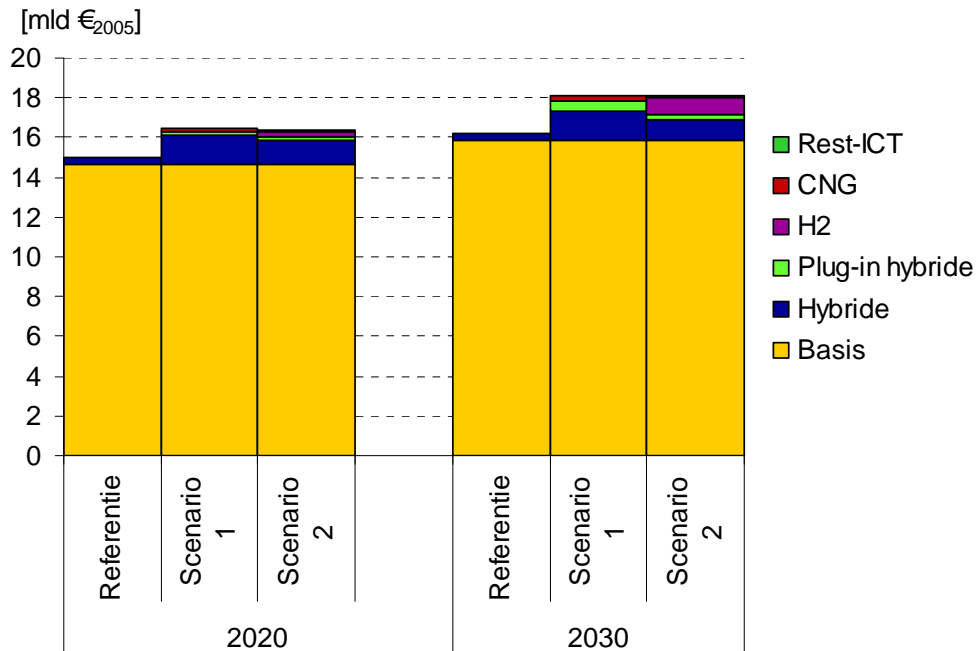
Voor personenwagens verschillen de brandstofkosten per 100 km marginaal tussen Scenario 1 en 2. De kleine verschillen worden verklaard door enerzijds de hogere penetratie van hybrides in Scenario 1 (alleen binnen (bio-)benzine/diesel) en anderzijds door de hogere penetratie van zuinige banden en ICT in Scenario 2 (overige brandstoffen).

Verder is te zien dat de alternatieve brandstoffen waterstof en CNG beide goedkoper zijn dan biobrandstoffen. In 2030 zijn, per 100 km, de ‘nieuwe’ brandstoffen CNG en waterstof ongeveer even duur als diesel (na de bijmenging van biodiesel). Hierbij moet wel in gedachte gehouden worden dat het diesel wagenpark bestaat uit een mix van niet-hybrides en wel degelijk zuiniger hybrides.

5.2.2 Kosten van het wagenpark

Conform Paragraaf 4.2 zijn de jaarlijkse meerkosten voor de vervanging van het wagenpark bepaald. Alle gepresenteerde resultaten zijn exclusief BTW, subsidies en BPM. Op jaarbasis gaat het in totaal om ongeveer € 2 mld hogere kosten voor het wagenpark versus het referentiescenario. Onderstaande figuur geeft de meerkosten per innovatieve brandstof/technologie, maar bevat

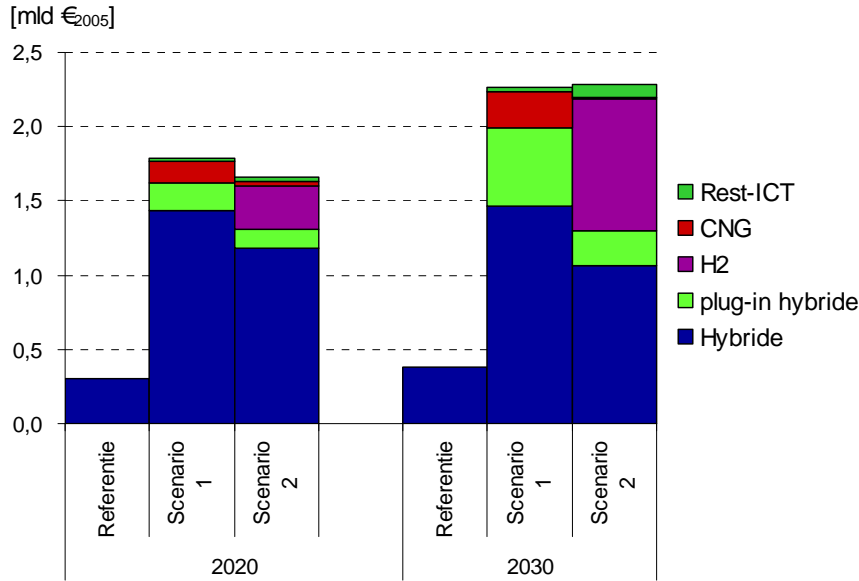
ook de ‘basis’-kosten voor het wagenpark. ‘Basis’-kosten zijn de kosten van het voertuig dat gekocht was als niet voor een innovatieve brandstof of technologie was gekozen: de non-hybride binnen de gebruikte brandstof/voertuig combinatie. De totale kosten voor het wagenpark van de innovatiescenario’s zijn in 2030 12% hoger dan in het referentiescenario.



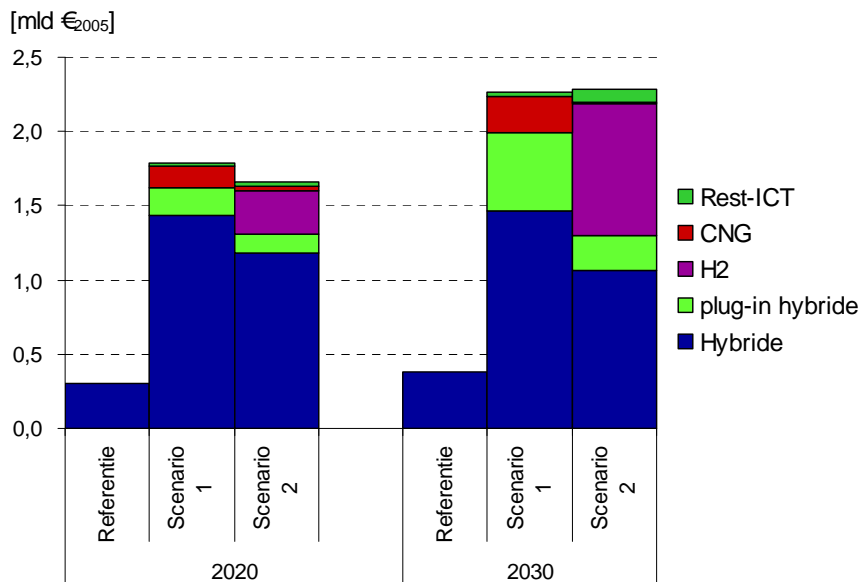
Figuur 5.12 Jaarlijkse kosten wagenpark

De 12% hogere meerkosten zijn bepaald zonder de bespaarde brandstofkosten mee te nemen. Als de relatieve stijging wordt bepaald op basis van de totale kosten (brandstof en kosten wagenpark) hebben de innovatiescenario’s 5% hogere kosten in 2030 ten opzichte van het referentiescenario.

Door de informatie over de gemiddelde aanschafprijs van personenauto’s (BOVAG-RAI, 2006) te combineren met de historische inflatiecijfers voor huishoudens (CBS, 2006), kan de reële prijsstijging van personenauto’s worden bepaald. In de 15 jaar tussen 1990 en 2005 is de prijs van personenauto’s met 18% gestegen, gemiddeld 1,1% per jaar (in reële termen, exclusief 2,6% inflatie). De voornaamste reden hiervoor is waarschijnlijk dat er meer grotere en luxere auto’s worden verkocht. Dit kan een indicatie geven over de haalbaarheid van de innovatiescenario’s. Let wel: voor de scenario’s is deze ‘autonome’ prijsstijging buiten beschouwing gelaten door haar op nul te veronderstellen.



Figuur 5.13 toont dat de jaarlijkse meerkosten van de innovatiescenario's vergelijkbaar zijn qua orde van grootte. Ze zijn ongeveer zes keer zo hoog als de meerkosten in het referentiescenario. Het grootste deel van de meerkosten is het gevolg van de hybridisering van het wagenpark, alhoewel de meerkosten van waterstofvoertuigen in 2030 ook een groot deel van de meerkosten van Scenario 2 veroorzaken. Dit verschil ten opzichte van het referentiescenario is deels veroorzaakt doordat in het referentiescenario de meerkosten van hybrides relatief wat hoger blijven doordat de schaalvoordelen van innovatie niet behaald worden.

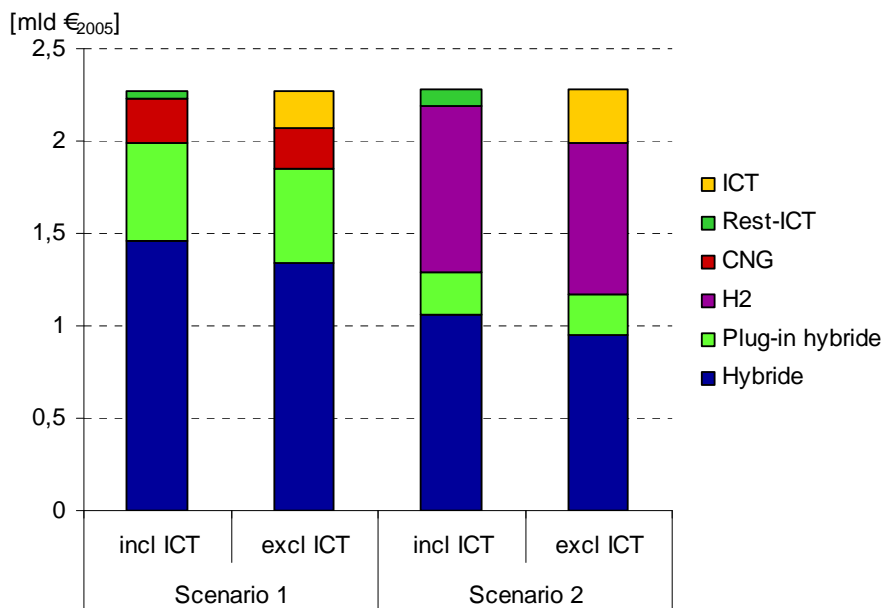


Figuur 5.13 *Jaarlijkse meerkosten wagenpark*

In 2020 heeft Scenario 1 nog licht hogere kosten dan Scenario 2 door de hogere penetratie van hybrides, maar in 2030 hebben beide innovatiescenario's vergelijkbare meerkosten. Waar die meerkosten door veroorzaakt worden is wel zeer verschillend en in lijn met de uitgangspunten

van de beide scenario's. Scenario 1 heeft een sterkere focus op de hybrides enerzijds door de hogere penetratie en anderzijds door het grotere aandeel van benzine/diesel voertuigen (voor andere alternatieve brandstoffen zijn geen hybride versies verondersteld). Scenario 2 heeft hogere kosten door de invoer van het waterstof wagenpark dat relatief laat in versnelde pas (sneller dan CNG) is ingevoerd. Door de late start van de introductie van waterstof zijn relatief veel extra nieuwe auto's nodig in de laatste jaren voor 2030 om het gewenste aandeel in de verkeersprestatie te realiseren in 2030. Hierdoor heeft Scenario 2 een relatief groot aandeel waterstofauto's in de meest recente jaren die allemaal nog zo nieuw zijn dat ze nog afgeschreven worden. Daarnaast is er in dit scenario een hogere penetratie van ICT.

Met de kosten van ICT moet voorzichtig omgegaan worden bij het interpreteren van Figuur 5.13. Er is voor gekozen om de meerkosten per voertuig te bepalen inclusief eventuele kosten voor ICT en volledig toe te wijzen aan de innovatieve technologie/brandstof. Zo zitten in de meerkosten van een hybride (of bijv. een waterstof-auto) naast de meerkosten van de auto zelf, ook een opslag voor de meerkosten van ICT (op basis van de gemiddelde penetratie van ICT in dat jaar). In bovenstaande figuur zijn de kosten van ICT voor innovatieve brandstoffen en technologieën dus niet apart zichtbaar. Dat er toch nog kosten voor ICT zichtbaar zijn (Rest-ICT) is omdat ICT ook toegepast wordt bij 'conventionele' voertuigen (non-hybride!) en daar dan tot meerkosten leidt. Onderstaande tabel geeft voor 2030 een overzicht van hoe de kosten verdeeld zouden zijn over de innovatieve brandstoffen en technologieën als de ICT-meerkosten apart gehouden worden. De totale meerkosten voor ICT zijn € 0,2 tot 0,3 mld per jaar. Op de meerkosten voor de aparte technologieën/brandstoffen is het effect beperkt tot een stijging van maximaal 12%.



Figuur 5.14 Jaarlijkse meerkosten wagenpark per technologie, incl. en excl. meerkosten ICT

De eerder gepresenteerde cijfers ('inclusief ICT') zijn consistent met de aanpak om de resulterende hogere besparing in brandstofverbruik toe te wijzen aan de relevante technologie/brandstof en niet apart voor ICT zichtbaar te maken. In Paragraaf 6.2.1 wordt het besparende effect van zuinige banden en ICT apart inzichtelijk gemaakt in een gevoeligheidsanalyse.

5.2.3 Kosten in termen van € per ton CO₂

Door de jaarlijkse kosten en de CO₂-emissie van de innovatiescenario's te vergelijken met het referentiescenario, kan de kosteneffectiviteit van de innovatie bepaald worden. De jaarlijkse

kosten voor de innovatiescenario's zijn bepaald door de jaarlijkse meerkosten van het wagenpark te verminderen met de bespaarde brandstofkosten. Doordat niet alle kosten in de studie zijn meegenomen (bijvoorbeeld onderhoudskosten), kan de kosteneffectiviteit niet exact vergeleken worden met resultaten uit andere studies. Wel kan op hoofdlijnen een vergelijking plaatsvinden van de orde van grootte, en de scenario's kunnen met elkaar vergeleken worden.

Gezien het feit dat de kosten en de emissiereductie voor beide scenario's vergelijkbaar waren, is het geen verrassing dat ook de kosteneffectiviteit vergelijkbaar is, met een klein voordeel voor Scenario 2. De volgende tabel toont de resultaten.

Tabel 5.5 *Kosteneffectiviteit innovatiescenario's*

Kosten-effectiviteit [€/ton CO ₂]	Innovatiescenario 1		Innovatiescenario 2	
	2020	2030	2020	2030
Vermeden CO ₂ - IPCC [Mton]	6,1	12,5	5,5	13,0
Kosten-effectiviteit [€/ton CO ₂]	222	96	199	84
Totale meerkosten [€ mld]	1,4	1,2	1,1	1,1
Meerkosten wagenpark [€ mld]	1,5	1,9	1,4	1,9
Bespaarde brandstofkosten [€ mld]	-0,1	-0,7	-0,3	-0,8

De totale kosteneffectiviteit van de innovatiescenario's is in 2020 nog erg laag in vergelijking met de verwachte CO₂-prijs van € 20 tot € 50 per ton zoals verondersteld bij de beoordeling van het Schoon en Zuinig programma (Menkveld et al., 2007). In 2030 is die sterk verbeterd tot onder de € 100 per ton CO₂. De reden hiervoor is dat door kosten-verlagingen van de innovatieve brandstoffen en technologieën dezelfde emissiereductie tegen (nog) minder brandstofkosten en meerkosten in het wagenpark kan worden gerealiseerd. Dit zal alleen het geval zijn als verondersteld wordt dat de innovatie in heel Europa plaatsvindt, zie Paragraaf 6.3.1 voor een gevoeligheidsanalyse waarbij die laatste veronderstelling losgelaten wordt.

5.2.4 Baten

De maatschappelijke baten van de innovatiescenario's zijn niet eenvoudig te kwantificeren. De brandstofbesparing levert naast de financiële besparing ook een positief effect op de luchtkwaliteit (NO_x, SO_x, etc) en vermindert bovendien de afhankelijkheid van fossiele brandstoffen. Voor de consument leveren de innovaties ook comfortverbetering (hybride, brandstofcel, ICT) en verhoogde veiligheid (ICT) op. Daarnaast zal de sterke impuls om te innoveren mogelijk leiden tot technologische doorbraken die de Nederlandse positie binnen de auto-industrie kan versterken. Ook voor de Nederlandse wegtransportsector zijn positieve bij-effecten te verwachten. Deze maatschappelijke baten zijn over het algemeen moeilijk te kwantificeren en zijn in deze studie niet verder geanalyseerd.

Duidelijk is wel dat de meerkosten van de innovaties dus niet alleen als CO₂-reductiekosten kunnen worden beschouwd. Omdat er geen volledige kosten-baten analyse uitgevoerd is, dienen de in de vorige paragrafen weergegeven kosten en kosteneffectiviteit in het juiste perspectief geplaatst te worden.

6. Gevoeligheidsanalyses

De resultaten in het vorige hoofdstuk zijn gebaseerd op het referentiescenario en de twee ontwikkelde innovatiescenario's. In dit hoofdstuk zal een aantal varianten op deze scenario's gemaakt worden, waarbij de afhankelijkheid van de gepresenteerde resultaten van bepaalde uitgangspunten bepaald kan worden. Met behulp hiervan kan een gevoel ontwikkeld worden over de robuustheid van de resultaten voor afwijkende uitgangspunten. Er zijn drie categorieën uitgangspunten gevarieerd:

- Emissie-gerelateerd:
 - Lagere emissiefactor van elektriciteit
 - CNG vervangen door Biogas
- Innovatie-gerelateerd:
 - Geen innovatie door zuinige banden en/of ICT
 - Lagere/hogere besparing in verbruik door hybrides
- Kosten-gerelateerd:
 - Hogere innovatiekosten omdat Nederland alleen innoveert
 - Goedkopere hybride technologie
 - Extra hoge fossiele brandstofprijzen.

Bij alle gevoeligheidsanalyses blijven de scenario's gelijk qua uitgangspunten voor de gevraagde verkeersprestatie. Behalve bij de zuinige banden/ICT gerelateerde analyses, blijven verder ook de penetratie van de diverse innovatieve brandstoffen en technologieën gelijk binnen de analyses. In werkelijkheid zal dit niet het geval zijn: hogere fossiele brandstofprijzen hebben wel degelijk een effect op de gevraagde verkeersprestatie en waarschijnlijk ook op de opbouw van het wagenpark. Echter, dit hoofdstuk beperkt zich tot een aantal gevoeligheidsanalyses en dient niet om nieuwe scenario's te ontwikkelen.

6.1 Emissie-gerelateerde gevoeligheidsanalyses

Bij deze gevoeligheidsanalyses wordt gekeken in hoeverre de CO₂-emissiereductie verandert in geval van gewijzigde uitgangspunten voor sommige brandstoffen.

6.1.1 Lagere emissiefactor van elektriciteit

Voor de fossiele brandstoffen zijn de emissiefactoren al vrij lang bekend, en zullen slechts de ketenemissies geleidelijk veranderen als gevolg van bijvoorbeeld strengere efficiëntie eisen voor de winning of door uitputting van efficiënt winbare bronnen. Voor elektriciteit is de ketenemissiefactor echter volledig afhankelijk van de emissies tijdens de opwekking en de efficiëntie van de distributie. Door de mogelijk sterke groei van duurzame energie kan hier wel degelijk een significante wijziging plaatsvinden in de emissiefactor. Deze analyse toont de impact van een lagere ketenemissiefactor van elektriciteit als gevolg van een elektriciteitproductie park met een aandeel van 30% duurzame bronnen. Deze analyse betreft alleen de ketenemissie aangezien voor elektriciteit de directe emissie voor de transportsector gelijk is aan 0 onafhankelijk van de opwekking.

Tabel 6.1 *Lage ketenemissiefactor elektriciteit - overzicht aannames*

Ketenemissiefactor elektriciteit	[g CO ₂ /MJ]		[g CO ₂ /kWh]	
	2020	2030	2020	2030
Auto van de Toekomst	137	137	491	491
Elektriciteit - Laag	99	99	356	356

De impact van een gewijzigde ketenemissiefactor voor elektriciteit is beperkt tot het elektriciteitsgebruik van de plug-in hybride voertuigen. In de innovatiescenario's komt deze technologie alleen voor in het personenwagenpark en slechts met een beperkt aandeel.

Tabel 6.2 *Lage ketenemissiefactor elektriciteit - impact op vermeden CO₂-ketenemissies*

Vermeden CO ₂ in Mton (keten)	2020		2030	
	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 1	Scenario 2
Auto van de Toekomst	6,1	5,8	12,6	13,5
Elektriciteit - Laag	6,1	5,8	12,8	13,6
Δ	0,0	0,0	0,2	0,1
Δ relatief [%]	0,7	0,5	1,6	0,7

De totale impact varieert tussen de 0,5% en 1,6% van de vermeden CO₂-ketenemissies. Als percentage van de vermeden CO₂-ketenemissies van het personenwagenpark, waar de elektriciteit alleen gebruikt wordt, is de impact twee keer zo groot: tussen de 1,0% en 3,2%.

Binnen de huidige innovatiescenario's heeft de gebruikte ketenemissiefactor voor elektriciteit slechts een zeer beperkte invloed. Bij een veronderstelde daling van 28%, daalt de vermeden CO₂-ketenemissie met maximaal 1,6%. Scenario 1 met het grootste aandeel plug-in hybrides, heeft in 2030 een extra reductie van 200 kton CO₂.

6.1.2 CNG vervangen door Biogas

Voor Scenario 1 is momenteel het uitgangspunt dat de opkomende alternatieve brandstof CNG/Biogas volledig bestaat uit CNG. Deze gevoeligheidsanalyse zal het effect laten zien als dit uitgangspunt vervangen wordt door het uitgangspunt dat deze volledig bestaat uit biogas. Het voornaamste doel is de impact van dit gewijzigde uitgangspunt te bepalen op de directe en de keten-emissies van CO₂. Andere uitgangspunten zijn niet veranderd en de haalbaarheid van het benodigde brandstof-volume is niet bekeken.

Hieronder volgt een overzicht van de gewijzigde emissiefactoren. Deze zijn gebaseerd op de (keten-)emissiefactoren uit de REFUEL-studie (Deurwaarder et al., 2007). Voor de ketenemissiefactor van biogas is verondersteld dat deze voor de helft is geproduceerd uit houtachtige gewassen, en voor de andere helft uit resten uit de hout(verwerkende) industrie. Tevens is er verondersteld dat er 5% extra primaire energie nodig is (verondersteld aardgas) om de compressie aan de pomp te verzorgen, zoals ook verondersteld voor LPG en CNG.

Tabel 6.3 *CNG vervangen door Biogas - Overzicht aannames*

Emissiefactor [g CO ₂ /MJ]	Direct		Keten	
	2020	2030	2020	2030
Auto van de Toekomst - CNG	56,8	56,8	62,5	62,5
Biogas	0	0	8,6	8,6

Tabel 6.4 CNG vervangen door Biogas - Impact op vermeden CO₂ (keten-)emissies

Vermeden CO ₂ in Mton	Direct				Keten			
	2020		2030		2020		2030	
	Scen. 1	Scen. 2	Scen. 1	Scen. 2	Scen. 1	Scen. 2	Scen. 1	Scen. 2
Auto van de Toekomst	6,1	5,5	12,5	13,0	6,1	5,8	12,6	13,5
Biogas	7,4	5,8	14,7	13,1	7,3	6,0	14,7	13,5
Δ	1,3	0,2	2,2	0,1	1,2	0,2	2,1	0,1
Δ relatief [%]	20,9	4,4	17,6	0,5	19,8	4,0	16,6	0,5

Conform verwachting heeft de veronderstelling dat CNG/Biogas voor 100% CNG betreft een significante impact op het resultaat van Scenario 1. Voor Scenario 2 is de extra reductie beperkt door het lage aandeel CNG/Biogas. Als het uitgangspunt 100% Biogas zou zijn, zou er 17% tot 20% extra CO₂-emissie vermeden worden in Scenario 1 ten opzichte van het referentiescenario. In absolute termen stijgt de extra gereduceerde CO₂-emissie van 1,3 Mton in 2020 tot 2,2 Mton in 2030. De directe emissies hebben vergelijkbare reducties door de vergelijkbare verschillen in de keten- en de directe emissiefactoren voor de beide brandstoffen.

De gevoeligheidsanalyse kan gebruikt worden om de bandbreedte van Scenario 1 aan te scherpen als meer inzicht is in het verwachte aandeel biogas. Zo zal een aandeel van 20% biogas, de vermeden emissies voor Scenario 1 met 3% (in 2030) tot 4% (in 2020) verhogen. Bij deze gevoeligheidsanalyse is niet gekeken naar de additionele behoefte aan biomassa voor de productie voor biogas en de gebruikte hoeveelheid bioethanol en biodiesel is constant gehouden. Indien de inzet van biomassa voor biogas ten koste gaat van de gebruikte hoeveelheid bioethanol en biodiesel zal het totale effect op de vermeden emissies lager uitvallen.

6.2 Innovatie-gerelateerde gevoeligheidsanalyses

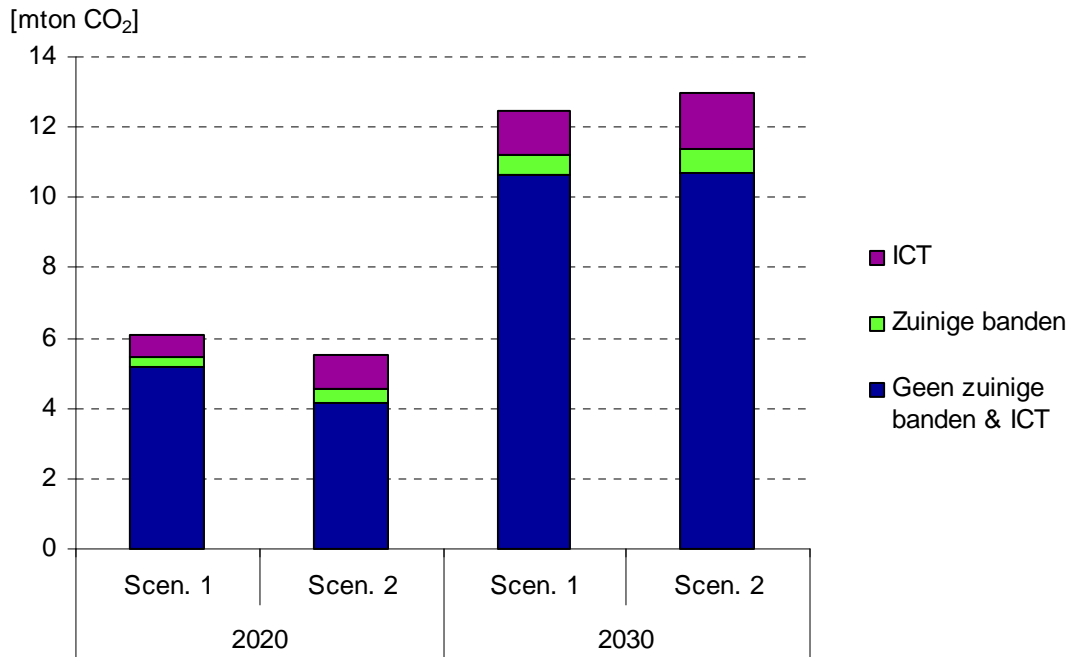
Bij deze gevoeligheidsanalyses wordt gekeken in hoeverre de CO₂-emissiereductie verandert in geval van gewijzigde aannames voor de penetratie en het besparingseffect van bepaalde innovatieve technologieën. Aangezien deze mede het brandstofverbruik beïnvloeden, zal ook het effect op de bespaarde brandstofkosten worden bepaald.

6.2.1 Geen innovatie door zuinige banden en/of ICT

Beide scenario's bevatten een grote penetratie van de innovatieve technologieën op het gebied van zuinige banden en brandstofbesparende ICT. Voor ieder innovatiescenario zijn drie extra varianten doorgerekend, waarmee het effect van de specifieke innovatie te bepalen is:

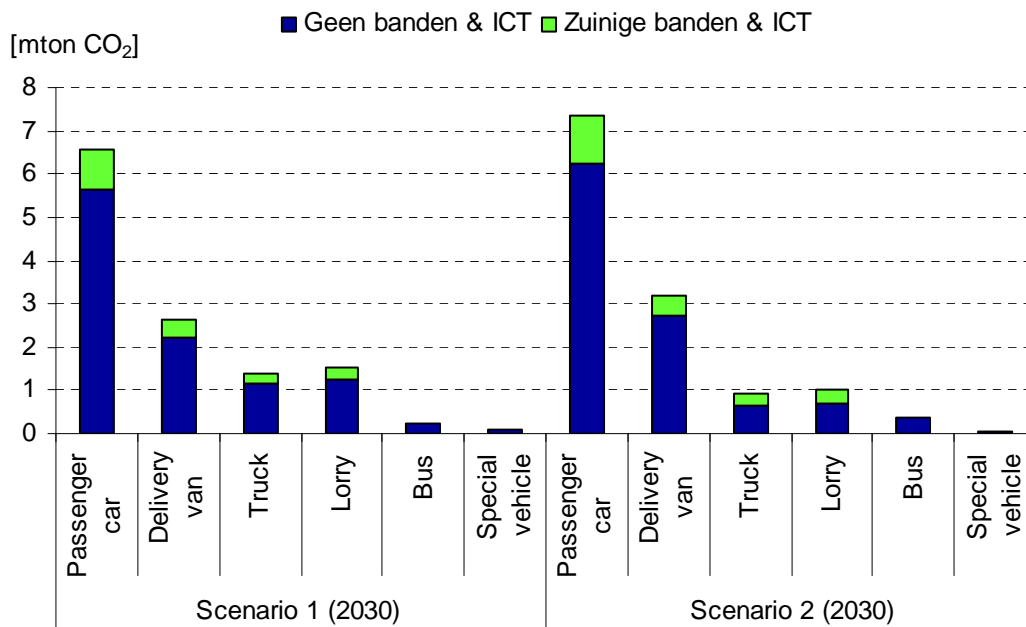
- Alleen ICT.
- Alleen zuinige banden.
- Geen ICT en geen zuinige banden.

Met de resulterende data is Figuur 6.1 samengesteld waaruit af te leiden is dat het aandeel dat de beide technologieën samen hebben in de verwachte reductie van de innovatiescenario's rond 15% bedraagt in 2030 voor beide scenario's. De reductie door ICT is ruim twee keer zo groot als die door zuinige banden. Door de hogere penetratie in Scenario 2 is daar de reductie in absolute zin het hoogst.



Figuur 6.1 Vermeden CO₂-emissie van innovatiescenario's met en zonder zuinige banden en ICT

Voor 2030 is nog een aanvullende analyse gedaan die per deelsector laat zien hoe groot het aandeel van de reductie van deze innovatieve technologieën is ten opzichte van de totale emissiereductie van de innovatiescenario's.

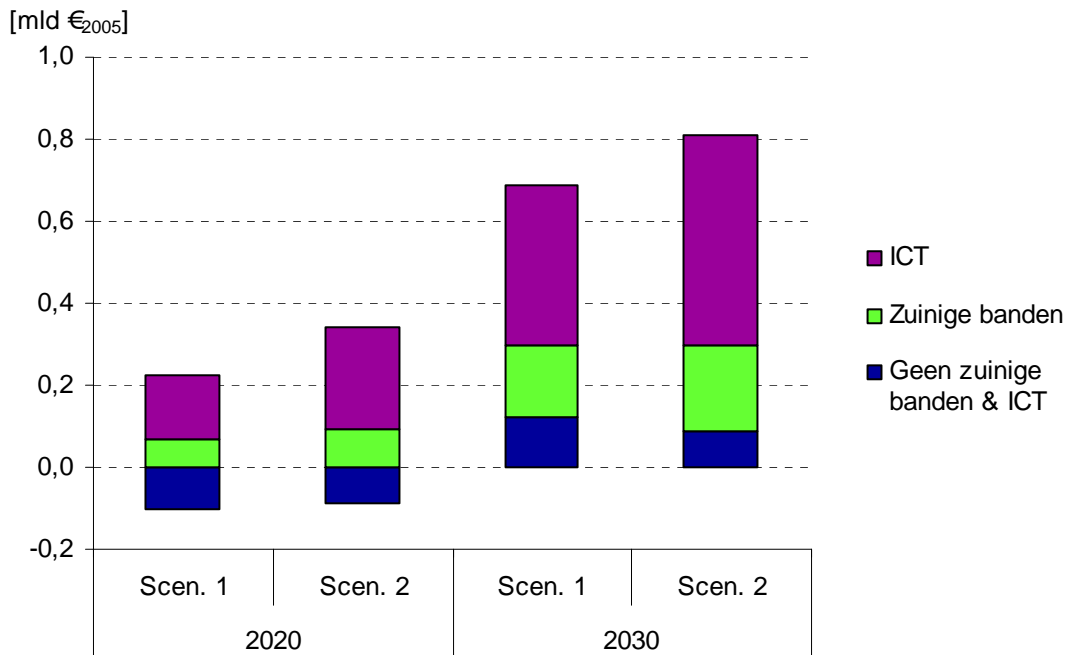


Figuur 6.2 Vermeden CO₂-emissie per deelsector voor 2030 van innovatiescenario's met en zonder zuinige banden en ICT

De reductie van zuinige banden en ICT samen is ongeveer 15% per deelsector voor beide scenario's met de volgende uitzonderingen:

- Voor vrachtwagens, trekkers en speciale voertuigen bedraagt het aandeel in Scenario 2 rond de 35%. De oorzaak hiervan is dat hybridisering de enige andere reductieoptie is en door de beperkte penetratie van hybrides in Scenario 2 is daar dus het relatieve aandeel van zuinige banden en ICT groter.
- Voor autobussen geldt precies het omgekeerde. Daar wordt een grote reductie gerealiseerd door hybrides, CNG en waterstof, waardoor het relatieve aandeel van zuinige banden en ICT (qua CO₂-emissie) relatief laag is, rond de 10% in Scenario 1 en 5% in Scenario 2.

De volgende figuur toont de impact op het brandstofverbruik van de innovatieve technologieën, door de bespaarde brandstofkosten per jaar te bepalen met en zonder zuinige banden en ICT.



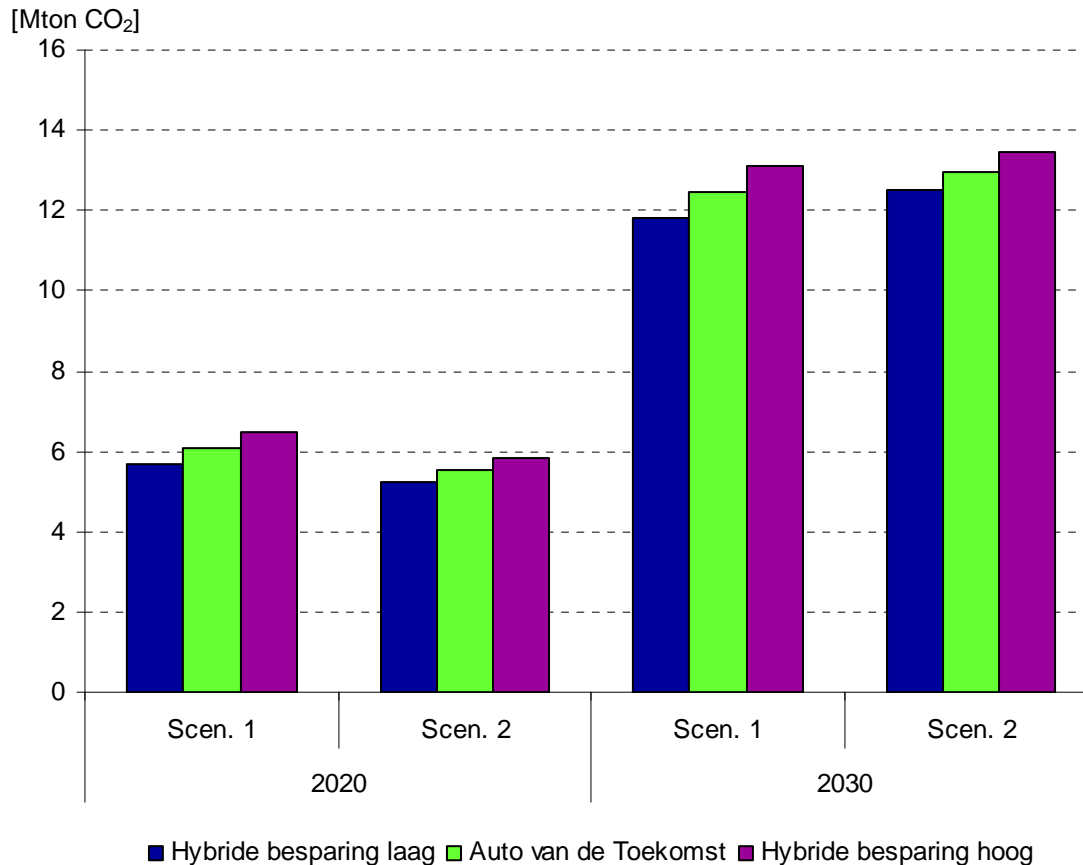
Figuur 6.3 *Jaarlijkse bespaarde brandstofkosten ten opzichte van het referentiescenario met en zonder zuinige banden en ICT*

Zuinige banden en ICT hebben een grote invloed op de brandstofkosten. Zonder deze brandstofbesparende technologieën zouden in 2020 de jaarlijkse brandstofkosten van de innovatiescenario's zelfs hoger zijn dan het referentiescenario. En ook voor 2030 is de besparing door zuinige banden en ICT bijna even groot als de gehele besparing ten opzichte van het referentiescenario. De bespaarde brandstofkosten vallen in 2030 € 0,6 - 0,7 mld hoger uit als gevolg van de innovatieve technologieën. De bespaarde kosten zijn substantieel hoger dan de jaarlijkse meerkosten als gevolg van ICT, in 2030 € 0,2 - 0,3 mld (zie Paragraaf 5.2 voor details).

De gevoeligheidsanalyse toont aan dat het resultaat van de innovatiescenario's voor een substantieel deel afhankelijk is van een geslaagde invoering van innovatieve technologieën zoals zuinige banden en ICT. Binnen de huidige scenario's zijn zij verantwoordelijk voor 15% van de vermeden CO₂-emissie voor de transportsector. Ook is er een forse besparing op de jaarlijkse brandstofkosten te realiseren doordat de technologieën het wagenpark zuiniger in het energiegebruik maken. Zonder de innovatieve technologieën zouden de jaarlijkse brandstofkosten vrijwel gelijk zijn aan het referentiescenario (in absolute zin in 2030 € 0,6 - 0,7 mld hoger) en slechts € 0,2 - 0,3 mld aan meerkosten uitsparen. Deze resultaten zijn wel sterk afhankelijk van de gebruikte aannames qua besparingseffect en penetratie, maar als deze aannames correct zijn kan geconcludeerd worden dat dit een zeer kosteneffectieve optie is.

6.2.2 Lagere/hogere besparing in verbruik door hybrides

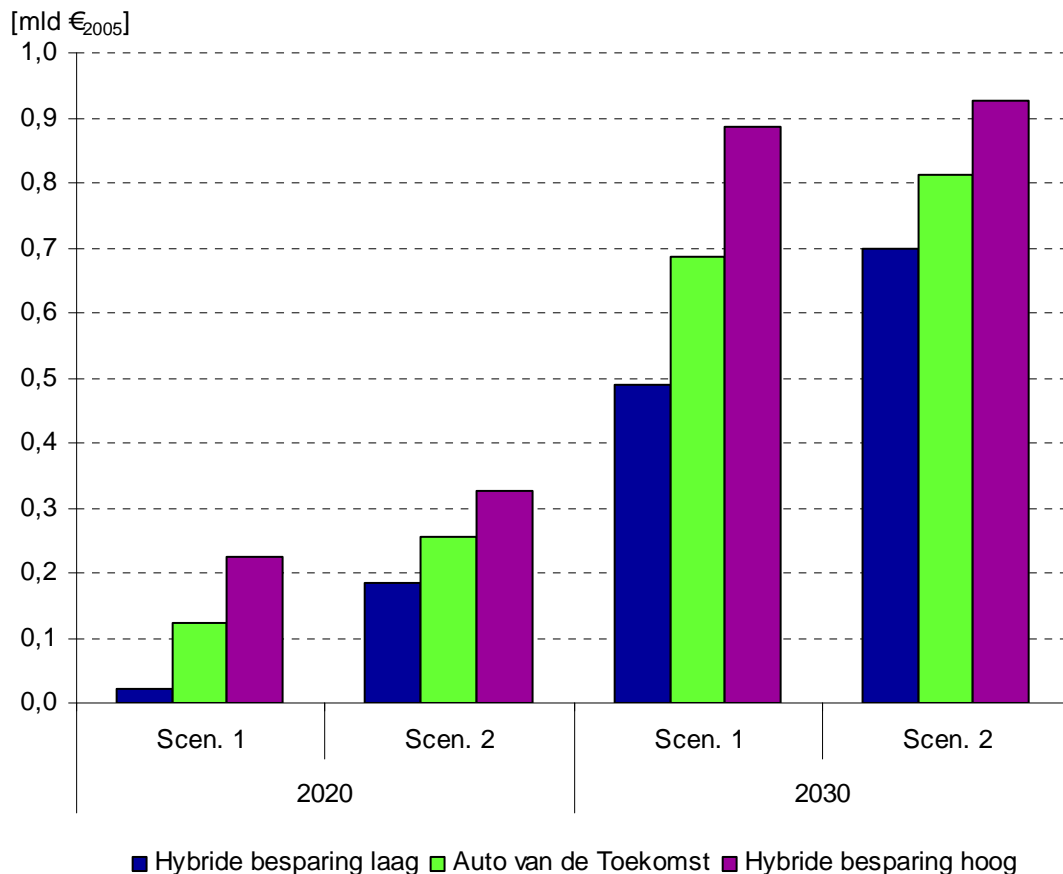
Door de aannames in de innovatiescenario's is een groot deel van de vermeden CO₂-emissies en bespaarde brandstofkosten gerelateerd aan de succesvolle introductie van hybrides. Om te kijken hoe afhankelijk deze resultaten zijn van de uitgangspunten voor de gehanteerde besparing voor hybride personenwagens, zijn twee alternatieve scenario's geëvalueerd, één met een 25% hogere besparing en één met een 25% lagere besparing. Onderstaande figuur toont de resultaten.



Figuur 6.4 *Vermeden CO₂-emissie van innovatiescenario's bij gewijzigde aannames voor besparing van hybrides*

De absolute impact op de totale reductie is in 2030 voor beide scenario's groter dan in 2020 door de hogere penetratie. Echter door de hogere penetratie van de andere innovatieve technologieën en brandstoffen en het hogere bijmengpercentage van biobrandstoffen is de relatieve impact van een efficiëntere hybride in 2030 echter afgenomen. Een 25% hoger veronderstelde efficiëntie van hybrides levert in 2030 tussen de 3,7% (Scenario 2) en 5,3% (Scenario 1) extra CO₂-emissiereductie op. Een 25% lagere efficiëntie levert een vergelijkbare afname van de emissiereductie op. Bij huidige aannames en verder gelijkblijvende uitgangspunten kan hiervan afgeleid worden dat zonder hybrides, de CO₂-emissiereductie 15% tot 20% lager zou uitvallen. Qua orde van grootte van de emissiereductie is de hybridisering redelijk vergelijkbaar met zuinige banden en ICT. Qua penetratie (en dus resterend besparingspotentieel) en meerkosten zijn die opties echter niet vergelijkbaar.

Door een hogere of lagere besparing door hybride voertuigen, veranderen ook de jaarlijkse bespaarde brandstofkosten, zie Figuur 6.5 voor details.



Figuur 6.5 *Jaarlijkse bespaarde brandstofkosten ten opzichte van het referentiescenario bij gewijzigde aannames voor besparing van hybrides*

Voor de brandstofkosten zijn gewijzigde aannames voor de besparing van hybrides van grotere invloed. In 2030 kan de veronderstelde wijziging van de efficiëntie met 25% hoger of lager, resulteren in wijzigingen in de jaarlijkse bespaarde brandstofkosten van € 0,1 tot € 0,2 mld. De hoogste impact vindt plaats in Scenario 1 waar de penetratiegraad van hybride voertuigen hoger is.

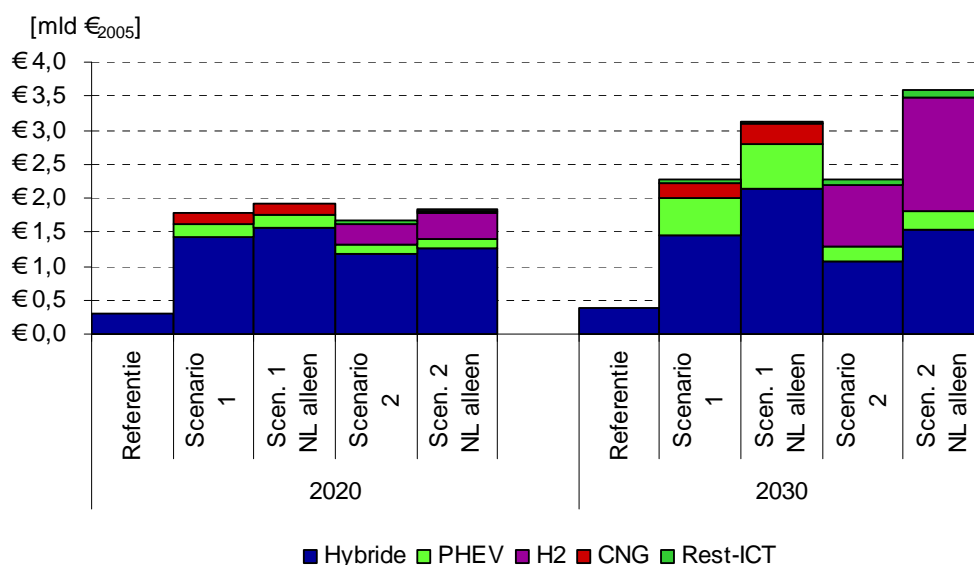
6.3 Kosten-gerelateerde gevoeligheidsanalyses

Bij deze gevoeligheidsanalyses wordt gekeken in hoeverre de jaarlijkse kosten(-besparingen) van de innovatiescenario's veranderen in geval van gewijzigde uitgangspunten voor de meerkosten van bepaalde innovatieve technologieën of bij gewijzigde brandstofprijzen.

6.3.1 Hogere innovatiekosten omdat Nederland alleen innoveert

Zoals aangegeven in Paragraaf 4.2 zijn de meerkosten voor het wagenpark bepaald op basis van aannames met betrekking tot het innovatie-tempo waarbij verondersteld wordt dat deze innovatie in ieder geval op Europese schaal plaatsvindt. Mocht de innovatie zich echter beperken tot Nederland, dan zullen de veronderstelde kostendalingen niet of slechts gedeeltelijk te realiseren zijn voor 2030. De meerkosten van de innovatiescenario's zullen dan veel minder snel dalen. Voor de gevoeligheidsanalyse zijn ze gelijk verondersteld aan de situatie waarin Nederland en Europa niet inzetten op innovatie, oftewel gelijk aan de meerkosten uit het referentiescenario.

De volgende figuur geeft de gewijzigde meerkosten voor 2020 en 2030.



Figuur 6.6 Jaarlijkse meerkosten wagenpark indien Nederland alleen innoveert

In 2020 zijn in de 'NL alleen' variant de meerkosten voor de innovatiescenario's ongeveer € 0,15 mld hoger (+10%). In 2030 is er echter een forse toename in vergelijking met de oorspronkelijke Auto van de Toekomst scenario's. De meerkosten stijgen voor Scenario 1 en 2 met € 0,85 mld (+40%) respectievelijk € 1,3 mld (+60%). De redenen voor de grotere impact is de nog redelijk lage penetratie van de (duurdere) innovatieve technologieën in 2020. Een andere verklaring is dat met name de kostenverlagingen tussen 2020 en 2030 niet of minder gerealiseerd worden in deze varianten met een alternatieve kostenontwikkeling.

Mocht Nederland alleen innoveren, dan zijn beide innovatiescenario's fors duurder op termijn en dit zal de kosteneffectiviteit van de CO₂-emissie reductie aanzienlijk verslechteren zoals de volgende tabel laat zien.

Tabel 6.5 Kosteneffectiviteit innovatiescenario's - Nederland innoveert alleen

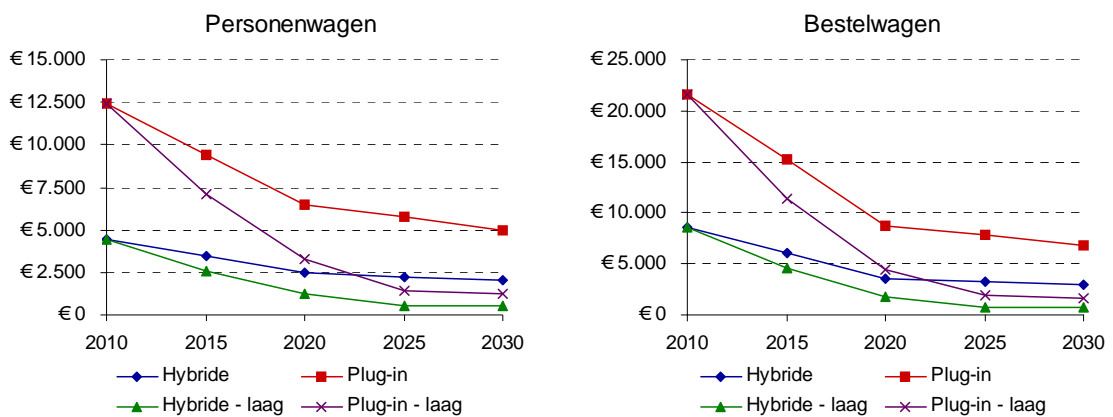
		Scenario 1		Scenario 2	
		2020	2030	2020	2030
Algemeen	Vermeden CO ₂ - IPCC [Mton]	6,1	12,5	5,5	13,0
Auto van de Toekomst	Totale meerkosten [€ mld]	1,4	1,2	1,1	1,1
	Kosten-effectiviteit [€/ton CO ₂]	222	96	199	84
Nederland innoveert alleen	Totale meerkosten [€ mld]	1,5	2,1	1,3	2,4
	Kosten-effectiviteit [€/ton CO ₂]	245	164	229	184

6.3.2 Goedkopere hybride technologie

In Paragraaf 5.2.2 zijn de meerkosten van het wagenpark getoond per innovatieve technologie. Voor beide innovatiescenario's is het grootste deel hiervan het gevolg van de hybridisering van het wagenpark. De aangenomen meerkosten voor een hybride hebben dus een grote impact op de totale meerkosten. Er is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd om te kijken in hoeverre de totale meerkosten van de innovatiescenario's beïnvloed worden als er substantieel lagere meerkosten verondersteld worden voor hybrides.

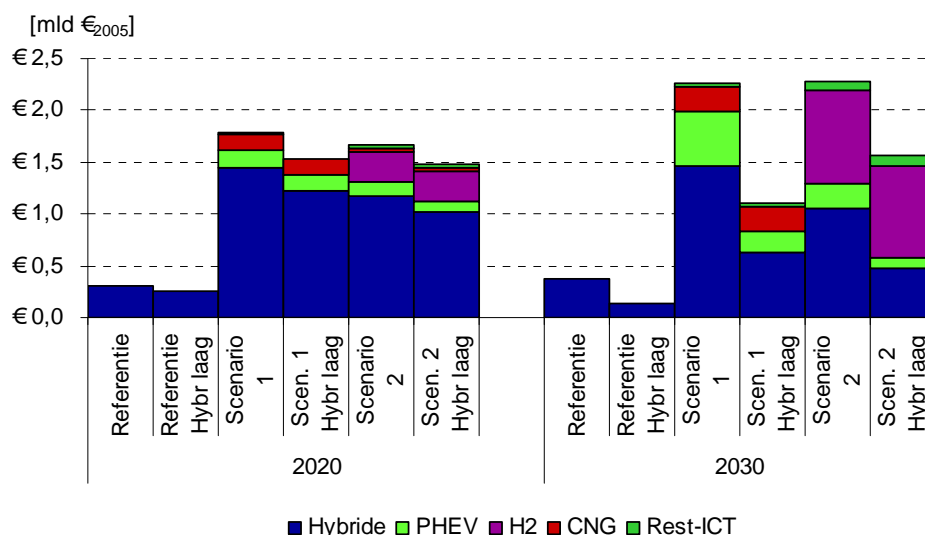
De in Paragraaf 4.6 ingeschatte meerkosten zijn op basis van het huidige concept voor een hybride. Er is een aantal ontwikkelingen gaande die, indien succesvol, de meerkosten van een hybride substantieel zouden verlagen. Een belangrijke ontwikkeling is het concept waarbij voor een hybride de verbrandingsmotor niet langer de wielen direct aandrijft, maar alleen een dynamo die elektriciteit maakt. Voor de aandrijving worden in de wielen elektromotoren geplaatst, die gevoed worden door de elektriciteit zoals ook toegepast in de vliegtuigindustrie. Dit is een ingrijpende wijziging van het huidige aandrijvingconcept met vergaande gevolgen voor het totaalontwerp (bijvoorbeeld afschaffen versnellingsbak). Voor dit nog niet uitontwikkelde concept zijn echter nog geen betrouwbare kosteninschattingen beschikbaar. De meerkosten zouden veel lager kunnen zijn dan meerkosten van conventionele hybrides mede als gevolg van de verwachte gewichtsbesparing. Voor deze gevoeligheidsanalyse aangenomen lagere meerkosten geven een idee van de impact op de meerkosten van hybrides indien er door vergaande technologische ontwikkelingen hybride technologie tegen veel lagere kosten beschikbaar komt.

Vanaf 2025 zijn de meerkosten geschat op 25% van de oorspronkelijk aangenomen meerkosten (exclusief eventuele ICT-meerkosten). Deze daling wordt geleidelijk ingevoerd tussen 2010 en 2025. Voor personenwagens en bestelwagens zijn de originele en aangepaste meerkosten in onderstaande figuur weergegeven.



Figuur 6.7 Meerkosten hybride personen- en bestelwagens - goedkopere hybride technologie

Met behulp van de aangepaste meerkosten zijn de scenario's opnieuw doorgerkend. Doordat hybrides ook in het referentiescenario voorkomen, is ook dit scenario opnieuw doorgerkend.



Figuur 6.8 Jaarlijkse meerkosten wagenpark - goedkopere hybride technologie

Figuur 6.8 toont dat vooral in 2030 lagere meerkosten voor de hybride technologie grote invloed heeft op de jaarlijkse meerkosten van het wagenpark. Ten opzichte van het referentiescenario nemen ze af met € 0,5 mld (Scenario 2) tot € 0,9 mld (Scenario 1) in 2030. Vooral Scenario 1 heeft veel voordeel bij de lagere meerkosten door de hoge penetratie van hybrides. De lagere meerkosten hebben een gunstig effect op de kosten-effectiviteit, waarbij verondersteld is dat de besparing van de ‘goedkopere’ hybrides niet veranderd is ten opzichte van de oorspronkelijke variant.

Tabel 6.6 Kosteneffectiviteit innovatiescenario's - Goedkopere hybride technologie

		Scenario 1		Scenario 2	
		2020	2030	2020	2030
Algemeen	Vermeden CO ₂ - IPCC [Mton]	6,1	12,5	5,5	13,0
Auto van de Toekomst	Totale meerkosten [€ mld]	1,4	1,2	1,1	1,1
	Kosten-effectiviteit [€/ton CO ₂]	222	96	199	84
Goedkopere Hybride techn.	Totale meerkosten [€ mld]	1,2	0,3	1,0	0,6
	Kosten-effectiviteit [€/ton CO ₂]	190	22	174	46

Een doorbraak die leidt tot een goedkopere hybride technologie zal de kosteneffectiviteit van de innovatiescenario's sterk verbeteren doordat de jaarlijkse brandstofkosten nog steeds sterk verbeterd zijn, maar nu tegen veel lagere meerkosten voor het wagenpark.

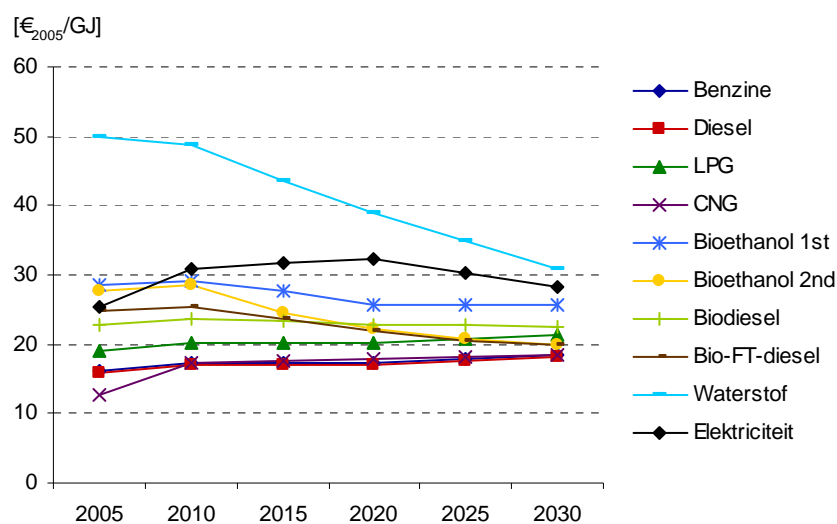
6.3.3 Extra hoge fossiele brandstofprijzen

Er is ook een gevoeligheidsanalyse met hogere brandstofprijzen uitgewerkt. Hierbij zijn de brandstofprijzen van alle fossiele brandstoffen verhoogd met 50%. Dit werkt het sterkst door bij waterstof als dit uit aardgas geproduceerd wordt. Ook benzine, diesel en LPG worden vrijwel evenredig duurder. Omdat de prijs van biobrandstoffen slechts voor een beperkt deel aan fossiele brandstof gekoppeld is (kunstmest, transport, hulpstoffen, energieverbruik van de biobrandstof fabrieken) is de doorwerking hier aanzienlijk minder. Per saldo komen de prijzen van fossiel en biobrandstoffen hierdoor dicht bij elkaar te liggen (rekening houdend met de onzekerhe-

den is er zelfs gedeeltelijke overlap). Hierbij is verondersteld dat de hogere fossieelprijzen geen effect hebben op de bio-grondstofprijzen. Ook zijn er geen veronderstellingen gedaan over een CO₂-prijs die de marktprijs van biobrandstoffen ten opzichte van fossiel brandstoffen kan verhogen. De resulterende brandstofprijzen staan in Tabel 6.7 en in Figuur 6.9.

Tabel 6.7 *Extra hoge brandstofprijzen voor gevoeligheidsanalyse exclusief heffingen en BTW*

[€ ₂₀₀₅ /GJ]	2005	2010	2015	2020	2025	2030
Benzine	16,0	17,4	17,4	17,4	17,9	18,5
Diesel	15,7	17,1	17,1	17,1	17,6	18,2
LPG	19,0	20,1	20,1	20,2	20,7	21,3
CNG	12,6	17,4	17,6	17,9	18,2	18,5
Bioethanol 1st	28,6	29,1	27,6	25,6	25,6	25,7
Bioethanol 2nd	27,8	28,6	24,6	22,3	20,9	20,0
Biodiesel	22,9	23,7	23,4	22,9	22,7	22,5
Bio-FT-diesel	24,8	25,5	23,7	21,8	20,5	19,8
Waterstof	49,8	48,8	43,5	38,9	34,8	30,8
Elektriciteit	25,4	31,0	31,7	32,3	30,3	28,2

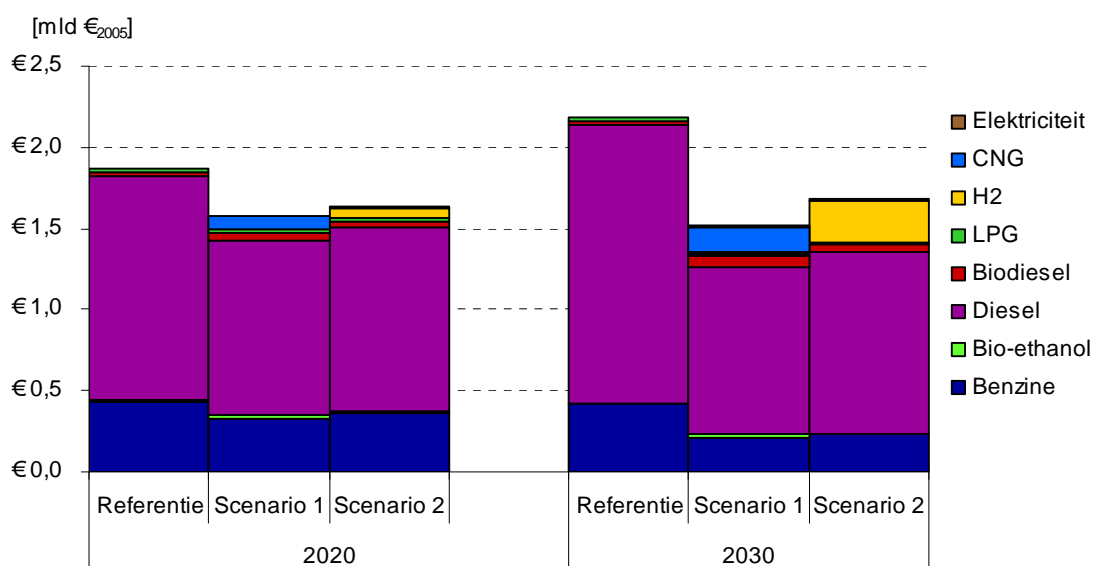


Figuur 6.9 *Extra hoge fossiele brandstofprijzen*

Alle scenario's zijn met deze extra hoge brandstofprijzen doorgerekend om de impact op de jaarlijkse brandstofkosten te bepalen. Voor de rest zijn de scenario's voor deze gevoeligheidsanalyse gelijk gehouden: een gelijke verkeersprestatie en identiek aankoopgedrag van de consument. In werkelijkheid kunnen de scenario's wel degelijk veranderen door een gestegen vraag naar kleinere zuiniger auto's (of hybrides) en eventueel een lager gewenste verkeersprestatie.

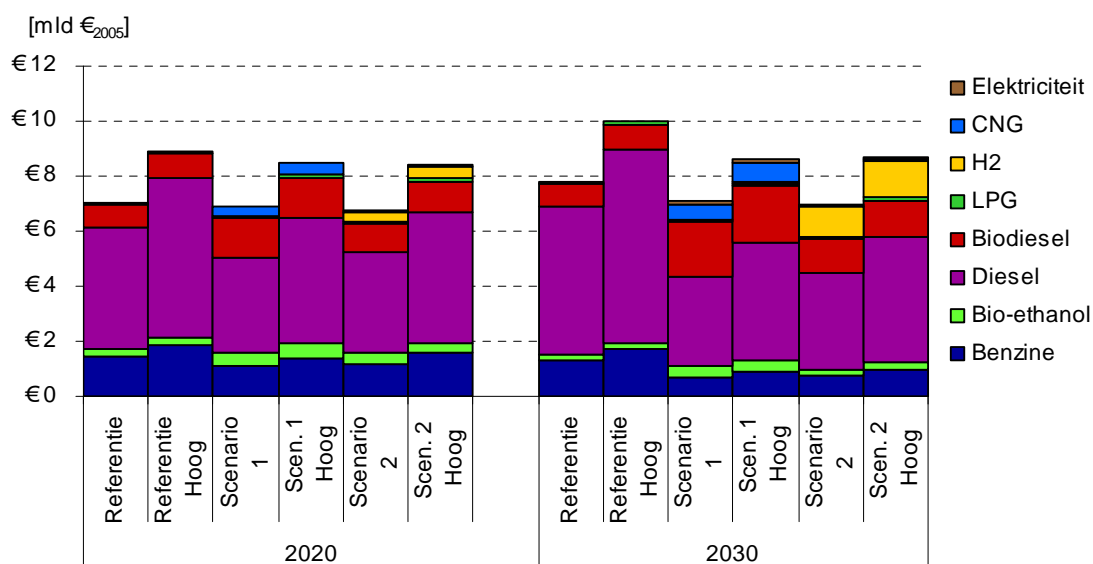
Om een gevoel te krijgen hoe deze gevoeligheidsanalyse en de prijzen voor de belangrijkste brandstoffen, benzine en diesel, uit het basisscenario (WLO-GE HP) zich verhouden tot de huidige prijzen, is intern ECN een analyse uitgevoerd. Het doel van de analyse was om beschikbare gegevens van (CBS, 2007) vergelijkbaar te maken met de benzine- en dieselprijs zoals opgenomen in Tabel 4.4 en Tabel 6.7. Conclusie is dat brandstofprijzen uit 2005 in WLO-GE HP, nagenoeg gelijk zijn aan de gemiddelde prijzen uit 2007 voor benzine en diesel (in reële termen). In het achtergrondscenario dalen de brandstofprijzen van benzine en diesel tot 2030 met ongeveer 12%, terwijl die in de gevoeligheidsanalyse juist met ongeveer 16% stijgen ten opzichte van 2005 (lees actuele prijs in 2007).

De volgende figuur laat de extra jaarlijkse brandstofkosten zien bij de extra hoge prijzen. Voor ieder scenario is het verschil getoond ten opzichte van de oorspronkelijke brandstofkosten van dat scenario.



Figuur 6.10 *Extra hoge brandstofprijzen - Extra jaarlijkse brandstofkosten*

Uit de resultaten blijkt dat de innovatiescenario's een lagere afhankelijkheid van fossiele brandstoffen hebben. Dit is deels veroorzaakt door de energiebesparende technologieën, maar ook het hogere aandeel van biobrandstoffen en de opkomst van de alternatieve brandstoffen en technologieën hebben hierop invloed. Beide innovatiescenario's verbeteren verder qua kostenbesparing ten opzichte van het referentiescenario, met ongeveer € 0,5 mld per jaar in 2030. Scenario 1 loopt iets in op Scenario 2, dat bij gewone prijzen iets goedkoper was. In 2030 hebben beide scenario's nu vergelijkbare brandstofkosten. Zie onderstaande figuur voor een vergelijking van de totale jaarlijkse brandstofkosten tussen de scenario's met en zonder de extra hoge prijzen.



Figuur 6.11 *Jaarlijkse brandstofkosten: impact extra hoge fossiele brandstofprijzen*

7. Conclusies en aanbevelingen

Het programma 'De auto van de toekomst gaat rijden' richt zich op een versnelde marktintroductie van innovaties voor stille, schone, zuinige, slimme en veilige mobiliteit. Daarbij gaat het zowel om het voor de Nederlandse markt beschikbaar en betaalbaar maken van innovaties, als om het creëren van maatschappelijk draagvlak voor implementatie hiervan. In deze studie is onderzocht wat de bijdrage van technische innovaties in voertuigaandrijving en brandstoffen kan zijn aan energiebesparing en CO₂-emissiereductie in het wegverkeer. In dit hoofdstuk zijn de conclusies en aanbevelingen geformuleerd.

7.1 Wat kan er bereikt worden?

Met innovatie wordt substantiële CO₂-emissiereductie bereikt

Als het Nederlandse en Europese beleid sterk inzet op innovatie en daarmee de marktaandeelen gerealiseerd worden die in de innovatiescenario's verondersteld zijn, kunnen de CO₂-emissies van het wegverkeer in 2020 met zo'n 6 Mton dalen tot ongeveer 2 Mton boven het niveau van 1990. Daarna dalen de emissies verder tot 2030. Het niveau van 1990 wordt ongeveer in 2025 bereikt.

Innovatiescenario's gaan verder dan Schoon en Zuinig

Voor deze studie zijn twee scenario's ontwikkeld, die vergelijkbaar zijn in innovatietempo, maar verschillen in de technische invulling. Vergeleken met de lage variant in de beoordeling van het beleidspakket Schoon en Zuinig wordt in de innovatiescenario's in 2020 zo'n 6 Mton extra CO₂-emissiereductie behaald, oplopend tot ongeveer 13 Mton extra reductie in 2030. De lage variant van de beoordeling van Schoon en Zuinig gaat uit van beperkte Europese CO₂-normering van auto's (130 gr/km vanaf 2015), en 10% biobrandstoffen. De hoge variant van de beoordeling van het beleidspakket Schoon en Zuinig bereikt in 2020 een iets hogere reductie dan de innovatiescenario's, met name vanwege het in Europa eerder en sterker inzetten van CO₂-normering bij personen- en bestelauto's. Worden de uitgangspunten van de innovatiescenario's tegen de achtergrond van deze hoge variant geplaatst, dan kan van deze combinatie nog een grotere emissiereductie verwacht worden in 2020. Dit onderstreept de Nederlandse afhankelijkheid van Europees beleid.

Nog sterkere emissiereducties mogelijk?

Aangezien de beleidsambitie van het kabinet zich, voor Nederland als geheel, richt op 30% reductie van CO₂-emissies ten opzichte van 1990, kan een verdere emissiereductie van de transportsector nodig zijn. Sterkere reducties door de innovatiepakketten eventueel te combineren lijken onrealistisch. Dat zou het uiterste vergen van technologie ontwikkeling, beschikbaarheid van biomassa-grondstoffen, aanwezigheid van tankstations voor zowel CNG als waterstof, en komt aan de grens van de snelheid waarmee een wagenpark zich kan vernieuwen. Daarom geven de innovatiescenario's een indicatie van wat maximaal haalbaar geacht mag worden met de geselecteerde innovaties.

Er zijn nog wel andere aanknopingspunten voor verdere reductie, die in deze studie niet beschouwd zijn. Het belangrijkste is een beperking van de groei van het transportvolume, waarbij kilometerbeprijzing, logistieke efficiency en modal shift de belangrijkste instrumenten zijn. Ook rijgedrag en snelheden zijn belangrijke factoren. Meer energiebesparing kan bovendien bereikt worden door veranderingen in het ontwerp van de auto. Hierbij kan gedacht worden aan de prestaties en grootte van de auto, maar ook aan lichte materialen en betere aërodynamica. Een sterkere CO₂-normering dan de 130 gr/km vanaf 2015 die hier verondersteld is zal waarschijnlijk ook leiden tot het nemen van zulke maatregelen.

Innovatie maakt de transportsector toekomstbestendiger

Het stimuleren van innovatie is vanuit een lange termijn perspectief erg belangrijk. Het kost tijd om nieuwe voertuigtypen te laten instromen in het wagenpark. Aangezien een transitie 20 tot 30 jaar duurt, is het belangrijk om een visie te ontwikkelen op de gewenste situatie. Hierbij moet een afweging gemaakt worden tussen beleidsdoelen als CO₂-emissiereductie, energiebesparing, luchtkwaliteit en vermindering van de afhankelijkheid van olie door diversificatie van brandstoffen. Hoewel de innovatiescenario's gebaseerd zijn op verschillende technologieën, liggen de behaalde resultaten voor emissiereductie dicht bij elkaar. Toch zijn er grote verschillen in het lange termijn perspectief van de scenario's in het licht van de hierboven genoemde beleidsdoelstellingen.

Twee innovatie scenario's

In Scenario 1 *Generieke innovatie* blijft de interne verbrandingsmotor dominant. De sector is daardoor sterk afhankelijk van biobrandstoffen, biogas en (schone) fossiele brandstoffen zoals CNG. Dit scenario laat op korte termijn sterkere emissiereductie zien, omdat biobrandstoffen technisch gezien goed toepasbaar zijn in het huidige wagenpark. Echter, na 2030 is er weinig zicht op verdere groei van het aandeel biobrandstoffen, zeker gezien de eisen die het kabinet stelt aan de duurzaamheid van de teelt en productie van deze biobrandstoffen. Het aandeel tweede generatie biobrandstoffen is dan al groot, maar er kan nog verdere verschuiving en groei plaatsvinden. Het inzetten van biogas in aardgasauto's is aantrekkelijk om de emissies sterker te reduceren. Een gevoeligheidsanalyse wijst uit dat het vervangen van CNG door biogas in Scenario 1 ongeveer 2 Mton extra kan reduceren. Echter, omdat de totale hoeveelheid beschikbare biomassa beperkt is, zou dit wel ten koste gaan van inzet van vloeibare biobrandstoffen, waardoor het totale effect op de vermeden emissies lager zou uitvallen. De prijs van CNG hangt direct af van de ontwikkeling van de aardgasprijs. Als in de context van Scenario 1 na 2030 nog sterkere reducties beoogd worden, zal daarom nog sterker ingezet moeten worden op energiebesparing, of zal alsnog voor de route via waterstof of elektrisch vervoer gekozen moeten worden.

In Scenario 2 *Technologie specifieke innovatie* wordt vooral waterstoftechnologie ontwikkeld. Dit biedt meer mogelijkheden voor diversificatie van de energiemix en primaire energiedragers. Waterstof kan uit vrijwel alle grondstoffen geproduceerd worden. De kosten voor waterstofproductie zijn relatief stabiel omdat kosten van productie uit kolen of aardgas met CO₂-afvang vergelijkbaar zijn met die van productie uit biomassa. Dit geeft flexibiliteit in grondstofkeuze. Als, conform dit scenario, de brandstofcelauto in 2030 een 20% aandeel heeft en de kosten niet of nauwelijks hoger zijn dan die van een conventionele auto, is te verwachten dat het aandeel waterstofauto's na 2030 verder stijgt, en de conventionele auto in hoog tempo zal verdringen, met alle voordelen van CO₂-emissie en luchtkwaliteit.

7.2 Kosten en baten

De jaarlijkse kosten voor de innovatiescenario's zijn bepaald door de jaarlijkse meerkosten van het wagenpark te verminderen met de bespaarde brandstofkosten, in vergelijking met het referentiescenario - de lage variant uit de beoordeling van Schoon en Zuinig. Opgemerkt moet worden dat de netto-kosten een combinatie zijn van opties met een goede kosten-baten verhouding, en opties met initieel hoge kosten zoals waterstof.

In 2030 zijn de netto-kosten van de innovatiescenario's 5% hoger dan die van het referentiescenario. Als alleen gekeken wordt naar het wagenpark, zijn de kosten 12% hoger dan in het referentiescenario. Deze kostenstijging kan in perspectief geplaatst worden door op te merken dat in de afgelopen 15 jaar, tussen 1990 en 2005, de prijs van personenauto's met 18% gestegen is. Dat is gemiddeld 1,1% per jaar (in reële termen). De voornaamste reden hiervoor is waarschijnlijk dat er meer grotere en luxere auto's werden verkocht.

De netto-kosten van Scenario 1 *Generieke innovatie* dalen van ca. € 1,4 mld (2020) naar ca. € 1,1 mld (2030) per jaar. Scenario 2 *Technologie specifieke innovatie* leidt tot iets lagere kosten dankzij een grotere besparing op de brandstof. De baten in termen van bereikte CO₂-emissiereductie zijn aanzienlijk. De kosteneffectiviteit van innovatie in de transportsector is in 2020 rond € 200 per ton vermeden CO₂, in 2030 daalt dit tot onder € 100 per ton CO₂. Aangezien niet alle kosten in de studie zijn meegenomen (bijvoorbeeld onderhoudskosten), en hier de kosteneffectiviteit van een *pakket* maatregelen is bepaald, kan deze niet exact vergeleken worden met resultaten uit andere studies. Toch kunnen de kosten enigszins in perspectief worden geplaatst door op te merken dat de kosten van wind op zee, of CO₂-afvang en -opslag rond de 50 €/ton CO₂ liggen (Daniëls en Farla, 2006). In de beoordeling van het beleidspakket Schoon en Zuinig (Menkveld, 2007), is uitgegaan van een CO₂-prijs van 20 tot 50 €/ton in 2020.

Vergeleken bij maatregelen in andere sectoren, lijkt de kosteneffectiviteit van innovatie in de transportsector niet gunstig. Hierbij kunnen echter een paar kanttekeningen geplaatst worden. Allereerst zijn de effecten op andere beleidsdoelen (voorzieningszekerheid, luchtkwaliteit) niet gekwantificeerd, evenmin als maatschappelijke baten zoals veiligheid en comfortverbetering voor de consument. Ten tweede, zoals recentelijk benadrukt door de adviesraden (RV&W, VROM-raad, AER, 2008), groeien de CO₂-emissies in de transportsector zo snel dat deze sector zelf een bijdrage aan emissiereductie zal moeten leveren. Ten derde kunnen hogere prijzen van fossiele brandstoffen leiden tot een betere kosteneffectiviteit.

In deze studie is namelijk gerekend met benzine- en dieselprijzen die in 2030 ongeveer 10% lager zijn dan de gemiddelde prijzen in het jaar 2007. Als de brandstofprijzen juist blijven stijgen, bijvoorbeeld tot ongeveer 15% boven het niveau van 2007, verbetert de kosteneffectiviteit aanzienlijk. De kosteneffectiviteit is dan in 2020 rond € 160 per ton vermeden CO₂ en daalt onder de 50 €/ton CO₂ in 2030. Bovendien hebben de inschattingen van de meerkosten van de voertuigen en de biobrandstoffen een onzekerheidsmarge. Bij een gunstige ontwikkeling (ondermarge meerkosten) en de genoemde hogere energieprijzen kan zelfs het 'break even point' bereikt worden, waarbij er vanuit nationale optiek geen meerkosten meer zijn. Na 2030 zal de kosteneffectiviteit ook nog verder verbeteren.

Wezenlijk is wel dat heel Europa inzet op innovatie in de transportsector, zodat grote volumes van nieuwe technologieën worden bereikt en de kosten als gevolg van leereffecten en schaalvoordelen kunnen dalen. Als Nederland alleen staat in het stimuleren van innovatie, kunnen de kosten fors hoger uitvallen. De kosteneffectiviteit blijft dan in 2030 voor beide scenario's rond € 175 per ton CO₂.

Uit de gevoeligheidsanalyses kan tenslotte nog geconcludeerd worden dat de besparingsopties zuinige banden en ICT zeer kosteneffectief zijn. Zonder deze brandstofbesparende technologieën zouden in 2020 de jaarlijkse brandstofkosten van de innovatiescenario's zelfs hoger zijn dan het referentiescenario. Ook een doorbraak die leidt tot een goedkopere hybride technologie zal de kosteneffectiviteit van de innovatiescenario's sterk verbeteren doordat er nog steeds bespaard wordt op de jaarlijkse brandstofkosten, maar nu tegen veel lagere meerkosten voor het wagenpark.

Niet alle baten zijn gekwantificeerd

De maatschappelijke baten van de innovatiescenario's zijn niet eenvoudig te kwantificeren. De brandstofbesparing levert naast de financiële besparing ook een positief effect op de luchtkwaliteit (NO_x, SO_x, etc) en vermindert bovendien de afhankelijkheid van fossiele brandstoffen. Voor de consument leveren de innovaties ook comfortverbetering (hybride, brandstofcel, ICT) en verhoogde veiligheid (ICT) op. Daarnaast zal de sterke impuls om te innoveren mogelijk leiden tot technologische ontwikkelingen die de Nederlandse positie binnen de auto-industrie kunnen versterken. Ook voor de Nederlandse wegtransportsector zijn positieve bij-effecten te verwachten. Deze maatschappelijke baten zijn over het algemeen moeilijk te kwantificeren en zijn in deze studie niet verder geanalyseerd.

Duidelijk is wel dat de meerkosten van de innovaties niet alleen als CO₂-reductiekosten kunnen worden beschouwd. Omdat er geen volledige kosten-baten analyse uitgevoerd is, dienen de in de vorige paragrafen weergegeven kosten en kosteneffectiviteit in perspectief geplaatst te worden.

Voor consumenten valt de kosteneffectiviteit wellicht gunstiger uit

De kosten zijn alleen bekeken vanuit het perspectief van de Nederlandse economie, ofwel de 'nationale kosten'. Voor een consument kan het voordeel van uitgespaarde brandstofkosten groter zijn, omdat er ook minder accijns betaald hoeft te worden. Dit is natuurlijk wel afhankelijk van de manier waarop accijnzen en andere belastingen in de toekomst vormgegeven worden. Bovendien heeft de overheid de mogelijkheid om met BPM-differentiatie bepaalde voertuigen financieel nog aantrekkelijker te maken. Verder is een deel van de consumenten bereid meer te betalen voor een auto met de nieuwste innovaties, zoals in de afgelopen jaren ook gebleken is. Het zal daarom belangrijk zijn om aan het imago van zuinige en innovatieve auto's te werken en ook de andere voordelen zoals een stille motor en high-tech aspecten te benadrukken.

7.3 Wat is er voor nodig?

In de innovatiescenario's wordt verondersteld dat het programma 'De auto van de toekomst gaat rijden' geïmplementeerd wordt, en de Nederlandse overheid gedurende langere tijd blijft inzetten op innovatie. Daarnaast wordt een aantal randvoorwaarden verondersteld. Essentieel is een hoog innovatietempo en innovatiebeleid in de rest van Europa. Internationale ontwikkelingen bepalen namelijk in hoge mate of de kosten van innovatieve technologie zullen dalen en of deze überhaupt op de markt beschikbaar komen. Daarnaast is uitgegaan van voldoende maatschappelijk draagvlak om innovaties in Nederland op te pakken. Ook is een voldoende hoog tempo van technologische ontwikkeling verondersteld, rekening houdend met meevallers of tegenvallers bij specifieke technologieën.

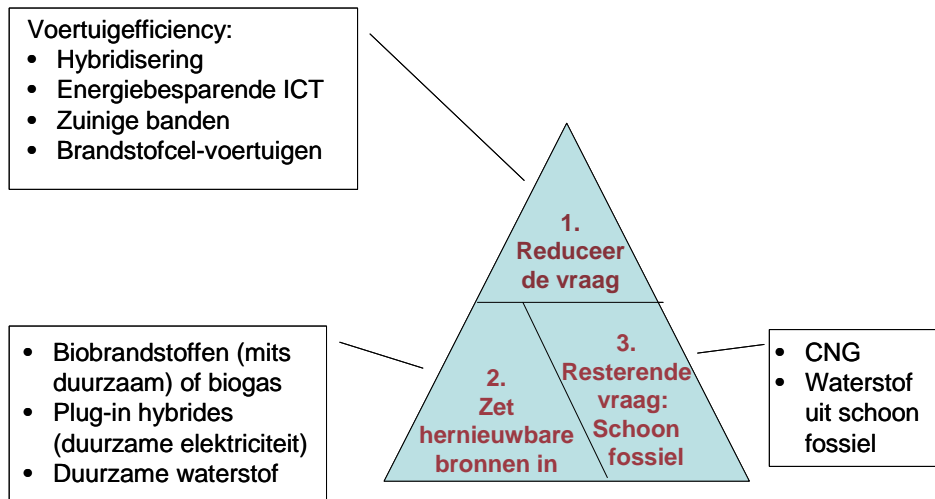
Het Programma 'De auto van de toekomst gaat rijden' draagt bij aan het scheppen van genoemde voorwaarden, omdat het zich niet alleen richt op het in Nederland introduceren van technische innovaties, maar ook op creëren van maatschappelijk draagvlak bij marktpartijen, consumenten en maatschappelijke organisaties.

Strategische beleidskeuzen

De absolute impact van beleid is afhankelijk van de omvang van het energiegebruik van een bepaalde voertuigcategorie. Daarom is het belangrijk om beleid op personen- en bestelauto's te richten, aangezien deze voertuigen goed zijn voor driekwart van het brandstofverbruik. Daarnaast zijn er meer strategieën voor energiebesparing en emissiereductie in de transportsector:

- Het besparingspotentieel bij bestelauto's is tot nu toe minder benut dan bij personenauto's. Er is in Europees verband nauwelijks beleid op gevoerd, hoewel dit waarschijnlijk gaat veranderen. Het eerder en strakker invoeren van CO₂-normering bij bedrijfsauto's kan daarom nog extra besparing en emissiereductie opleveren.
- Bij het openbaar busvervoer is via concessies een snellere vergroening te bereiken dan bij de meeste andere voertuigtypen, zodat de emissies kunnen dalen met meer dan 60% vergeleken met de referentie, en een verbetering van de stedelijke luchtkwaliteit bereikt kan worden. Hoewel het effect op de emissies van het gehele wegverkeer gering is, kan het busvervoer beschouwd worden als een innovatieniche, waarmee ervaring wordt opgedaan met nieuwe technologie. Daarna kan opschaling volgen naar andere voertuigcategorieën.
- Verder zijn er opties die over de hele linie van het wagenpark effect hebben, waardoor de omvang van het effect groot is. Dit zijn biobrandstoffen, zuinige banden, en energiebesparende ICT. Deze opties zijn, zij het soms in een minder duurzame vorm, nu al grotendeels beschikbaar. Het voordeel van biobrandstoffen is daarnaast dat ze tot een substantieel percentage toegepast kunnen worden in het bestaande wagenpark.

- Alle opties die de mobiliteitsvraag reduceren, hebben als bijeffect dat er minder brandstof nodig is om in de resterende vraag te voorzien. Dit betekent bijvoorbeeld dat er met dezelfde hoeveelheid biobrandstoffen een groter aandeel behaald kan worden. In het verlengde hiervan wordt vaak de Trias Energetica gehanteerd. In Figuur 7.1 worden de innovatieve opties, zoals in deze studie bekeken, geprioriteerd volgens de principes van de Trias Energetica.



Figuur 7.1 Toepassing van de Trias Energetica op de in deze studie bekeken opties

Nederland in Europa

Aangezien de uiteindelijke efficiency van het Nederlandse wagenpark sterk afhangt van het Europese voertuigaanbod, is het raadzaam om wat CO₂-normering betreft sterk in te zetten op hoge ambities in Brussel. Vervolgens is het, via bijvoorbeeld de BPM-differentiatie, altijd mogelijk om binnen Nederland een verschuiving te bewerkstelligen naar de meer efficiënte modellen en types. Ook de beschikbaarheid van flexifuel auto's zal Europees geregeld moeten worden. Aangezien voertuigen en brandstoffen op een Europese markt verhandeld worden, is het belangrijk om stimuleringsbeleid continu te blijven afstemmen op de Europese context. Daarnaast is, zoals eerder aangetoond, grootschalige innovatie in de transportsector alleen betaalbaar als Nederland daarin niet alleen staat.

Hoewel geen onderdeel van deze studie, is het toch van belang om ook de mogelijke rol van de Nederlandse industrie naar voren te brengen. Omdat in Nederland maar in beperkte mate voertuigen gemaakt worden lijkt deze beperkt. In Nederland worden echter ook op grote schaal componenten voor voertuigen gemaakt, en ook deze producenten kunnen een belangrijke rol bij innovatie vervullen. Van belang is dat de Nederlandse industrie ten minste meeloopt met de Europese concurrenten. Een insteek op transport innovatie kan dus ook voor de Nederlandse industrie positieve effecten hebben en kan bovendien de kennis en kunde die in Nederland aanwezig is op het gebied van gas, waterstof productie en infrastructuur benutten.

Aangrijpingspunten voor beleid per optie

Er zal nog een vertaalslag gemaakt moeten worden naar specifiek beleid om de verschillende technologieën in de Nederlandse transportsector te introduceren en te stimuleren. Hierbij is het goed om op te merken dat sommige opties veel dichterbij marktintroductie zijn dan andere, en dus een andere benadering vergen. Bij het geven van financiële ondersteuning geldt in alle gevallen dat het belangrijk is om het kostenverschil met de referentie te monitoren, en subsidies op tijd af te bouwen.

Biobrandstoffen worden op dit moment al gestimuleerd door een verplichting. Bij olopemde bijmengpercentages zal daarnaast gewerkt moeten worden aan het stimuleren van E85 via accijnsvrijstelling, het opzetten van een distributie infrastructuur voor E85, en eventueel het (Eu-

ropees) stimuleren van de aankoop van flexifuel auto's. Gezien de bijna verwaarloosbare meerkosten voor flexifuel auto's zou, analoog aan de VS, in EU-verband gestreefd moeten worden naar een verplichting voor nieuwe auto's als *no-regret* maatregel. Voor de introductie van tweede generatie brandstoffen is nog technische innovatie nodig.

Voor hybride voertuigen is het met name nodig dat er een groter aanbod op de markt komt, bijvoorbeeld via de Europese CO₂-normering. De vraag kan met fiscale instrumenten, zoals BPM-differentiatie, gestimuleerd worden. Hetzelfde geldt voor plug-in hybrides. Hier zijn de meerkosten een nog grotere barrière.

Voor CNG is het raadzaam dat de overheid een lange termijn visie ontwikkelt. De transitie naar biogas kan daar onderdeel van zijn, zoals onder meer aanbevolen door de werkgroep Groen Gas (Platform Nieuw Gas, 2007). CNG wordt ondersteund via de brandstof (lage accijns) en het voertuig (BPM-differentiatie). Ook zijn er subsidies beschikbaar voor infrastructuur opbouw. Opgemerkt wordt nog dat Nederland rond 2030 waarschijnlijk een netto-importeur van aardgas geworden zal zijn.

Voor waterstof is het op dit moment vooral van belang om (Europees) grootschalige demonstratieprojecten op te (laten) zetten, en de markt een lange termijn perspectief te bieden. Financiële ondersteuning moet voorlopig nog gegeven worden op twee fronten, zowel voor de brandstof (waterstof) als het voertuig. Technologiespecifieke ondersteuning moet geleidelijk afgebouwd worden en vervangen door technologie-indifferente (generieke) ondersteuning, zoals een CO₂-heffing, hogere accijns, of op CO₂-emissie gedifferentieerde kilometerbeprijzing.

7.4 Discussie van onzekerheden

Zoals bij alle scenariostudies, zijn ook de resultaten van deze studie met de nodige onzekerheden omgeven. Allereerst wordt opgemerkt dat de innovatiescenario's voortbouwen op een specifiek achtergrondscenario, namelijk het Global Economy scenario met hogere brandstofprijzen uit de WLO studie (CPB/MNP/RPB, 2006). Dit scenario kenmerkt zich door een relatief hoge economische groei van 2,9% per jaar, en daarom ook een sterke groei in de mobiliteitsvraag. De huidige lagere economische groei, in combinatie met hogere olieprijsen, zou kunnen leiden tot een meer gematigde mobiliteitsontwikkeling. De verkeersprestatie van de verschillende voertuigtypen en de ontwikkeling van de verhouding tussen benzine, diesel en LPG zijn gebaseerd op dit scenario. Wijzigingen in deze uitgangspunten zijn niet bekeken.

Verder is het inherent aan innovaties dat de mate van succes en het daadwerkelijke effect ervan niet bij voorbaat aan te geven is. Dat impliceert dat alle resultaten met marges beschouwd moeten worden. De mate van onzekerheid en risico in de beide innovatiescenario's is niet geheel vergelijkbaar. De route via hybridisering (Scenario 1) is vanuit de huidige kennis over effecten, kosten en stand van de techniek minder onzeker dan een route via waterstof (Scenario 2), in ieder geval op de beschouwde termijn tot 2030. Daarnaast zijn er onzekerheden in de gehanteerde aannames. Zo zijn de besparingseffecten van ICT onzeker, omdat er sprake kan zijn van een 'rebound effect'. Dat wil zeggen dat een verbeterde verkeersdoorstroming, als gevolg van intelligente transportsystemen, een groei in de mobiliteit kan veroorzaken. Dit effect is in de berekeningen niet meegenomen.

Ook de gehanteerde projecties van brandstofprijzen en de kosten van het wagenpark moeten met marges beschouwd worden. Brandstofprijzen worden deels bepaald door het verloop van de ruwe olieprijs. Deze afhankelijkheid is met een gevoeligheidsanalyse bekeken. Daarnaast zal de dynamiek op de markt voor biomassa de komende jaren bepalend zijn voor de ontwikkeling van de prijzen van biobrandstoffen. De snelheid waarmee de kosten van innovatieve voertuigen zullen dalen zal afhankelijk zijn van de mate waarin leereffecten en schaalvoordelen daadwerkelijk optreden. Gezien de spreiding die kostencijfers voor voertuigen in de literatuur aangetroffen is,

kan de feitelijke ontwikkeling van de meerprijs in de orde van 30% tot 50% afwijken. Ook zijn onderhoudskosten en verzekeringen buiten beschouwing gebleven.

Er is bij de doorrekening gekozen voor een beperkt aantal innovaties waarvan een substantieel effect en marktaandeel verwacht mag worden op termijn 2020-2030. Andere opties worden daarmee niet gediskwalificeerd. Er zijn twee innovatiescenario's geconstrueerd die beide realiseerbaar zouden kunnen zijn, maar dat sluit vele andere mogelijkheden natuurlijk niet uit. Mocht er bijvoorbeeld een doorbraak komen in elektriciteitsopslag in batterijen, dan zou het voertuigpark zich wel heel anders kunnen ontwikkelen.

Tot slot zijn er onzekerheden van een andere orde. De maatschappelijke dynamiek die zich uit in draagvlak, politieke gevoeligheid, meer of minder succesvolle lobby's en technische en organisatorische implementatiemissers zal mede het succes van duurzame innovatie in het wegverkeer bepalen. Het programma 'De auto van de toekomst gaat rijden' onderkent het belang van deze factoren.

7.5 Aanbevelingen voor vervolgonderzoek

In deze studie is een verkenning uitgevoerd naar de effecten en kosten van een aantal innovaties in de transportsector die in het programma 'De auto van de toekomst gaat rijden' een grote rol spelen. De verkenning was gericht op het creëren van twee mogelijke innovatiescenario's, en het berekenen van het effect op de CO₂-emissies, het brandstofverbruik en de benodigde (en bespaarde) kosten vanuit een nationaal oogpunt. Daarnaast is een aantal gevoeligheidsanalyses uitgevoerd om de robuustheid van de resultaten ten opzichte van een aantal aannames te toetsen, zonder daarbij geheel nieuwe scenario's te ontwikkelen. Naar aanleiding van de resultaten kan een aantal mogelijke vervolgvragen geformuleerd worden.

- Consequenties voor beleidskeuzes. De verkenning is niet bedoeld om een invulling van het beleid te geven. Door echter de resultaten voor beide scenario's en de daarbij behorende gevoeligheidsanalyses nader te bestuderen, wordt wel inzicht verkregen in welke aannames binnen een scenario van grote invloed zijn op de gerealiseerde emissiereductie en brandstofbesparing. Die inzichten kunnen gebruikt worden om een efficiënte beleidsinvulling te ontwikkelen, gericht op de belangrijkste gebieden. Er kan ook verder ingegaan worden op de vraag wat de overheid moet doen om deze scenario's te verwezenlijken. Welke factoren zijn beïnvloedbaar, en welke ontwikkelingen zijn min of meer autonoom? Welke maatregelen en instrumenten zijn het meest (kosten-)effectief? Welke acties moeten wanneer plaatsvinden? Ook kan de connectie tussen de activiteiten van programma 'De auto van de toekomst gaat rijden', en de lange termijn doelen expliciet gemaakt worden, en kan er een prioritering aangebracht worden aan de hand van de omvang van de effecten van specifieke innovaties.
- Het perspectief van de eindgebruiker. Twee elementen spelen een rol bij het in perspectief plaatsen van de meerkosten van innovatie in het wegtransport. Ten eerste zullen de meerkosten gunstiger uitvallen als gerekend wordt met BPM voor personenauto's en bestelwagens, en accijnzen voor brandstoffen, afhankelijk van de ontwikkeling van fiscaal beleid in de komende decennia. Ten tweede is de consument wellicht bereid om meer te betalen voor innovatieve schone technologie omdat die ook comfortwinst oplevert door betere rijprestaties (minder geluid, gelijkmatiger versnellen en optrekken). Er zou een nadere analyse van deze bereidheid gemaakt kunnen worden door deze te vergelijken met de trends in de afgelopen jaren, en te bekijken wat de mogelijke invloed van beleid zou kunnen zijn.
- Er zou nader onderzoek gedaan kunnen worden naar de verwachte penetratie en het energiebesparingseffect van ICT (interactieve voertuigelektronica, automatische voertuig geleiding en feedback in de auto). Daarbij moet rekening gehouden worden met het feit dat de besparing op luchtweerstand vanwege 'vertreining' pas optreedt bij hoge intensiteiten, ter-

wijl een verbeterde doorstroming ook meer mobiliteit zal veroorzaken. Ook de verwachte kostenontwikkeling van deze technologieën kan verder onderbouwd worden.

- Andere achtergrondscenario's, met name het effect van een lagere economische groei, en hogere olieprijzen. Aangezien het gekozen achtergrondscenario uitgaat van een relatief hoge economische groei van 2,9% per jaar en brandstofprijzen die dalen vergeleken bij de gemiddelde prijzen in 2007, zou bekeken kunnen worden in hoeverre deze externe factoren al leiden tot een meer gematigde mobiliteitsontwikkeling en wellicht betere kansen voor alternatieve brandstoffen. Hierbij wordt opgemerkt dat hoge brandstofprijzen niet automatisch een prikkel vormen voor overschakeling naar CO₂ arme brandstoffen, maar ook naar synthetische brandstoffen uit kolen, met alle milieu-effecten van dien.

Referenties

- Bakema, G.F. et al. (1990): *Aardgas en elektriciteit bij het gemeentelijk voertuigpark van Amsterdam*, ECN-C--90-045, Petten, Oktober 1990.
- Biofrac (Biofuels Research Advisory Council) (2006): *Biofuels in the European Union - A vision for 2030 and beyond*.
- BOVAG-RAI (2006): *Kerncijfers Auto en Mobiliteit 2006*.
- CBS (2006): *Statline - CPI datareeks/Historische inflatie*.
- CBS (2007): *Statline - prijzen transportbrandstoffen*.
- CPB/MNP/RPB (2006): *Welvaart en leefomgeving*, Centraal Planbureau/Milieu- en Natuurplanbureau/Ruimtelijk Planbureau, Den Haag/Bilthoven.
- Dale R., D.R. Simbeck, E. Chang (2002): *Hydrogen Supply: Cost Estimate for Hydrogen Pathways - Scoping Analysis 1/22/02-7/22/02*. SFA Pacific, Inc., Mountain View, California, 2002.
- Daniëls B.W., J.C.M. Farla et al. (2006): *Optiedocument energie en emissies 2010/2020*. ECN-C--05-105/MNP 773001038. Petten/Bilthoven, maart 2006.
- Deurwaarder, E.P., S.M. Lensink, H.M. Londo (2007): *BioTrans biofuels data*. Appendix to 'Use of BioTrans in Refuel'; functional and technical description. Refuel deliverable D10b, April 2007.
- EEA (2006): *How much bio energy can Europe produce without harming the environment?* European Environment Agency, Kopenhagen, 2006.
- ECN/MNP (2006a): *Potentieelverkenning klimaatdoelstellingen en energiebesparing tot 2020. Analyses met het Optiedocument energie en emissies 2010/2020*. ECN/MNP, ECN-C--05-106/MNP-773001039, Petten/Bilthoven, januari 2006.
- ECN/MNP (2006b): *Optiedocument energie en emissies 2010/2020*. ECN/MNP, ECN-C--05-105/MNP-773001038, Petten/Bilthoven, februari 2005.
- EPRI, NRDC (2007): *Environmental Assessment of Plug-In Hybrid Electric Vehicles. Volume 1: Nationwide Greenhouse Gas Emissions*. Final report 1015325, July 2007.
- ETRMA (2006): *Tyre & GRG Facts and Figures*; Updated May 2006, ETRMA, Brussels, Belgium, 2006.
- European Commission (2006): *BIOFUELS in the European Union. A vision for 2030 and beyond. Final report of the Biofuels Research Advisory Council*. EUR 22066.
- Gave (2003): *Ligno Cellulosic-Ethanol, A Second Opinion*. Report 2GAVE-3.11, ECN, Petten, mei 2003.
- Hoen, A., R.M.M. van den Brink, J.A. Annema (2007): *Verkeer en vervoer in de Welvaart en Leefomgeving; Achtergronddocument bij Emissieprognoses Verkeer en Vervoer*. MNP rapport 500076002/2006.
- Hygate, C. (2007): *Green fuels; Moving to Medium Scale Biodiesel Production*. Biodiesel Expo 2007, Newark Showground, Nottinghamshire, 17 en 18 oktober 2007
- HyWays (2007): *The European Hydrogen Energy Roadmap*.
- Kampman, B., et al. (2005): *A transition to sustainable biomass utilization*. 14th European Biomass Conference and Exhibition: Biomass for Energy, Industry and Climate Protection, Parijs, oktober 2005.

- King, J. (2007): *The King Review of low-carbon cars. Part I: the potential for CO₂ reduction*. London.
- Lensink, S.M., H.M. Londo, E.P. Deurwaarder (2007): *Use of BioTrans in REFUEL. Functional and technical description*. Report of REFUEL WP4. Refuel deliverable 10a, August 2007.
- Lundbaek, J., H. Duer and H.M. Londo (2007): *Report from REFUEL stakeholder workshop 'Barriers and Solutions for EU Biofuels'*. Brussels 6 March 2007. COWI, Lyngby.
- McKinsey&Company (2007): *Costs and Potentials of Greenhouse Gas Abatement in Germany*, Berlin, September 2007.
- Menkveld, M., A.W.N. van Dril, B.W. Daniëls, X. van Tilburg, S.M. Lensink, A.J. Seebregts, P. Kroon, M.A. Uytterlinde, Y.H.A. Boerakker, C. Tigchelaar, H. van Zeijts, C.J. Peek (2007): *Beoordeling werkprogramma Schoon en Zuinig*. ECN-E--07-067. Petten, september 2007.
- OECD (2007): *Biofuels: is the cure worse than the disease?* Round Table on Sustainable Development SG/SD/RT(2007)3, OECD, Paris, 11-12 September 2007.
- Oostvoorn, F. van, et al. (1998): *SERUM, een model van de Nederlandse raffinage industrie*. ESC-49, ECN/ESC, Petten, oktober 1989.
- Platform Nieuw Gas (2007): *Vol gas vooruit! de rol van groen gas in de Nederlandse energiehuishouding*. SenterNovem, Utrecht, december 2007.
- Raad voor Verkeer & Waterstaat, VROM-raad, Algemene Energieraad (2008): *Een prijs voor elke reis. Een beleidsstrategie voor CO₂-reductie in verkeer en vervoer*. Januari 2008.
- Ros, M.E., M. Weeda, H. Jeeninga (2007): *Snapshots of hydrogen uptake in the future: A comparison study*. ECN-E--07-056. Petten, July 2007.
- TNO/IEEP/LAT (2006): *Review and analysis of the reduction potential and costs of technological and other measures to reduce CO₂ emissions from passenger cars*. Final Report. Contract number SI2.408212, TNO, Delft, October 31, 2006.
- Uytterlinde, M.A., H.M. Londo, P. Godfroij, H. Jeeninga, (2007a): *Long-term developments in the transport sector - comparing biofuel and hydrogen roadmaps*. Proceedings ECEEE Summer Study 2007, La Colle sur Loup, France, June 4-9 2007.
- VIEWLS; Clear views on clean fuels project. Internet site: <http://viewls.viadesk.com/>
- Vreuls, H.H.J. (2006): *Nederlandse lijst van energiedragers en standaard CO₂-emissiefactoren*. SenterNovem, Augustus 2006.
- V&W (2007): *Programmaoverzicht 'De auto van de toekomst gaat rijden'*. Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Den Haag, november 2007.
- WBCSD (2004): *Mobility 2030: Meeting the challenges to sustainability*. The Sustainable Mobility Project. Full Report 2004.

<http://www.dutch4.com/>
<http://www.hyways.de/>
<http://www.refuel.eu/>
<http://www.eia.doe.gov/oiaf/analysispaper/biodiesel/index.html>
<http://www.oecd.org/dataoecd/13/42/36746373.pdf>
<http://www.energie.nl>

Bijlage A TEMPO Transportmodel

Algemeen overzicht

ECN's transportmodel TEMPO (Transport Emissions Model for POlicy evaluation) is een model waarmee op basis van een (verwachte) verkeersprestatie en een aantal andere gegevens, de emissies en het energieverbruik van de gehele transportsector bepaald kan worden. Door scenario's met verschillende uitgangspunten te vergelijken, is het mogelijk om de impact te bepalen van bepaalde maatregelen op de emissies en het energieverbruik van de sector.

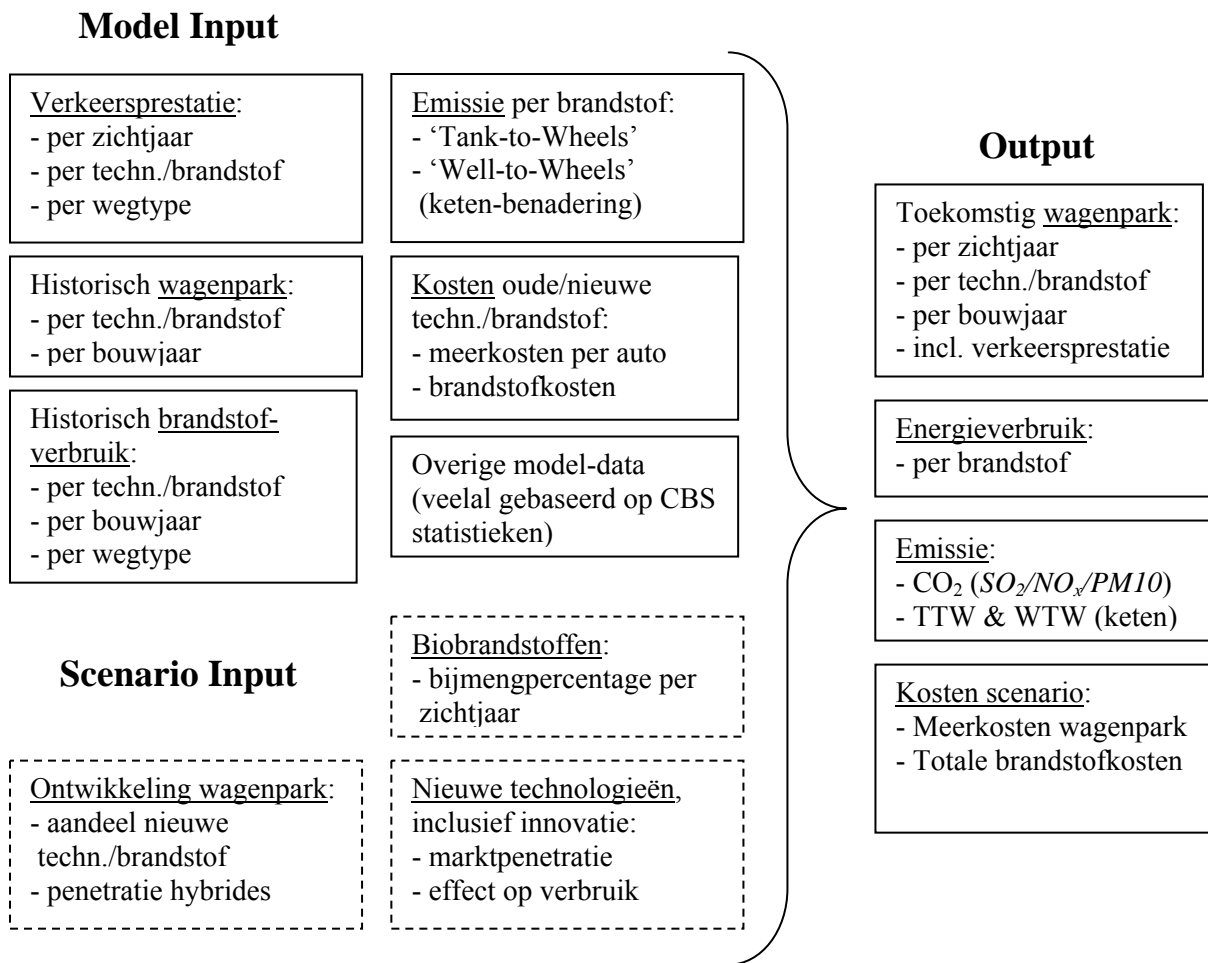
In de volgende paragrafen zal omschreven worden hoe dit is gedaan om de impact te bepalen van innovatiescenario's in deze verkenning voor het programma 'De auto van de toekomst gaat rijden'. Deze paragraaf zal op hoofdlijnen uitleggen hoe het model werkt. Het huidige transportmodel is nog in ontwikkeling en is ten behoeve van dit project met een aparte module uitgebreid. Het onderstaande overzicht beschrijft alleen het deel van het model voor het wegverkeer.

Het transportmodel splitst het wegverkeer op in een aantal categorieën, zoals personenwagens en bestelwagens. Binnen sommige categorieën is een verdere onderverdeling gemaakt naar de gebruikte technologie/brandstof. Daarnaast zijn ten behoeve van het doorrekenen van toekomstscenario's ook subcategorieën toegevoegd voor toekomstige technologieën. De volgende tabel geeft een overzicht van de categorieën die binnen het model gebruikt zijn voor dit project.

Tabel A.1 *Overzicht voertuigtypes en voor studie gebruikte technologieën/brandstoffen*

Voertuigtype	Huidige technologie/brandstof	Nieuw
Personenwagen	- Benzine - Diesel - LPG	- CNG - Waterstof - Hybride/Plug-in hybride
Bestelwagen	- Benzine - Diesel - LPG	- CNG - Waterstof - Hybride
Vrachtwagen	- Diesel	- Hybride
Trekker	- Diesel	- Hybride
Autobussen	- Diesel	- CNG - Waterstof - Hybride
Speciale voertuigen	- Diesel	- Geen

Schematisch kan het model als volgt worden weergegeven:



Figuur A.1 Schematisch overzicht ECN's transportmodel TEMPO

Ontwikkeling van het wagenpark

Het model bepaalt voor ieder deel van het huidige wagenpark de samenstelling van het toekomstige wagenpark. Hiertoe wordt het huidige wagenpark voor de betreffende categorie (bv. benzine personenwagens) eerst vijf jaar verouderd, waarbij ook een deel van de auto's zal wegval- len. Vervolgens wordt bepaald hoeveel nieuwe auto's moeten instromen om, samen met het verouderde originele park, de gewenste toekomstige verkeersprestatie te kunnen leveren. De marktaandelen die per scenario ingevoerd zijn bepalen vervolgens hoe de verdeling over de nieuwe technologieën is van de nieuwe auto's. Op deze manier kan een technologie realistisch geïntroduceerd worden waarbij aangegeven kan worden uit welk marktsegment ze onttrokken moeten worden.

Besparing door technologieën

Naast het overstappen op alternatieve technologieën/brandstoffen, zijn er drie andere technolo- gische ontwikkelingen meegenomen die binnen 'De auto van de toekomst' een substantiële rol kunnen spelen: 1) Hybride aandrijving motoren, 2) Stille en zuinige banden, 3) Slimme ICT. Deze technologieën komen het wagenpark gefaseerd in met de instroom van de nieuwe auto's.

Bepaling energieverbruik en emissie

Per jaargang wordt voor een bepaald voertuigtype het standaard energie verbruik voor de betref- fende technologie/brandstof bepaald. Dit verbruik wordt aangepast voor twee aspecten. Aller- eerst voor een aantal exogeen gedefinieerde efficiëntieverbeteringen, zoals die bijvoorbeeld no-

dig zullen zijn om aan de huidige EU-normen te voldoen (bv. personenwagens: 130 g/km in 2015). Hieronder kunnen ook verwachte efficiëntieverbeteringen vallen die als gevolg van zuiniger rijden worden meegenomen. Daarnaast wordt het verbruik gecorrigeerd voor het aanwezige aandeel van de drie bovengenoemde besparingstechnologieën op basis van de aangenomen besparingspercentages. De emissies worden rechtstreeks afgeleid van het brandstofverbruik.

Bepaling kosten

Per scenario worden de jaarlijkse kosten bepaald. Deze zijn op dit moment alleen voor de volgende twee onderdelen bepaald:

- (Meer)kosten wagenpark.
- Totale Brandstofkosten.

Andere kosten zoals onderhoudskosten zijn niet meegenomen in deze studie. In Paragraaf 4.2 wordt verder inzicht gegeven in de onderliggende uitgangspunten.