

2011
2012

BEDRIJFSECONOMISCHE WETENSCHAPPEN

*master in de toegepaste economische wetenschappen:
beleidsmanagement*

Masterproef

*Analyse van het overheidsbeleid ter ondersteuning van de
elektrische wagen*

Promotor :
dr. Wim MARNEFFE

Jorg Roosen

*Masterproef voorgedragen tot het bekomen van de graad van master in de toegepaste
economische wetenschappen , afstudeerrichting beleidsmanagement*

2011
2012

BEDRIJFSECONOMISCHE WETENSCHAPPEN

*master in de toegepaste economische wetenschappen:
beleidsmanagement*

Masterproef

*Analyse van het overheidsbeleid ter ondersteuning van de
elektrische wagen*

Promotor :
dr. Wim MARNEFFE

Jorg Roosen

*Masterproef voorgedragen tot het bekomen van de graad van master in de toegepaste
economische wetenschappen , afstudeerrichting beleidsmanagement*

Woord vooraf

Het gekozen onderwerp 'de analyse van het overheidsbeleid ter ondersteuning van de elektrische wagen' hangt nauw samen met mijn afstudeerrichting Beleidsmanagement binnen de Toegepaste Economische Wetenschappen aan de Universiteit Hasselt. De automobiellindustrie is altijd een van mijn grote passies geweest. Bovendien heeft de elektrische wagen de laatste jaren meer en meer aan belangstelling gewonnen binnen deze sector. Vandaar had ik de intentie om in deze masterproef na te gaan wat de overschakeling van een conventionele naar een elektrische wagen de maatschappij aan voordelen zou opleveren en welke rol de overheid hierbij kan spelen.

De totstandkoming van deze masterproef zou echter niet gelukt zijn zonder een aantal mensen, die ik bij deze graag zou willen bedanken. Hierbij denk ik in de eerste plaats aan mijn promotor dr. W. Marneffe. Hij heeft mij bijgestaan met goede raad en ik kon bij hem steeds terecht voor vragen.

Verder wil ik prof. dr. T. Thewys bedanken voor de ontwikkeling van deze masterproef met betrekking tot de Monte Carlo simulatie. Daarnaast zou ik J. Brouwers van de Vlaamse Milieumaatschappij, E. Delhay van Transport and Mobility Leuven, G. Willocx van Febiac, C. Vermeulen van de Federale Overheidsdienst Financiën, P. Buyckx van eNovates, E. Verheyen van KBC-groep, Y. Chaniotakis van Renault, Perik H. van Flanders' DRIVE en raadgever wetenschap en innovatie B. De Caesemaeker ook willen bedanken voor hun medewerking aan deze masterproef.

Tot slot zou ik ook graag mijn vriendin en ouders bedanken voor de steun gedurende mijn volledige universitaire opleiding.

Jorg Roosen

Samenvatting

Met het oog op een daling van de emissie van broeikasgassen, die de klimaatverandering in de hand werken, en de emissie van andere schadelijke stoffen voor mens en milieu, waaronder fijn stof, lijkt de elektrische wagen een aannemelijk alternatief voor de conventionele wagen. Immers, de elektromotor kan, in tegenstelling tot een verbrandingsmotor, een wagen aandrijven zonder enige uitstoot te vertonen tijdens het rijden. Bovendien is deze motor ook het meest efficiënt, aangezien hij tot 95 procent van de elektrische energie kan omzetten in mechanische energie voor het voortbewegen van een wagen. Een verbrandingsmotor daarentegen heeft slechts een efficiëntieniveau van maximaal veertig procent. Voor de energieopslag in de elektrische wagen is het, rekening houdend met het efficiëntiepad dat loopt van de oorspronkelijke energiebron tot de aandrijving van de wielen, rendabeler gebruik te maken van batterijen in plaats van waterstof.

Momenteel wordt de elektrische wagen meestal voorzien van een lithium-ion batterij voor de energieopslag, vanwege zijn superieure karakteristieken ten opzichte van de overige bestaande batterijtechnologieën. Bovendien kan een dergelijke batterij op een milieuvriendelijke wijze worden geproduceerd en naderhand voor meer dan negentig procent worden gerecycleerd. De prijzen van batterijen met een gemiddelde capaciteit situeren zich momenteel tussen 15.000 en 40.000 euro. Hacker et al. (2009) voorspellen echter dat deze kosten tegen 2050, omwille van verbeterde technologieën en schaalvoordelen, zullen dalen tot onder 5.000 euro. Voor het opladen van een batterij zijn er vier verschillende mogelijkheden. Ten eerste kan een batterij worden opgeladen door middel van een conductielading, waarbij de wagen met behulp van een oplaadkabel wordt verbonden met een oplaadpaal. Een grootschalige introductie van de elektrische wagen vereist naar schatting 1,6 oplaadpalen per wagen. Eind januari 2012 bestond het Belgische voertuigenpark uit 365 elektrische personenwagens, terwijl er slechts 93 oplaadpalen publiek beschikbaar waren. Daarnaast bestaat ook de mogelijkheid om een batterij draadloos op te laden via een inductielading, een batterij gewoonweg te vervangen of tot slot de batterij door middel van regeneratief remmen op te laden. Ongeacht de toegepaste oplaadmethode zal een grootschalige introductie van de elektrische wagen een implementatie van een *Smart Grid* vereisen. Een dergelijk netwerk stelt de wagens niet enkel in staat om op te laden, maar ook te ontladen waardoor een stabielere elektriciteitsproductie tot stand kan komen. Echter, de installatie in Vlaanderen zou reeds 4,5 miljard euro bedragen. In tegenstelling tot andere Europese landen, heeft de overheid nog geen concrete doelstellingen omtrent de elektrische wagen geformuleerd.

Wel kent de overheid ter stimulatie van de elektrische wagen momenteel een fiscaal voordeel toe op de aanschaf van zowel de elektrische wagen als de thuislaadinfrastructuur. Deze bedragen respectievelijk dertig procent (max. 9.190 euro) en veertig procent (max. 250 euro) op de aanschafprijs. Teneinde de optimale belastingvermindering te berekenen, moet er rekening worden gehouden met drie kostensoorten, namelijk private, externe en overheidskosten. De vervanging van de conventionele door de elektrische wagen gaat gepaard met een netto uitstootreductie, en dus ook een netto externe baat, ter hoogte van 99,85 euro per jaar. Een eenduidige netto private kost en netto overheidskost omtrent de overschakeling van een conventionele naar een elektrische

wagen kan daarentegen niet worden weergegeven, aangezien beide kostensoorten afhankelijk zijn van het kopen of leasen van een batterij. Wel kan worden vastgesteld dat, gespreid over tien jaar, enkel de elektrische wagen met een geleasede batterij onder de toekenning van de huidige belastingvermindering lagere private kosten kent dan zowel de benzine- als de dieselwagen. De verschillen bedragen respectievelijk 5.081,14 en 2.225,89 euro in het voordeel van de elektrische wagen. Er werden een aantal partiële sensitiviteitsanalyses uitgevoerd om de invloed van bepaalde parameters op de verschillende kostensoorten te achterhalen. Zodoende kan worden afgeleid vanaf welke waarden een elektrische wagen voordeliger wordt dan een conventionele. Uit deze analyses blijkt dat een lager fiscaal voordeel, ceteris paribus, eveneens het vooropgestelde doel kan bereiken. Immers, vanaf een totaal fiscaal voordeel van 6.010,11 euro zouden de private kosten van de elektrische wagen met een geleasede batterij, over een tienjarige termijn, minder bedragen dan deze van de conventionele wagens. Dit bedrag kan dan worden uitgesplitst in een fiscaal voordeel van 250 euro op de thuislaadinfrastructuur, dat onder de huidige fiscale regelgeving ook wordt verleend, en 5.760,11 euro op de aanschaf van een elektrische wagen. Daarnaast werd eveneens de sensitiviteit van het aantal gereden kilometer, de batterijkost, de aanschafkost van de wagen en de energieprijzen nagegaan.

Voorgaande resultaten zijn echter gebaseerd op standaardparameters die enkel betrekking hebben op gemiddelde waarden. Een Monte Carlo simulatie kan een realistischer beeld vormen door kansverdelingen van verschillende parameters in rekening te brengen. Hieruit blijkt dat een totaal fiscaal voordeel van 5.475,36 euro op de elektrische wagen, de private kosten over tien jaar, met negentig procent zekerheid, doet dalen onder deze van de conventionele wagens. Echter, de netto externe baat van een elektrische wagen bedraagt slechts 99,85 euro per jaar, wat verdisconteerd over een tienjarige periode overeenkomt met 809,87 euro. Zodoende is het vanuit maatschappelijk oogpunt niet verantwoord een dergelijke belastingvermindering toe te kennen op de aanschaf van een elektrische wagen en een thuislaadinfrastructuur, teneinde de aanschaf van een dergelijke wagen te stimuleren. Kortom, de jaarlijks vermeden externe kosten zullen niet opwegen tegen de belastingvermindering ten laste van de overheid.

Inhoudsopgave

WOORD VOORAF

SAMENVATTING

INHOUDSOPGAVE

LIJST VAN TABELLEN

LIJST VAN FIGUREN

HOOFDSTUK I: PROBLEEMSTELLING EN METHODOLOGISCHE ASPECTEN 1

1.1	PROBLEEMSTELLING	1
1.2	ONDERZOEKSVRAGEN	4
1.2.1	Centrale onderzoeksvraag	4
1.2.2	Deelvragen	4
1.3	ONDERZOEKSOPZET	5

HOOFDSTUK II: PLAATS VAN DE ELEKTRISCHE WAGEN IN DE AUTOMOBIELSECTOR 7

2.1	MOTOREN	7
2.1.1	De elektrische motor	7
2.1.2	De vonkontstekingsmotor	11
2.1.3	De compressieontstekingsmotor	12
2.1.4	De hybride	12
2.2	ENERGIEBRONNEN	13
2.2.1	Benzine, diesel & biodiesel	14
2.2.2	Aardgas & LPG	15
2.2.3	Alcoholen	16
2.2.4	Waterstof	17
2.2.5	Elektriciteit	19
2.3	ENERGIE-EFFICIËNTE COMBINATIE VAN MOTOR EN ENERGIEBRON	19

HOOFDSTUK III: HUIDIGE SITUATIE OMTRENT DE ELEKTRISCHE WAGEN 23

3.1	BATTERIJTECHNOLOGIE	23
3.1.1	Eigenschappen van een goede batterij	23
3.1.2	Soorten batterijen in elektrische wagens	24
3.1.3	Kosten van batterijen	26
3.1.4	Milieu-impact van batterijen	27
3.1.5	Situatie in Vlaanderen omtrent batterijproductie	28
3.2	OPLADEN	29
3.2.1	De laadcyclus van een batterij	30
3.2.2	De conductielading	30
3.2.2.1	Oplaadpalen	33
3.2.3	De inductielading	35

3.2.4	De batterijwissel	37
3.2.5	Het regeneratief remmen	37
3.3	SMART GRID	38
3.4	EUROPESE DOELSTELLINGEN	41

HOOFDSTUK IV: KOSTEN EN BATEN VAN DE ELEKTRISCHE WAGEN 45

4.1	INLEIDING	45
4.2	EFFECTEN VAN DE ELEKTRISCHE TEN OPZICHTE VAN DE CONVENTIONELE WAGEN	48
4.3	EXTERNE KOSTEN EN BATEN VAN DE ELEKTRISCHE WAGEN	51
4.3.1	Uitstoot van de conventionele wagens.....	52
4.3.1.1	Niet-broeikasgassen.....	52
4.3.1.2	Broeikasgassen.....	55
4.3.1.3	Emissiewetgeving.....	56
4.3.1.4	Cijfers van uitstoot en kosten	59
4.3.2	Uitstoot van de brandstofproductie	61
4.3.3	Uitstoot van de elektriciteitsproductie	64
4.3.4	Geluidshinder van de wagens.....	67
4.3.5	Samenvatting geactualiseerde externe kosten.....	69
4.4	PRIVATE KOSTEN EN BATEN VAN DE ELEKTRISCHE WAGEN.....	69
4.4.1	Aanschafkosten van de wagens	70
4.4.2	Aanschafkosten van de batterij	71
4.4.3	Brandstof- en elektriciteitskosten	73
4.4.4	Aanschafkosten van de thuislaadinfrastructuur.....	75
4.4.5	Onderhoudskosten van de wagens.....	76
4.4.6	Verzekeringskosten van de wagens.....	77
4.4.7	Belasting op de inverkeerstelling	78
4.4.8	Verkeersbelasting.....	81
4.4.9	Opportunitetskost van de beperkte actieradius van elektrische wagens	82
4.4.10	Samenvatting private kosten en baten van de elektrische wagen.....	84
4.5	OVERHEIDSKOSTEN EN -BATEN VAN DE ELEKTRISCHE WAGEN.....	85
4.5.1	Reguleringskosten	85
4.5.2	Welvaartseffecten.....	90
4.6	SAMENVATTING KOSTEN EN BATEN	91

HOOFDSTUK V: BEPALING VAN DE OPTIMALE BELASTINGVERMINDERING 93

5.1	PRIVATE KOSTEN VAN DE ELEKTRISCHE WAGEN	93
5.1.1	Berekening van de private kosten.....	93
5.1.2	Partiële sensitiviteitsanalyses.....	100
5.1.2.1	Aantal gereden kilometer per jaar.....	101
5.1.2.2	Batterijkost.....	102
5.1.2.3	Aanschafkost van de elektrische wagen	104
5.1.2.4	Energieprijzen	105

5.1.2.5	Belastingvermindering op de aanschaf van een elektrische wagen	107
5.2	MAATSCHAPPELIJKE KOSTEN VAN DE ELEKTRISCHE WAGEN	110
5.2.1	Berekening van de maatschappelijke kosten	110
5.2.2	Partiële sensitiviteitsanalyses	114
5.2.2.1	Aantal gereden kilometer per jaar	115
5.2.2.2	Batterijkost.....	115
5.2.2.3	Aanschafkost van de elektrische wagen	116
5.2.2.4	Energieprijzen	116
5.2.2.5	Belastingvermindering op de aanschaf van een elektrische wagen	117
5.2.2.6	Externe kosten	117
5.3	OVERHEIDSKOSTEN VAN DE ELEKTRISCHE WAGEN.....	118
5.3.1	Huidige wetgeving	119
5.3.2	Optimale belastingvermindering	121
5.3.3	Monte Carlo simulaties	124
5.4	BESLUIT	130
HOOFDSTUK VI: CONCLUSIES		133
LIJST VAN GERAADPLEEGDE BRONNEN		141
BOEKEN.....		141
RAPPORTEN.....		141
ELEKTRONISCHE TIJDSCHRIFTEN		145
CONTACTPERSONEN		146
INTERNETBRONNEN		147
BIJLAGEN		157
BIJLAGE A: CIJFERMATIGE ONDERBOUWINGEN BIJ DE PARTIËLE SENSITIVITEITSANALYSES VAN DE PRIVATE KOSTEN		157
BIJLAGE B: FIGUREN EN CIJFERMATIGE ONDERBOUWINGEN BIJ DE PARTIËLE SENSITIVITEITSANALYSES VAN DE MAATSCHAPPELIJKE KOSTEN		163
BIJLAGE C: STATISTISCHE GEGEVENS VAN DE MONTE CARLO SIMULATIE		174

Lijst van Tabellen

Tabel 3.1: IEC 62196-1: methodes voor het veilig opladen van elektrische wagens	31
Tabel 3.2: IEC 62196-2: aansluitingstypes met de beschrijving	33
Tabel 4.1: Euronormen voor personenwagens	57
Tabel 4.2: Euronormen met percentage wagens voldaan en gemiddelde CO ₂ -uitstoot eind 2010 ..	59
Tabel 4.3: Emissies van personenwagens en externe kosten in Vlaanderen in 2009	60
Tabel 4.4: Emissies van raffinaderijen en externe kosten in Vlaanderen in 2009	63
Tabel 4.5: Geactualiseerde externe kosten	69
Tabel 4.6: Vergelijking aanschafkosten inclusief btw naar type motor	71
Tabel 4.7: Aanschafkosten inclusief btw van een standaardbatterij (22kWh)	72
Tabel 4.8: Gemiddelde elektriciteitsprijs voor gezinnen per verbruiksschijf in 2009 (incl. alle taksen)	74
Tabel 4.9: Jaarlijkse brandstof- en elektriciteitskosten inclusief btw voor de verschillende wagentypes	74
Tabel 4.10: Gemiddelde jaarlijkse onderhoudskosten inclusief btw	77
Tabel 4.11: Jaarlijkse verzekeringspremie voor de verplichte aansprakelijkheidsverzekering	78
Tabel 4.12: Gemiddelde BIV voor personenwagens per motortype (op basis van gegevens van 2009)	80
Tabel 4.13: Gemiddelde verkeersbelasting voor personenwagens per motortype (aangepaste gegevens van 2008 voor benzine- en dieselmotor)	82
Tabel 4.14: Private kosten van de elektrische ten opzichte van de conventionele wagen	84
Tabel 4.15: Aanschafkosten en btw van verschillende wagentypes	89
Tabel 4.16: Operationele kosten en opbrengsten voor de overheid per elektrische wagen	90
Tabel 4.17: Operationele netto kosten voor de overheid per elektrische wagen	90
Tabel 5.1: Wagentypes voor de vergelijking van de kostensoorten	94
Tabel 5.2: Standaardparameters voor de berekening van de private kosten	95
Tabel 5.3: Private kostensoorten	96
Tabel 5.4: Verdisconteerde private kosten in euro van verschillende wagentypes gespreid over tien jaar op basis van standaardparameters	97
Tabel 5.5: Vergelijking verdisconteerde private kosten in euro van verschillende wagentypes gespreid over tien jaar op basis van standaardparameters	99
Tabel 5.6: Parameters voor de berekening van de externe maatschappelijke kosten	111
Tabel 5.7: Verdisconteerde maatschappelijke kosten in euro van verschillende wagentypes gespreid over tien jaar aan de hand van standaardparameters	112
Tabel 5.8: Vergelijking verdisconteerde maatschappelijke kosten in euro van verschillende wagentypes gespreid over tien jaar aan de hand van standaardparameters	114

Tabel 5.9: Verdisconteerde operationele netto overheidskosten bij de overschakeling van de conventionele naar de elektrische wagen, in euro	120
Tabel 5.10: Statistische gegevens van figuur 5.11	127
Tabel 5.11: Verdisconteerde netto overheidskost over vijf jaar in euro (belastingvermindering op de elektrische wagen met een geleasede batterij)	128

Lijst van figuren

Figuur 1.1: Autopark, aantal voertuigkilometer en hun CO ₂ -uitstoot in België (1990 = 100)	1
Figuur 2.2: De FBI-regel	9
Figuur 2.3: De lorentzkracht	9
Figuur 2.4 (a en b): Wisselen van stroomrichting bij gelijkspanning	10
Figuur 2.5: Werking van een vonkontstekingsmotor	11
Figuur 2.6: Serie- (links) en parallelhybride (rechts)	13
Figuur 2.7: Werking brandstofcel	18
Figuur 2.8: Efficiëntievergelijking: bron-tot-wiel pad van de brandstofcelwagen (boven) en de batterijwagen (onder)	21
Figuur 3.1: Voorspelde kostenverloop van batterijen	26
Figuur 3.2: Specificaties van verschillende laadpalen naargelang de doelgroep	34
Figuur 3.3: Principe van het inductief laden	36
Figuur 3.4: Doelstellingen en vrijgemaakte budgetten van verschillende landen met betrekking tot de elektrische wagen	42
Figuur 3.5: Voorspelde percentage elektrische wagens van de totale wagenverkoop per jaar (2010-2020)	43
Figuur 4.1: Positief extern effect van een elektrische wagen	46
Figuur 4.2: Kosten verbonden aan verschillende wagentypes	51
Figuur 4.3: Aandeel van de verschillende Vlaamse sectoren in de totale uitstoot van broeikasgassen in 2009	55
Figuur 4.4: Verschillende wijzen voor het opwekken van elektriciteit en hun aandeel in 2009	64
Figuur 4.5: Schadekost van verschillende opwekkingsmethoden voor elektriciteit in 2008	66
Figuur 4.6: Cumulatieve verdeling van autoverplaatsingen	83
Figuur 4.7: Kosten en baten van de elektrische wagen	91
Figuur 5.1: Sensitiviteit van het aantal gereden kilometer per jaar op de totaal verdisconteerde private kosten	102
Figuur 5.2: Sensitiviteit van de batterijkost op de totaal verdisconteerde private kosten	104
Figuur 5.3: Sensitiviteit van de aanschafkost van de elektrische wagen op de totaal verdisconteerde private kosten	105

Figuur 5.4: Sensitiviteit van de energieprijzen op de totaal verdisconteerde private kosten.....	107
Figuur 5.5: Sensitiviteit van de belastingvermindering op de aanschaf van een elektrische wagen (beperkt tot een maximaal bedrag van 9.190 euro) op de totaal verdisconteerde private kosten	109
Figuur 5.6: Sensitiviteit van de belastingvermindering op de aanschaf van een elektrische wagen (zonder beperking tot een maximaal bedrag) op de totaal verdisconteerde private kosten.....	110
Figuur 5.7: Sensitiviteit van de externe kosten op de totaal verdisconteerde maatschappelijke kosten	118
Figuur 5.8: Sensitiviteit van het percentage elektrische wagens van de totaal nieuw verkochte wagens op de verdisconteerde netto overheidskost over vijf jaar op basis van huidige wetgeving	121
Figuur 5.9: Vergelijking van de huidige wetgeving met de optimale belastingvermindering omtrent de sensitiviteit van het percentage elektrische wagens van de totaal nieuw verkochte wagens op de verdisconteerde netto overheidskost over vijf jaar.....	123
Figuur 5.10: Kansverdeling van de vereiste belastingvermindering op de elektrische wagen ten opzichte van de benzinewagen.....	126
Figuur 5.11: Kansverdeling van de vereiste belastingvermindering op de elektrische wagen ten opzichte van de dieselwagen.....	126
Figuur 5.12: Bijdrage van de verschillende parameters tot de variantie van figuur 5.10	130
Figuur 5.13: Bijdrage van de verschillende parameters tot de variantie van figuur 5.11	130

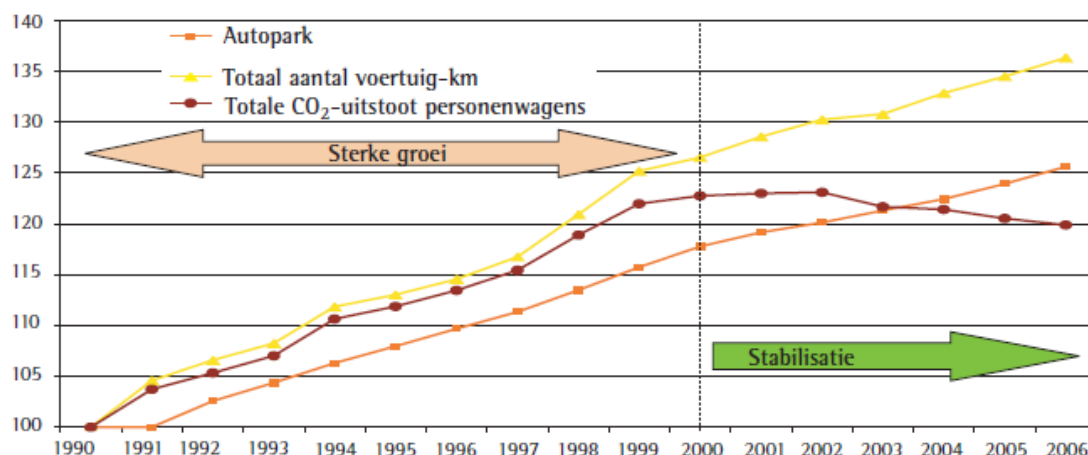
Hoofdstuk I: Probleemstelling en methodologische aspecten

1.1 Probleemstelling

De opwarming van de aarde wordt voornamelijk veroorzaakt door broeikasgassen. Een van de belangrijkste gassen die bijdragen tot dit fenomeen is koolstofdioxide (CO₂). Dit gas komt hoofdzakelijk vrij bij de verbranding van koolstofhoudende materialen, waaronder fossiele brandstoffen (aardolie, aardgas en steenkool).¹ Verschillende sectoren zijn verantwoordelijk voor de uitstoot van CO₂. Het grootste deel daarvan, namelijk zestig procent, wordt veroorzaakt door de energieproducenten en de industrieën. Het wegtransport heeft ook een aandeel van achttien procent, waarvan meer dan de helft van personenwagens afkomstig is.²

België kent momenteel twee trends die bijdragen aan de CO₂-uitstoot veroorzaakt door personenwagens. Enerzijds neemt het aantal ingeschreven voertuigen jaarlijks toe. Zo blijkt er een toename van 23 procent te zijn tussen 1997 en 2009. Anderzijds stijgt tevens het totaal aantal gereden kilometer op de Belgische wegen. Tussen 2000 en 2008 is dit met negen procent toegenomen.³ Wel moet hierbij in het achterhoofd worden gehouden dat de automobielsector de laatste jaren veel pogingen heeft ondernomen om de emissies terug te schroeven. Deze ontwikkelingen bieden met betrekking tot de emissies als het ware een compensatie-effect voor de stijging in zowel het aantal voertuigen als het aantal gereden kilometer. In onderstaande figuur wordt dit effect geïllustreerd. In de periode vóór 2000 zien we jaarlijks een nagenoeg constante toename van de totale uitstoot van CO₂ bij personenwagens. Vanaf 2000 treedt er dan een stabilisatie op dankzij de inspanningen van de autoproducenten teneinde de uitstoot te beperken.

Figuur 1.1: Autopark, aantal voertuigkilometer en hun CO₂-uitstoot in België (1990 = 100)



Bron: Febiac, 2007, *De uitdaging CO₂*, Brussel: p6. Opgevraagd op 11 oktober, 2011.
http://www.febiac.be/documents_febiac/publications/guide_co2_NL.pdf

¹ Eyckmans, J., & Proost, S., 1998, *Klimaatonderhandelingen in Rio en Kyoto: een succesverhaal of een maat voor niets?*, Centrum voor economische studiën, Leuven: p2. Opgevraagd op 10 oktober, 2011.
<https://lirias.kuleuven.be/bitstream/123456789/102861/1/les91.pdf>

² Febiac, 2007, *De uitdaging CO₂*, Brussel: p6. Opgevraagd op 11 oktober, 2011.
http://www.febiac.be/documents_febiac/publications/guide_co2_NL.pdf

³ FOD Economie, 2010, *De Belgen en hun wagens*, Brussel: p2. Opgevraagd op 11 oktober, 2011.
http://statbel.fgov.be/nl/binaries/2010_Brochure_nl_tcm325-84910.pdf

We kunnen ons nu afvragen of een stabilisatie wel het gewenste resultaat oplevert. Het nastreven van een afname in de uitstoot van CO₂ zou natuurlijk een veel gunstiger maatschappelijk effect hebben. Een dergelijke daling is enkel realiseerbaar door te focussen op nieuwe en innovatieve emissiereducerende technieken. Een mogelijke oplossing voor deze kwestie is het gebruik van een elektrische wagen zonder enige uitstoot tijdens het rijden.

De energie voor de aandrijving van deze wagen moet echter worden opgewekt. Dit zal leiden tot een verhoging van de CO₂-uitstoot bij de energieproducenten indien hiervoor fossiele brandstoffen worden aangewend. Bijgevolg geraakt de voorraad van deze energiebronnen uitgeput en dus zullen ze alsmaar schaarser worden. Bovendien kennen de prijzen van benzine en diesel respectievelijk een stijging van 25 en 36 procent tussen 2006 en 2011.⁴ De elektriciteit kan echter ook worden opgewekt met behulp van kernenergie waarbij noch fossiele brandstoffen worden verbruikt noch CO₂ wordt uitgestoten. Nochtans gaat de productie van uranium, de brandstof voor kernenergie, wel gepaard met een CO₂-uitstoot.⁵ In ieder geval moet dus rekening worden gehouden met de volledige levenscyclus van de aangewende energiebron met betrekking tot de schadelijke CO₂-uitstoot en niet uitsluitend met de uitstoot van de wagens.⁶ Bijgevolg moet er niet enkel worden gezocht naar milieuvriendelijke wagens, maar ook naar milieuvriendelijke technieken voor het opwekken van energie als men een drastische verlaging van CO₂ wil realiseren. Dit kan door gebruik te maken van hernieuwbare energiebronnen zoals bijvoorbeeld wind-, zonne- en geothermische energie teneinde de uitputting van fossiele brandstoffen tegen te gaan.⁷ De focus van deze masterproef zal echter liggen op de elektrische wagen.

De elektrische wagen zal niet enkel voordelen bieden voor het milieu, maar ook voor de gezondheid van de mens. Het gebruik van verbrandingsmotoren, in het bijzonder de dieselmotor, zorgt immers voor de uitstoot van fijn stof (PM). Er kan een indeling gemaakt worden op basis van de diameter van de stofdeeltjes. Zo staat PM₁₀ voor fijn stof met een diameter kleiner dan tien micrometer (10⁻⁶ meter). Deze grootte wordt vooral uitgestoten door energieproducenten en olieraffinaderijen. Wagens met conventionele motoren stoten voornamelijk fijn stof uit met een diameter kleiner dan 2,5 micrometer (PM_{2,5}).⁸ Onderzoek toont aan dat er een relatie bestaat tussen de concentratie van fijn stof en gezondheidsproblemen. De gevolgen hebben zowel een acuut als een chronisch effect op de luchtwegen. Een voorbeeld van een acuut effect is hoesten, terwijl de aftakeling van de longfunctie behoort tot de langetermijneffecten. Hoe kleiner de deeltjes zijn, hoe schadelijker ze zijn voor het lichaam aangezien ze verder kunnen doordringen in het

⁴ FOD Economie, 2011, *Gemiddeld officieel tarief aardolieproducten laatste 8 jaar*. Opgevraagd op 10 oktober, 2011.

http://statbel.fgov.be/nl/statistieken/cijfers/energie/prijzen/gemid_8/

⁵ Groen!, *Dossier Kernenergie*, 2010. Opgevraagd op 12 oktober, 2011.

http://www.groen.be/ideen/dossiers/dossier---kernenergie_255.aspx

⁶ King, J., 2007, *The King Review of low-carbon cars*, Part I: the potential for CO₂ reduction: p29. Opgevraagd op 12 oktober, 2011.

http://www.physics.harvard.edu/~wilson/energypmp/2008_King_I.pdf

⁷ Portaal Belgium: informatie en diensten van de overheid, 2010, *Hernieuwbare en niet-vernieuwbare energiebronnen*. Opgevraagd op 13 oktober, 2011.

http://www.belgium.be/nl/leefmilieu/duurzaam_consumeren/energiebronnen/energie/

⁸ Funk, K., & Rabl, A., 1999, *Electric versus conventional vehicles: social costs and benefits in France*, Transportation Research Part D, p401. Opgevraagd op 11 oktober, 2011.

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1361920999000188>

ademhalingssysteem.⁹ Het gebruik van een elektrische wagen kan de productie, en dus ook voorgaande nadelige gevolgen, van fijn stof beperken.

De uitbreiding van een elektrisch wagenpark zal ingrijpende maatregelen vereisen in de hedendaagse infrastructuur op het vlak van mobiliteit. Immers, met een elektrische wagen kan niet meer worden getankt bij een tankstation. Deze dient te worden opgeladen met behulp van oplaadpalen. Gezien de huidige batterijtechnologie bedraagt de gemiddelde actieradius, die slaat op de autonomie van een elektrische wagen, 150 kilometer.¹⁰ In vergelijking met conventionele wagens is dit een aanzienlijk verschil. Er bestaan daarentegen wel elektrische wagens met een groter bereik, maar dat brengt met zich mee dat de prijzen hiervan de lucht in schieten. Een bijkomend probleem is de oplaadsnelheid van de batterijen. Deze bedraagt zes tot acht uur als er gebruik wordt gemaakt van het klassieke stroomnet. Dit is te wijten aan het relatief lage vermogen van slechts 3,5 kilowatt.¹¹ Er zijn wel snellere alternatieven, waaronder de zogenaamde snellading. Siemens kwam in het najaar van 2011 uit met een laadpaal waarvan het vermogen 22 kilowatt bedraagt. Volgens Siemens komt dit erop neer dat een batterij op een uur tijd zou kunnen worden opgeladen, maar ook dat duurt nog altijd beduidend langer dan een tankbeurt.¹²

De overheid heeft verschillende opties teneinde de schadelijke uitstoot van conventionele wagens te verminderen. Zo wordt er een premie toegekend voor het plaatsen van een roetfilter in oudere dieselwagens en tot voor kort bood ze een korting aan op de aankoopprijs van een nieuwe wagen met een lage CO₂-uitstoot. Momenteel is er eveneens een belastingsvermindering mogelijk bij de aankoop van een elektrische wagen en de installatie van een thuislaadinfrastructuur.¹³ Vlaams minister van innovatie, Ingrid Lieten, trok eind 2010 een budget van dertig miljoen euro uit voor de verdere ontwikkeling en stimulatie tot het gebruik van de elektrische wagen.¹⁴ Tegenwoordig zijn het bijna uitsluitend bedrijven en de overheid die het gebruik van de elektrische wagen testen, aangezien de aanschafkosten relatief hoog zijn. Opdat ook burgers een standpunt kunnen innemen ten aanzien van deze voertuigen heeft Infrax, in samenwerking met de overheid, een project ingediend. Ze willen honderd elektrische wagens een jaar lang ter beschikking stellen van evenveel Vlaamse gezinnen. De respons van de burgers zou veel informatie opleveren voor iedereen die een aandeel heeft in de ontwikkelingsgang van het elektrisch rijden.¹⁵

⁹ Medisch milieukundigen, 2011, *Fijn stof*. Opgevraagd op 12 oktober, 2011.

<http://www.mmk.be/vrij.cfm?Id=194>

¹⁰ Febiac, 2011, *Elektrische voertuigen*, Brussel: p8. Opgevraagd op 10 oktober, 2011.

http://www.febiac.be/documents_febiac/publications/2010/infospecialnllr.pdf

¹¹ Vrije Universiteit Brussel, 2007, *Veel gestelde vragen over schone voertuigen*, Vakgroep ETEC, Elsene.

Opgevraagd op 10 oktober, 2011.

<http://etec.vub.ac.be/faq.php#101>

¹² Siemens, 2011, *Nieuwe oplaadpaal van Siemens kan twee elektrische auto's tegelijkertijd in één uur opladen*.

Opgevraagd op 13 oktober, 2011.

<http://www.siemens.nl/persinfo/pressinfo.asp?id=1864>

¹³ Vlaamse Overheid, 2011. Opgevraagd op 14 oktober, 2011.

http://www.vlaanderen.be/servlet/Satellite?c=Domein_C&cid=1191211213991&context=1141721623065---1191211213991-1191211213991-1187251344078&p=1186804409590&pagename=Infolijn%2FView

¹⁴ Belga/Dea, 2010, *Lieten investeert 30 miljoen voor invoering elektrische voertuigen*, Het laatste nieuws.

Opgevraagd op 14 oktober, 2011.

<http://www.hln.be/hln/nl/957/Belgie/article/detail/1157482/2010/09/14/Lieten-investeert-30-miljoen-voor-invoering-elektrische-voertuigen.dhtml>

¹⁵ Infrax, 2011, *Stad Hasselt zet deur wagenwijd open voor elektrische auto!*, Brussel. Opgevraagd op 14 oktober, 2011.

<http://www.infrax.be/nl/over-infrax/Nieuws/2011/20110114-elektrische-auto>

1.2 Onderzoeksvragen

1.2.1 Centrale onderzoeksvraag

Uit bovenstaande probleemstelling blijkt dat een elektrische wagen niet alleen voordelen heeft, maar dat er wel degelijk ook een aantal nadelen aan verbonden zijn. Enerzijds zullen elektrische wagens bijdragen tot een reductie van de totale CO₂-uitstoot. Anderzijds liggen de productiekosten de dag van vandaag nog een stuk hoger dan die van conventionele voertuigen. Dit is vooral te wijten aan de ontwikkeling van de batterij. De aankoop van een elektrische wagen gaat voor de gemiddelde consument aldus gepaard met een zware investering. Voor hen blijft de conventionele wagen aantrekkelijker, gezien de lagere private kosten die eraan verbonden zijn. Indien de consument niet wordt geprikkeld om zijn aankoopgedrag te veranderen, zal zijn voorkeur niet uitgaan naar de elektrische wagen. Bijgevolg zal de overheid moeten tussenkomen, maar de vraag is hoeveel de tussenkomst minimaal moet bedragen en wat het op termijn zal opleveren voor de maatschappij. Momenteel wordt er een belastingvermindering toegekend op de aankoop van een elektrische wagen en een thuislaadinfrastructuur. Vermits het verlenen van een belastingvermindering behoort tot de gewestelijke bevoegdheden, wordt er gekeken naar de fiscale ondersteuning van de elektrische wagen in Vlaanderen. Vandaar luidt de centrale onderzoeksvraag als volgt:

'Wat is het optimale fiscaal beleid van de Vlaamse overheid teneinde het gebruik van de elektrische wagen te ondersteunen?'

1.2.2 Deelvragen

Volgende deelvragen zullen ondersteuning bieden voor het formuleren van een antwoord op de centrale onderzoeksvraag:

'Wat is de werking van een elektrische wagen en hoe verschilt deze van andere alternatieven?'

Alvorens er wordt overgegaan tot een uiteenzetting van het onderzoek lijkt het nuttig om eerst in te gaan op de werking van een elektrische wagen. Dit wordt gedaan aan de hand van een technische beschrijving van de elektromotor. Hierbij wordt een vergelijking gemaakt met de andere motoren en worden de voor- en nadelen van de verschillende alternatieven geanalyseerd.

'Wat is de bestaande situatie met betrekking tot het gebruik van de elektrische wagen?'

Het is noodzakelijk de bestaande situatie te onderzoeken met het oog op verdere ontwikkeling. Hierbij komt het aspect van de infrastructuur ter sprake. Met name moet er worden onderzocht hoe het is gesteld met de huidige situatie betreffende het aantal elektrische wagens en het aantal oplaadpunten. Daarnaast is het interessant om de evolutie van de voorbije jaren na te gaan. Bijkomend wordt er gekeken naar de doelstellingen van de overheid omtrent de toekomst van de elektrische wagens en worden er een aantal buitenlandse voorbeelden aangehaald met betrekking tot de implementatie van het concept van de elektrische wagen.

'Wat zijn de kosten en baten van een elektrische wagen voor de maatschappij in haar geheel?'

Vooreerst wordt er een zo volledig mogelijke opsomming van alle kosten en baten gegeven met betrekking tot de elektrische wagen. Hierbij is het van groot belang alle effecten van een dergelijke wagen in acht te nemen. Daarna kunnen ze tegen elkaar worden afgewogen door middel van een kosten-batenanalyse. Vermits een rechtstreekse schatting van de baten met betrekking tot de elektrische wagen onpraktisch is, kunnen de kosten van deze wagen vergeleken worden met de kosten van de conventionele wagens. De vermeden kosten van de conventionele wagen komen immers overeen met de baten van de elektrische wagen. Het doel is bijgevolg zo correct mogelijk alle kosten van de verschillende wagentypes te achterhalen en ze tegen elkaar af te wegen. De kosten kunnen worden uitgesplitst in drie kostensoorten, namelijk de private, de externe en de overheidskosten.

'Hoeveel bedraagt de optimale belastingvermindering op de aanschaf van een elektrische wagen?'

Momenteel verleent de overheid een belastingvermindering van dertig procent op de aanschaf van een elektrische wagen zonder 9.190 euro te overschrijden. Daarnaast is er eveneens een fiscaal voordeel voorzien indien men een thuislaadinfrastructuur installeert. Dit voordeel bedraagt veertig procent op de aanschafwaarde, maar is beperkt tot een bedrag van 250 euro. In deze masterproef wordt er getracht na te gaan hoeveel de belastingvermindering moet bedragen alvorens de consument wordt geprikkeld om een elektrische wagen te verkiezen boven een conventionele. Op deze manier kan worden achterhaald hoeveel de minimale overheidskost ter ondersteuning van de elektrische wagen moet bedragen.

1.3 Onderzoeksopzet

Het onderzoek van deze masterproef verloopt in twee stappen. Ten eerste wordt een literatuurstudie met betrekking tot de elektrische wagen uitgevoerd. Op basis hiervan wordt niet enkel de werking van de wagen geschetst, maar wordt ook de huidige situatie betreffende de

infrastructuur besproken. Voor het zoeken van bronnen met betrekking tot de literatuurstudie wordt hoofdzakelijk informatie ingezameld op basis van zoekmachines zoals Google Scholar en EBSCOhost. Daarnaast zullen ook een aantal nationale en internationale overheidsinstellingen geraadpleegd worden voor de uitwerking van de literatuurstudie. In de masterproef wordt gebruikgemaakt van voetnoten voor de bronvermelding. Dit maakt het voor de lezer eenvoudig om snel bijkomende informatie op te zoeken aangaande een bepaald thema. De geraadpleegde internetbronnen worden bovendien voorzien van een rechtstreekse link naar de bron.

Vervolgens zal worden nagegaan welk fiscaal beleid de Vlaamse overheid het best kan voeren ter ondersteuning van de elektrische wagen. Vermits slechts een zeer beperkt aantal elektrische wagens in privébezit voorkomen en het overgrote deel in handen van de bedrijven verkeert, lijkt het aannemelijk om na te gaan hoe de particuliere gebruiker kan worden gestimuleerd tot de aankoop van een elektrische wagen. Opdat een beslissing kan worden genomen omtrent het optimale fiscaal overheidsbeleid, moeten eerst alle kosten en baten van de elektrische wagen in overweging worden genomen. Aangezien de baten van een elektrische wagen moeilijk rechtstreeks te waarderen zijn, kan een kosten-batenanalyse worden uitgevoerd waarbij de baten van een elektrische wagen overeenkomen met de vermeden kosten van een conventionele wagen. Op basis van de resultaten die hieruit voortvloeien, kan worden achterhaald hoeveel de optimale belastingvermindering op de aanschaf van een elektrische wagen moet bedragen alvorens een consument wordt geprikkeld om een dergelijke wagen aan te schaffen.

Hoofdstuk II: Plaats van de elektrische wagen in de automobielsector

Allereerst wordt een uiteenzetting gegeven aangaande de werking van de verschillende motoren in de automobielsector. Gezien de aandrijving van iedere motor door verschillende energiebronnen gebeurt, zal hieraan in het tweede deel van het hoofdstuk aandacht worden besteed. In het laatste deel wordt er een analyse uitgevoerd om te komen tot de meest energie-efficiënte combinatie van motor en energiebron.

2.1 Motoren

Tegenwoordig komen er in de automobielsector voornamelijk drie soorten motoren voor, met name de elektrische, de vonkontstekings- en de compressieontstekingsmotor. Deze laatste twee vallen samen onder de noemer van de verbrandingsmotoren. De drie motoren functioneren elk op een andere wijze. In wat volgt worden daarom de werkingsprincipes nader toegelicht. De elektromotor en de verbrandingsmotor kunnen echter ook gezamenlijk in een wagen voorkomen. Vermits een dergelijke wagen kan worden aangedreven door middel van twee motoren, wordt hij de hybride wagen genoemd.

2.1.1 De elektrische motor

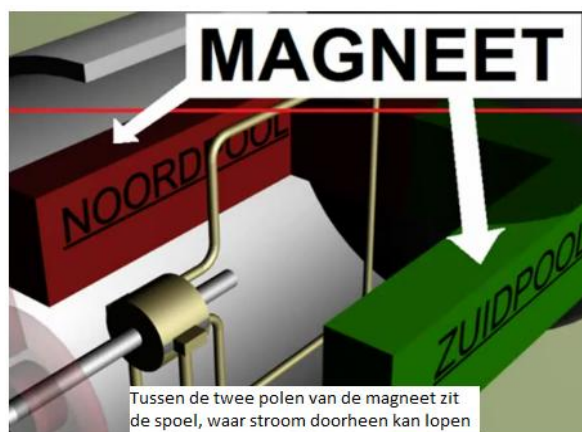
De elektromotor kent reeds vele toepassingen, gaande van mixers tot treinen. Door de aanhoudende commotie omtrent het hoge CO₂-gehalte in de lucht, dat gekoppeld wordt aan de opwarming van de aarde, kent de elektromotor de laatste jaren ook een opmars in de automobielsector. Een dergelijke motor is in staat elektrische energie om te zetten in mechanische (rotatie)energie.¹⁶ Hij wordt gekenmerkt door zijn hoge graad van efficiëntie. Bij de energieomzetting gaat er immers zeer weinig arbeidsvermogen verloren. De elektromotor kan maar liefst tot 95 procent van de elektrische energie benutten voor het voortbewegen van de wagen.¹⁷

De toelichting betreffende de werking van een elektromotor gebeurt op basis van een vereenvoudigde voorstelling. De vier belangrijkste componenten van de elektrische motor zijn: een spoel, een magneet, een stroombron en een sleepcontact. De spoel bestaat uit een groot aantal wikkelingen van een geleidend materiaal waarvan de uiteinden zijn bevestigd op een sleepcontact. Een dergelijk contact kan tegelijkertijd ronddraaien en van stroom voorzien worden. Dit laatste gebeurt door middel van een externe stroombron. Bij de opstelling wordt de spoel tussen een magneet geplaatst, zoals weergegeven in figuur 2.1.

¹⁶ Giancoli, D. C., 1999, *Natuurkunde voor Wetenschap en Techniek*, Elektrostatica en Magnetisme (van Vreumingen, M., Vertaling). Schoonhoven: Academic Service. (Oorspronkelijk verschenen in het Engels in 1993): p242-243.

¹⁷ Febiac, 2011, *Elektrische voertuigen*, Brussel: p8. Opgevraagd op 10 oktober, 2011.
http://www.febiac.be/documents_febiac/publications/2010/infospecialnllr.pdf

Figuur 2.1: Opstelling van een elektromotor



**Bron: Eigen verwerking op basis van Science Space, 2010, *Werking van de elektromotor*.
Opgevraagd op 10 oktober, 2011.
<http://www.sciencespace.nl/article/view.do?supportId=3121>**

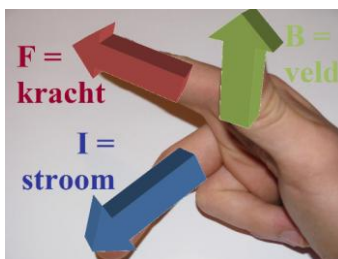
De magneet waartussen de spoel is geplaatst heeft twee polen, namelijk een noord- en een zuidpool. Iedere magneet heeft een magnetisch veld dat loopt van de noord- naar de zuidpool. De wetten omtrent magnetisme helpen de werking van een elektromotor verder te illustreren. Immers, wanneer twee magneten met tegenovergestelde polen bij elkaar worden gebracht, treedt er een aantrekkingskracht op. Magneten met gelijke polen daarentegen zullen elkaar afstoten.¹⁸ Het principe van deze wetten blijkt nuttig te zijn wanneer er een stroom doorheen de spoel loopt. Deze wordt dan zelf een magneet en creëert bijgevolg een magnetisch veld. Het magnetisch veld van de spoel bevindt zich in het magnetisch veld van de magneet. De twee velden werken vervolgens op elkaar in omdat ze in dezelfde richting georiënteerd willen zijn.¹⁹ De noord- en zuidpolen van de twee magneten zullen met andere woorden interageren. De wisselwerking van de magneten zorgt voor een kracht, namelijk de lorentzkracht. De richting van deze kracht kan worden voorspeld aan de hand van de *FBI-regel*. In deze afkorting staat F voor force/kracht, B voor het magnetisch veld en I voor stroom. Om deze regel te kunnen toepassen moet de richting van het magnetisch veld, opgewekt door de magneet, en de richting van de stroom gekend zijn. Bij het hanteren van de regel moet er met de rechterhand een pistool worden gemaakt, zoals afgebeeld in figuur 2.2, teneinde de richting van de lorentzkracht te voorspellen.²⁰

¹⁸ Giancoli, D. C., 1999, *Natuurkunde voor Wetenschap en Techniek*, Elektrostatica en Magnetisme (M. van Vreumingen, Vertaling). Schoonhoven: Academic Service. (Oorspronkelijk verschenen in het Engels in 1993): p226-227.

¹⁹ Febiac, 2011, *Elektrische voertuigen*, Brussel: p6. Opgevraagd op 10 oktober, 2011.
http://www.febiac.be/documents_febiac/publications/2010/infospecialnllr.pdf

²⁰ Science Space, 2010, *De FBI Regel*. Opgevraagd op 15 oktober, 2011.
<http://www.sciencespace.nl/article/view.do?supportId=3181>

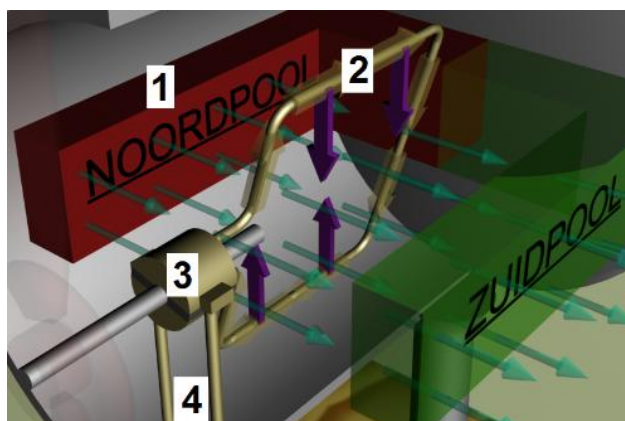
Figuur 2.2: De FBI-regel



**Bron: Science Space, 2010, *De FBI Regel*. Opgevraagd op 10 oktober, 2011.
<http://www.sciencespace.nl/article/view.do?supportId=3181>**

Bij het aannemen van deze houding geeft de duim de richting van het magnetisch veld aan, terwijl de middelvinger in de richting van de stroom wijst. Indien de twee voorgaande voorschriften vervuld zijn, zal de wijsvinger automatisch de richting van de resulterende kracht, de lorentzkracht, aangeven. Gebruikmakend van de *FBI-regel* kan dus worden voorspeld wat er met de spoel in figuur 2.1 gebeurt wanneer er een stroom doorheen loopt. Dit wordt aangetoond in figuur 2.3, waarbij de stroom via het sleepcontact (3) aan de bovenzijde van de spoel binnenkomt. Deze stroom wordt opgewekt door een externe stroombron (4). Het magnetisch veld (blauwe lijnen), dat ontstaat tussen de magneet (1), staat loodrecht op de spoel (2). Dit zal resulteren in een lorentzkracht (paarse lijnen) waardoor de spoel een halve draai maakt en tot stilstand komt zodat de twee magnetische velden (van de magneet en de spoel) in dezelfde richting georiënteerd zijn.²¹

Figuur 2.3: De lorentzkracht



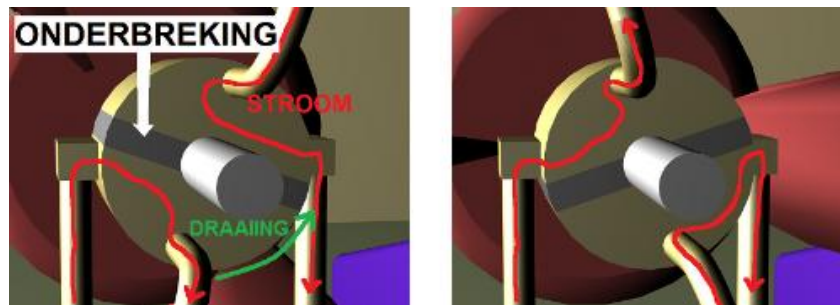
**Bron: Science Space, 2010, *Werking van de elektromotor*. Opgevraagd op 10 oktober, 2011.
<http://www.sciencespace.nl/article/view.do?supportId=3121>**

Het is vanzelfsprekend dat een motor is ontworpen om continu te blijven draaien. Kortom, de spoel moet voortdurend in beweging worden gehouden. Dit kan worden bewerkstelligd door óf de stroom óf het magneetveld van richting te doen veranderen bij iedere halve omwenteling van de spoel. Ingeval de spoel onder wisselspanning staat is er geen enkel probleem aangezien hierbij de stroom continu van richting verandert. Bijgevolg zal de spoel blijven draaien. Als men bijvoorbeeld een

²¹ Science Space, 2010, *De FBI Regel*. Opgevraagd op 15 oktober, 2011.
<http://www.sciencespace.nl/article/view.do?supportId=3181>

wisselspanning heeft van vijftig Hertz, wisselt de stroom evenveel keer van richting gedurende één seconde. De motor zal dan met eenzelfde snelheid ronddraaien als de stroom van richting verandert. Echter, een elektrische wagen haalt zijn energie uit een batterij die gelijkstroom levert. De stroom verandert bijgevolg niet van richting. Dit probleem kan worden opgelost door een onderbreking in te bouwen in het roterende sleepcontact waardoor er een fractie van een seconde geen stroom loopt doorheen de spoel. Dit is weergegeven in figuur 2.4 (a). Om die reden zal het magnetisch veld van de spoel even wegvallen. Eenmaal voorbij de onderbreking zal er terug stroom doorheen de spoel lopen, maar in tegenovergestelde richting zoals aangegeven in figuur 2.4 (b). Dit gaat gepaard met een omkering van het magnetisch veld van de spoel. Op bovenstaande manier kan de spoel, en dus ook de motor, blijven draaien met behulp van gelijkstroom.²² In werkelijkheid bevat een elektromotor meerdere spoelen. Door elke spoel loopt dan slechts gedurende een kort deel van een omwenteling een stroom, en wel precies dan wanneer de spoel zo georiënteerd is dat er een maximaal krachtmoment ontstaat.²³

Figuur 2.4 (a en b): Wisselen van stroomrichting bij gelijkspanning



**Bron: Science Space, 2010, *Werking van de elektromotor*. Opgevraagd op 10 oktober, 2011.
<http://www.sciencespace.nl/article/view.do?supportId=3121>**

Het omgekeerde is ook mogelijk. Door een spoel te laten ronddraaien in een magnetisch veld kan elektrische stroom worden opgewekt. Aangezien bij het uitbollen en het remmen met een elektrische wagen de motor, en dus ook de spoel, blijft draaien, kan elektrische energie terug worden opgeslagen in de batterij.²⁴ Dit is ook gekend als het regeneratief remmen. Alvorens een elektrische wagen kan rijden is er meer vereist dan enkel een stroombron en een elektromotor. Zoals bij iedere wagen dient er eveneens een transmissie en een overbrenging op de wielen aanwezig te zijn.²⁵ Hier wordt echter niet op ingegaan, vermits het geen meerwaarde biedt aan de masterproef. Vervolgens wordt de werking van de twee verbrandingsmotoren en de hybride wagen besproken.

²² Science Space, 2010, *Werking van de elektromotor*. Opgevraagd op 15 oktober, 2011.
<http://www.sciencespace.nl/article/view.do?supportId=3121>

²³ Giancoli, D. C., 1999, *Natuurkunde voor Wetenschap en Techniek*, Elektrostatica en Magnetisme (M. van Vreumingen, Vertaling). Schoonhoven: Academic Service. (Oorspronkelijk verschenen in het Engels in 1993): p244.

²⁴ Febiac, 2011, *Elektrische voertuigen*, Brussel: p9. Opgevraagd op 10 oktober, 2011.
http://www.febiac.be/documents_febiac/publications/2010/infospecialnllr.pdf

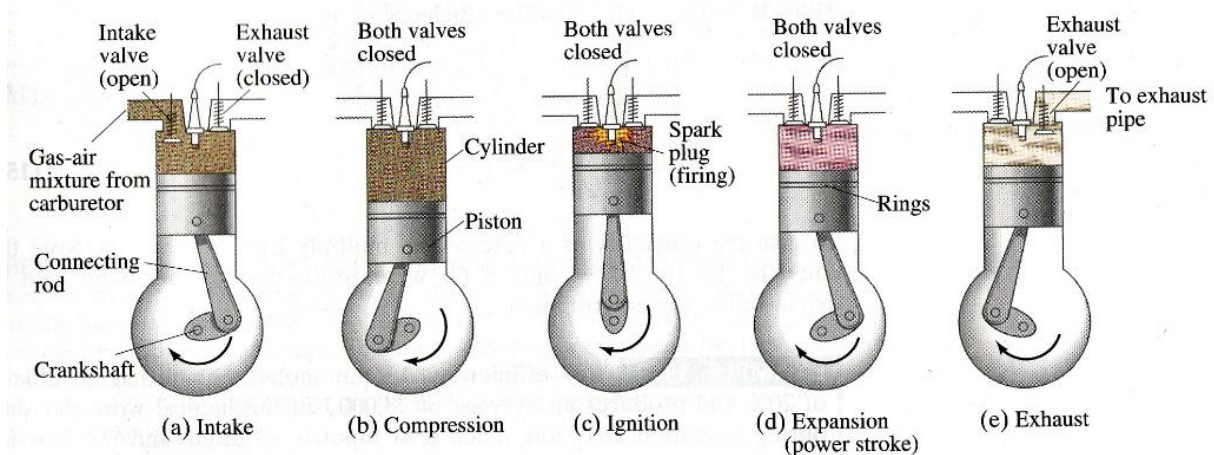
²⁵ Energie- & milieu-informatiesysteem voor het Vlaams Gewest, 2009. Opgevraagd op 17 oktober, 2011.
<http://www.emis.vito.be/mvv-elektromotor-batterij>

2.1.2 De vonkontstekingsmotor

De vonkontstekingsmotor maakt gebruik van de warmte die vrijkomt bij de verbranding van een bepaalde brandstof. Voor deze motor betreft het dan voornamelijk de brandstof benzine. Meer bepaald wordt de thermische energie, die vrijkomt door de verbranding, omgezet in mechanische energie. Het werkingsprincipe van de vonkontstekingsmotor verloopt in vier stappen en wordt in figuur 2.5 getoond. De eerste stap is de aanzuigslag waarbij een mengsel van lucht en brandstof in de cilinder wordt gezogen (a). In de tweede stap wordt dit mengsel samengeperst door de compressieslag (b) en tegelijkertijd wordt het tot ontbranding gebracht met behulp van een vonk uit de ontstekingskaars (c). Dit laatste gaat gepaard met een ontploffing van het brandstofmengsel waardoor er een volume-expansie ontstaat. Deze zorgt op zijn beurt voor de derde stap, namelijk de arbeidsslag (d). De laatste stap is de uitlaatslag waarbij het verbrande mengsel uit de cilinder wordt verwijderd (e). Nadat de vier stappen zijn doorlopen kan het proces van vooraf aan opnieuw beginnen.^{26, 27}

Wel dient te worden opgemerkt dat er veel energie verloren gaat aan warmte bij een verbrandingsmotor. In theorie kunnen dergelijke motoren maximaal veertig procent van hun brandstofenergie omzetten in mechanische energie. In praktijk blijkt dit cijfer echter nog lager te liggen.²⁸ In vergelijking met de elektromotor gaat er dus veel meer energie verloren aan warmte en bijgevolg is de vonkontstekingsmotor minder efficiënt.

Figuur 2.5: Werking van een vonkontstekingsmotor



Bron: Giancoli, D. C., 2005, *Physics, Principles with applications*, New Jersey, Pearson Education: p417.

²⁶ Energie- & milieu-informatiesysteem voor het Vlaams Gewest, 2009. Opgevraagd op 16 oktober, 2011. <http://www.emis.vito.be/mvv-benzinemotor>

²⁷ Giancoli, D. C., 2005, *Physics, Principles with applications*, New Jersey, Pearson Education: p416-417.

²⁸ Febiac, 2011, *Elektrische voertuigen*, Brussel: p8. Opgevraagd op 10 oktober, 2011. http://www.febiac.be/documents_febiac/publications/2010/infospecialnllr.pdf

2.1.3 De compressieontstekingsmotor

De compressieontstekingsmotor, beter bekend als de dieselmotor, werkt praktisch gezien op dezelfde wijze als een vonkontstekingsmotor. Het enige verschil houdt in dat de ontbranding van het mengsel (lucht en brandstof) niet op basis van een ontstekingskaars gebeurt, maar wel door middel van compressie. De temperatuur in de verbrandingskamer loopt immers behoorlijk hoog op waardoor de ontsteking spontaan optreedt bij de compressieslag. Bij het starten van een dieselwagen is de motorcilinder echter nog niet voldoende warm om een spontane ontbranding te genereren. Vandaar dat de verbrandingskamer wordt voorverwarmd bij het starten. Dit is niet van toepassing bij een benzinemotor vermits de ontsteking wordt gegeven door een vonk uit de ontstekingskaars.²⁹ Aangezien de dieselmotor behoort tot de categorie van de verbrandingsmotoren, bedraagt de efficiëntie ervan eveneens maximaal veertig procent.

2.1.4 De hybride

Een hybride voertuig is een combinatie van zowel een elektrisch als een conventioneel aangedreven wagen. Anders gesteld wordt een hybride wagen naast de elektromotor ook door een benzine- of dieselmotor aangedreven. De hybride wagen is verkrijgbaar in twee hoofdvormen, met name de serie- en de parallelhybride. Het verschil tussen beide wordt geïllustreerd in figuur 2.6. Bij een seriehybride wordt de energie voor het rijden enkel geleverd door elektriciteit. De conventionele motor zorgt met andere woorden uitsluitend voor het opwekken van stroom. Deze kan rechtstreeks worden aangewend voor de aandrijving van de elektromotor of kan worden opgeslagen in een batterij. Een dergelijke hybride wordt ook vaak een *extended range* elektrisch voertuig genoemd.³⁰ De parallelhybride daarentegen beschikt over twee transmissiesystemen. Zowel een conventionele als een elektrische motor zorgen voor de aandrijving van de wagen. Op basis van de rijomstandigheden zal een computerprocessor beslissen welke motor of combinatie van de motoren het meest efficiënt is. Bij lage snelheden zal enkel de elektromotor worden aangewend. Hogere snelheden daarentegen vereisen meer energie waardoor de conventionele motor bijkomend in werking treedt. Ingeval de batterij leeg is, kan men nog altijd voortrijden, weliswaar enkel op basis van de benzine- of dieselmotor. De parallelhybride is niet in staat de batterij op te laden met behulp van de conventionele motor en bijgevolg moet deze worden opgeladen via het elektriciteitsnet. Een dergelijke hybride noemt men de *plug-in* hybride. Wel dient aandacht te worden gevestigd op het feit dat de meeste hybride wagens gebruikmaken van het regeneratief remmen, waarbij energie kan worden opgeslagen in de batterij bij het remmen en het uitbollen.³¹ Echter, er zal meer energie verbruikt worden dan er terug kan worden opgeslagen in de batterij. Daarnaast bestaat er ook een combinatie van de serie- en de parallelhybride. Zodoende

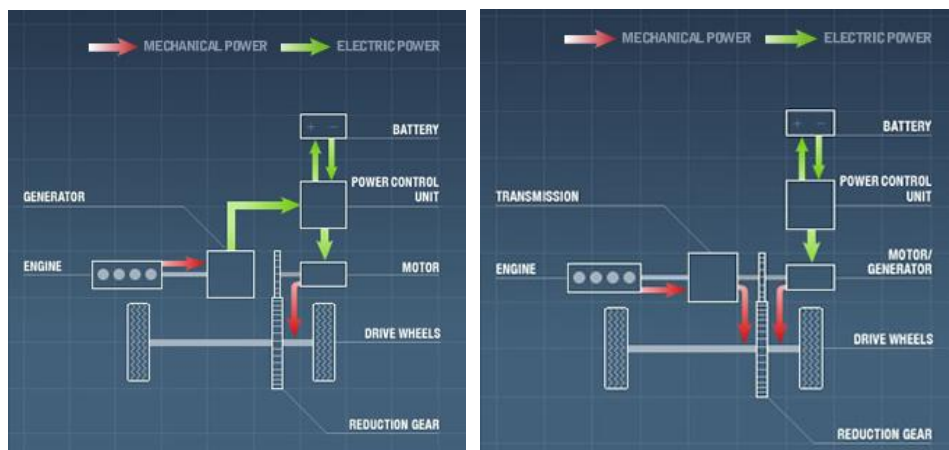
²⁹ Energie- & milieu-informatiesysteem voor het Vlaams Gewest, 2009. Opgevraagd op 16 oktober, 2011.
<http://www.emis.vito.be/mvv-dieselmotor>

³⁰ eNovates, 2011, *Voertuigen en aandrijvingen*. Opgevraagd op 19 oktober, 2011.
<http://www.enovates.com/index.php/nl/mnuemobility/mnutechnology>

³¹ Koninklijke Vlaamse Ingenieursvereniging (KVIV), 2009, *Remenergierecuperatie: een rem op het brandstofverbruik*: p1-2. Opgevraagd op 17 oktober, 2011.
<http://www.kviv.be/ingenieursprijzen/Laureatenartikels2010/Remenergierecuperatie%20een%20rem%20op%20het%20brandstofverbruik.pdf>

kan de conventionele motor enerzijds instaan voor de rechtstreekse aandrijving van de wagen en anderzijds voor het opwekken van elektriciteit. In dit laatste geval wordt de stroom opgeslagen in een batterij of verbruikt door de elektromotor voor de aandrijving van de wagen.^{32, 33} De efficiëntie waarmee de energie wordt omgezet bij de hybride wagen hangt af van de aandrijfcombinatie die wordt gebruikt. Tot slot dient te worden opgemerkt dat er zowel een *mild* als een *full hybrid* bestaat. Bij de milde hybride is de batterij alleen niet in staat de wagen voort te bewegen en heeft dus slechts een ondersteunende functie. Bijgevolg moet de conventionele motor altijd werken bij de milde hybride. Een volle hybride daarentegen beschikt over een krachtigere batterij en kan bij lagere snelheden enkel met behulp van deze batterij worden aangedreven.³⁴

Figuur 2.6: Serie- (links) en parallelhybride (rechts)



Bron: Toyota, 2011. Opgevraagd op 17 oktober, 2011.

http://www.toyota-global.com/innovation/environmental_technology/technology_file/

2.2 Energiebronnen

Voor de aandrijving van een wagen zijn er verschillende energiebronnen ter beschikking. Naast de conventionele brandstoffen, waaronder benzine en diesel, bestaan er nog tal van andere mogelijkheden voor de aandrijving van een wagen. Men moet echter naar verschillende kenmerken kijken om een onderscheid te maken tussen goede en minder goede energiebronnen. Een ideale energiebron voldoet aan volgende karakteristieken³⁵:

- een hoge energiedichtheid die duidt op een zo laag mogelijk gewicht van de energiebron in verhouding tot de hoeveelheid energie die kan worden opgeslagen
- makkelijk op te slaan en te transporteren

³² Energie- & milieu-informatiesysteem voor het Vlaams Gewest, 2009. Opgevraagd op 16 oktober, 2011.
<http://www.emis.vito.be/mvv-hybride>

³³ Toyota, 2011. Opgevraagd op 17 oktober, 2011.

http://www.toyota-global.com/innovation/environmental_technology/technology_file/

³⁴ Emery, J. D., 2009, Hybrid Vehicles: Separating Fact from Fiction. *Fire Engineering*, Vol. 162, p74. Opgevraagd op 18 oktober, 2011.

<http://web.ebscohost.com/bib-proxy.uhasselt.be/ehost/pdfviewer/pdfviewer?sid=342e412d-92b5-49a8-8e42-4be6088265ba%40sessionmgr104&vid=4&hid=127>

³⁵ King, J., 2007, *The King Review of low-carbon cars*, Part I: the potential for CO₂ reduction: p24. Opgevraagd op 12 oktober, 2011.

http://www.physics.harvard.edu/~wilson/energympm/2008_King_I.pdf

- stabiel over een breed interval van temperaturen
- onschadelijk voor de motor
- goedkoop om te produceren en te distribueren
- onuitputtelijk
- onschadelijk voor de luchtkwaliteit
- lage CO₂-uitstoot gedurende de levenscyclus (in de productie, de distributie en het gebruik)

In wat volgt worden de kenmerken van een aantal energiebronnen met elkaar vergeleken.

2.2.1 Benzine, diesel & biodiesel

Benzine en diesel vertonen veel gelijkenissen. Ze worden immers allebei gewonnen uit ruwe aardolie. Derhalve zijn ze niet hernieuwbaar. Bovendien beschikken ze over een hoge energiedichtheid, zijn ze niet schadelijk voor de motor en zijn ze beide makkelijk op te slaan en te transporteren. Tijdens de extractie, de distributie en het gebruik komt echter CO₂ vrij.³⁶ Hoewel een dieselmotor een lagere CO₂-uitstoot heeft dan een benzinemotor, kent hij wel een hogere emissie van fijn stof en stikstofoxiden (NO_x).³⁷ Deze laatste chemische verbinding heeft verschillende negatieve effecten, die in hoofdstuk vier verder worden uitgeklaard. De dieselmotor kan naast diesel gewonnen uit ruwe aardolie ook functioneren op basis van biodiesel. De meeste eigenschappen komen overeen met deze van gewone diesel. Toch zijn er ook enkele verschillen op te sommen. Ten eerste wordt biodiesel, in tegenstelling tot gewone diesel, vervaardigd uit hernieuwbare producten zoals plantaardige oliën (bijvoorbeeld koolzaadolie, zonnebloemolie, palmolie of sojaolie).³⁸ Ook ligt de energiedichtheid van biodiesel lager dan deze van gewone diesel.³⁹ Tot slot blijkt de uitstoot van stikstofoxiden hoger te zijn dan bij gewone diesel ondanks het feit dat er minder CO₂ en fijn stof vrijkomt bij de verbranding van biodiesel.⁴⁰ In tegenstelling tot gewone diesel beweert men dat de verbranding van biodiesel een CO₂-neutraal proces zou zijn indien deze gewonnen wordt uit plantaardige oliën (eerste generatie biodiesel). Bij de verbranding komt namelijk nog wel CO₂ vrij (weliswaar tot vijftig procent minder dan bij gewone diesel), maar wordt er enkel koolstofdioxide uitgestoten die voorheen werd opgenomen door planten. Echter, de productie van biodiesel uit planten vergt een scheidingsproces waarbij warmte is vereist. Dit proces gaat vaak gepaard met een uitstoot van CO₂ en is bovendien duurder dan de productie van gewone

³⁶ King, J., 2007, *The King Review of low-carbon cars*, Part I: the potential for CO₂ reduction: p25. Opgevraagd op 12 oktober, 2011.

http://www.physics.harvard.edu/~wilson/energypmp/2008_King_I.pdf

³⁷ Energie- & milieu-informatiesysteem voor het Vlaams Gewest, 2009. Opgevraagd op 16 oktober, 2011.

<http://www.emis.vito.be/mvv-emissies>

³⁸ Energie- & milieu-informatiesysteem voor het Vlaams Gewest, 2009. Opgevraagd op 16 oktober, 2011.

<http://www.emis.vito.be/mvv-biodiesel-dieselmotor>

³⁹ King, J., 2007, *The King Review of low-carbon cars*, Part I: the potential for CO₂ reduction: p26. Opgevraagd op 12 oktober, 2011.

http://www.physics.harvard.edu/~wilson/energypmp/2008_King_I.pdf

⁴⁰ McCormick, R. L., 2007, *The Impact of Biodiesel on Pollutant Emissions and Public Health*, National Renewable Energy Laboratory, USA, Colorado: p1034-1035. Opgevraagd op 20 oktober, 2011.

<http://web.ebscohost.com/bib-proxy.uhasselt.be/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=5&hid=123&sid=bfac5061-19d5-40b2-b4f9-561497c7c7b8%40sessionmgr110>

diesel. Bijgevolg is de totale levenscyclus van biodiesel niet volkomen CO₂-neutraal.⁴¹ Desondanks scoort biodiesel op vlak van CO₂-emissie relatief goed, al gaat de verbranding wel gepaard met een hoge uitstoot van stikstofoxiden die niet door de planten worden opgenomen. De tweede generatie biodiesel wordt gemaakt uit afvalproducten, waaronder frituurvet. Bij de verbranding van dit soort diesel kan de CO₂-uitstoot tot 95 procent lager zijn in vergelijking met gewone diesel. Hiertegenover staat dat er bij de productie van biodiesel uit afvalproducten wel koolstofdioxide kan vrijkomen.⁴² Een nadeel dat geldt voor beide soorten biodiesel, is dat ze onderdelen, vooral rubbers, van de wagen kunnen aantasten. Sommige wagens zijn reeds standaard aangepast voor het gebruik van biodiesel. Afhankelijk van het type wagen is er dus al dan niet een kleine aanpassing nodig om deze beschadiging te voorkomen. Na uitvoering van deze ingreep kan biodiesel worden gemengd met gewone diesel in alle verhoudingen, zonder enige aantasting.⁴³ Bovendien wordt er beweerd dat de productie van biobrandstoffen uit voedsel, waaronder biodiesel, invloed heeft op de voedselprijzen. Deze zullen stijgen bij een toename van de vraag naar dergelijke brandstoffen.⁴⁴

2.2.2 Aardgas & LPG

Terwijl benzine en diesel worden gewonnen uit ruwe olie, is aardgas een natuurlijk gas. Het behoeft met andere woorden geen verdere behandeling na de extractie. LPG, oftewel liquid petroleum gas, daarentegen wel. Deze brandstof wordt namelijk onttrokken uit aardgas of ruwe olie. Het zijn beide uitputbare gassen aangezien de verbranding ervan veel sneller gebeurt dan de natuurlijke vorming. Het werkingsprincipe van aardgas en LPG komt overeen met dat van benzine. Bijgevolg zijn de twee brandstoffen ook bruikbaar bij een vonkontstekingsmotor die werkt met behulp van een ontstekingskaars. Voertuigen zouden dus gebruik kunnen maken van enerzijds aardgas of LPG en anderzijds benzine. Wagens die deze methode toepassen worden *bi-fuel* of *dual-fuel* genoemd. Er wordt dan een tweede tank geïnstalleerd waarin aardgas of LPG onder verhoogde druk wordt opgeslagen. Eveneens wordt er een schakelaar aangebracht die het mogelijk maakt om op eender welk moment van aardgas of LPG over te schakelen naar benzine en omgekeerd.⁴⁵

In vergelijking met benzine en diesel, ligt de energiedichtheid van aardgas en LPG lager. Toch blijken aardgas en LPG op een bepaalde eigenschap beter te presteren dan de conventionele brandstoffen. Onderzoek wees immers uit dat de totale levenscyclus met betrekking tot de uitstoot

⁴¹ Milieu- en Natuurplanbureau (MNP), 2005, *Visie biobrandstoffen*: p5-6. Opgevraagd op 19 oktober, 2011.
<http://www.rivm.nl/bibliotheek/digitaaldepot/biobrandstof28092005metannex.pdf>

⁴² Duurzaam op weg, 2010, *Duurzame Mobiliteit: Biodiesel*. Opgevraagd op 20 oktober, 2011.
http://www.duurzaamopweg.nl/nc/home/facts-figures/facts-figures/?tx_damfrontend_pi1%5BshowUid%5D=1038&tx_damfrontend_pi1%5BbackPid%5D=1696

⁴³ Energie- & milieu-informatiesysteem voor het Vlaams Gewest, 2009. Opgevraagd op 16 oktober, 2011.
<http://www.emis.vito.be/mvv-biodiesel-dieselmotor>

⁴⁴ Reijnders, L., 2011, *Biobrandstoffen, klimaat en natuurlijke hulpbronnen*. Opgevraagd op 22 oktober, 2011.
<http://www.olino.org/articles/2009/05/04/biobrandstoffen>

⁴⁵ Energie- & milieu-informatiesysteem voor het Vlaams Gewest, 2009. Opgevraagd op 16 oktober, 2011.
<http://www.emis.vito.be/mvv-lpg-vonkontstekingsmotor>
<http://www.emis.vito.be/mvv-aardgas-vonkontstekingsmotor>

van CO₂ en fijn stof beperkt lager ligt. Op vlak van distributie zijn aardgas en LPG geschikte brandstoffen. De distributie van de gassen kan namelijk gebeuren op basis van het huidige gasnetwerk. Aangezien de gassen onder verhoogde druk moeten worden opgeslagen in de wagen, zullen vulstations noodzakelijk blijven.⁴⁶ Een nadeel is echter dat weinig autoconstructeurs dit soort aandrijving aanbieden op de markt zodat er na aankoop een aanpassing aan de wagen vereist is. Bovendien leidt het installeren van een tweede tank in de bagageruimte tot plaatsverlies. Zodoende wordt er van deze toepassing slechts beperkt gebruikgemaakt.

2.2.3 Alkoholen

Er bestaan twee alcoholen die als brandstof kunnen dienen, met name ethanol en methanol. Ethanol staat bekend als de drinkbare alcohol, methanol daarentegen is giftig. Beide alcoholen worden vaak gemengd met benzine. Ze zijn aldus geschikt voor een vonkontstekingsmotor. Wel is het belangrijk om hierbij op te merken dat het mengsel maximaal vijftien procent alcohol mag bevatten wanneer dit wordt gebruikt voor de aandrijving van een standaard benzinemotor. Nochtans bestaan er ook *fuel flexible vehicles* die alle mengvormen van benzine en alcohol aankunnen.⁴⁷

Door toevoeging van kleine hoeveelheden alcohol aan benzine gebeurt de verbranding vollediger en worden er bijgevolg minder schadelijke stoffen uitgestoten. Echter, een nadeel van de alcoholen is dat ze metalen, kunststoffen en smeermiddelen aantasten.⁴⁸ Bijkomend ligt de energiedichtheid van alcoholen enigszins lager dan bij de conventionele brandstoffen. Zoals biodiesel bestaat er ook bio-ethanol, die vooral uit suikerbieten en maïs wordt gewonnen.⁴⁹ Daarom wordt bij bio-ethanol eveneens beweerd dat het een CO₂-neutraal proces zou zijn. Er komt bij de verbranding immers enkel koolstofdioxide vrij die voordien door de planten werd opgenomen. Meestal wordt bio-ethanol toegevoegd aan benzine. De emissiereductie per voertuig is derhalve afhankelijk van de samenstelling van het mengsel. Indien dit voor vijf procent uit bio-ethanol bestaat, zal de netto CO₂-uitstoot van de wagen met evenveel procent dalen ten opzichte van benzine door het CO₂-neutrale karakter van de biobrandstof.⁵⁰ Echter, de uitstoot van stikstofoxiden bij bio-ethanol is hoger dan bij benzine, maar wel lager dan bij diesel.⁵¹ Ook hier wordt beweerd dat de productie

⁴⁶ King, J., 2007, *The King Review of low-carbon cars*, Part I: the potential for CO₂ reduction: p25 en 28. Opgevraagd op 12 oktober, 2011.

http://www.physics.harvard.edu/~wilson/energymp/2008_King_I.pdf

⁴⁷ Energie- & milieu-informatiesysteem voor het Vlaams Gewest, 2009. Opgevraagd op 16 oktober, 2011. <http://www.emis.vito.be/mvv-alcoholen>

⁴⁸ Energie- & milieu-informatiesysteem voor het Vlaams Gewest, 2009. Opgevraagd op 16 oktober, 2011. <http://www.emis.vito.be/mvv-alcoholen>

⁴⁹ King, J., 2007, *The King Review of low-carbon cars*, Part I: the potential for CO₂ reduction: p26. Opgevraagd op 12 oktober, 2011.

http://www.physics.harvard.edu/~wilson/energymp/2008_King_I.pdf

⁵⁰ Somerset plans trial of bioethanol vehicles, 2005, *Professional Engineering*, Vol. 18, p10. Opgevraagd op 22 oktober, 2011. <http://web.ebscohost.com/bib-proxy.uhasselt.be/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=5&hid=126&sid=175f7fc1-761b-4800-902b-ac193d36ec85%40sessionmgr110>

⁵¹ Fridley, D., 2010, *Biofuels & Ethanol: The Real Story*. Opgevraagd op 22 oktober, 2011. http://www.youtube.com/watch?v=DeVT7jMYZlo&feature=player_embedded#!

van bio-ethanol een negatief effect heeft op de voedselprijs aangezien het voortkomt uit voedingsproducten.⁵²

2.2.4 Waterstof

Waterstof (H_2) kan de aandrijving van een wagen op twee wijzen verzorgen. Enerzijds door gebruik te maken van een verbrandingsmotor. Echter, zelfontbranding is economisch gezien niet rendabel, vermits hiervoor een hoge temperatuur is vereist en men in dit geval een te hoge druk zou moeten creëren. Vandaar moet waterstof worden ontstoken door middel van een vonkontstekingsmotor. Waterstof heeft een zeer breed ontstekingsgebied in vergelijking met andere brandstoffen. Dit wil zeggen dat er verschillende verhoudingen tussen waterstof en lucht mogelijk zijn voor de verbranding van het mengsel. Bijgevolg moet een afweging worden gemaakt tussen een mager (relatief veel lucht en weinig waterstof) en een rijk (relatief weinig lucht en veel waterstof) mengsel. De verbranding van het mager mengsel verloopt vollediger dan de verbranding van een rijk mengsel, waardoor minder schadelijke stoffen vrijkomen. Dit gaat evenwel gepaard met een verlies aan vermogen. De vorming van stikstofoxiden is het hoogst bij een rijk mengsel, maar nog altijd zichtbaar lager dan bij een dieselmotor.

Anderzijds kan de aandrijving van een wagen op basis van waterstof ook gebeuren door gebruik te maken van een elektromotor. Waterstof kan immers elektriciteit opwekken met behulp van een brandstofcel. Dit proces wordt getoond in figuur 2.7. De brandstofcel is in staat elektriciteit te produceren door middel van elektrochemische reacties.⁵³ Het apparaat bestaat namelijk uit een positieve kathode en een negatieve anode. Deze elektroden worden gescheiden door een elektrolyt die zorgt voor het ladingtransport in de cel. Aan de anode worden waterstofmoleculen (H_2) toegevoegd. Deze moleculen worden gesplitst in waterstofionen (H^+) die zich verplaatsen doorheen de elektrolyt. Hierbij komen elektronen vrij die voortbewegen in een extern circuit waarbij ze de elektromotor kunnen voorzien van elektrische stroom. Nadat de elektronen doorheen het extern circuit zijn gevloeid, komen ze bij de kathode waar op hun beurt zuurstofmoleculen (O_2) worden gesplitst. Daarna wordt er water gevormd door de waterstofionen (H^+) aan de zuurstofionen (O^{2-}) te koppelen. Vervolgens verlaten de gevormde watermoleculen (H_2O) de brandstofcel.⁵⁴ Voorgaand proces is tegenovergesteld aan de elektrolyse van water, waarbij het water door middel van elektrische stroom wordt gesplitst in zuurstof en waterstof.⁵⁵

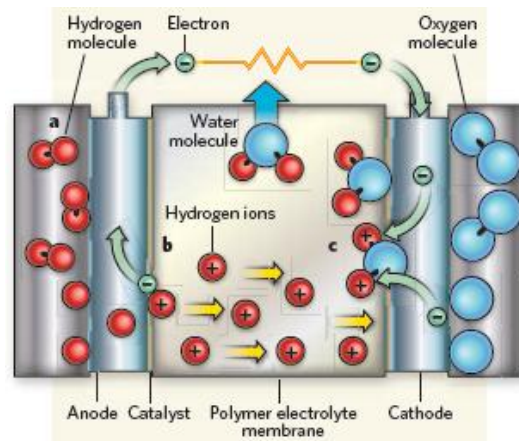
⁵² Reijnders, L., 2011, *Biobrandstoffen, klimaat en natuurlijke hulpbronnen*. Opgevraagd op 23 oktober, 2011. <http://www.olino.org/articles/2009/05/04/biobrandstoffen>

⁵³ Energie- & milieu-informatiesysteem voor het Vlaams Gewest, 2009. Opgevraagd op 17 oktober, 2011. <http://www.emis.vito.be/mvv-brandstofcelaandrijving>

⁵⁴ Schlapbach, L., 2009, Hydrogen-fuelled vehicles. *Nature*, Vol. 460, p809-810. Opgevraagd op 23 oktober, 2011. <http://web.ebscohost.com/bib-proxy.uhasselt.be/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=6&hid=123&sid=bfac5061-19d5-40b2-b4f9-561497c7c7b8%40sessionmgr110>

⁵⁵ Lessing, P. A., 2007, Materials for hydrogen generation via water electrolysis. *Journal of Materials Science*, Vol. 42, p3478. Opgevraagd op 23 oktober, 2011. <http://web.ebscohost.com/bib-proxy.uhasselt.be/ehost/pdfviewer/pdfviewer?sid=175f7fc1-761b-4800-902b-ac193d36ec85%40sessionmgr110&vid=13&hid=126>

Figuur 2.7: Werking brandstofcel



Bron: Schlapbach, L., 2009, Hydrogen-fuelled vehicles. *Nature*, Vol. 460, p810. Opgevraagd op 23 oktober, 2011.

<http://web.ebscohost.com/bib-proxy.uhasselt.be/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=6&hid=123&sid=bfac5061-19d5-40b2-b4f9-561497c7c7b8%40sessionmgr110>

Noch bij de brandstofcel noch bij de verbrandingsmotor wordt CO₂ en fijn stof geproduceerd. Toch betekent dit niet dat de totale levenscyclus van waterstof geen CO₂-uitstoot veroorzaakt. Waterstof komt immers niet voor in zijn natuurlijke vorm en moet dus kunstmatig worden aangemaakt. Afhankelijk van de manier waarop dit gebeurt zal de omvang van CO₂-uitstoot verschillend zijn. Het bekomen van waterstof met behulp van steenkool, aardgas of ruwe olie kost veel energie en gaat gepaard met emissies van CO₂. Wordt er evenwel gebruikgemaakt van hernieuwbare energiebronnen dan zal deze uitstoot nihil zijn.⁵⁶ Men kan bijvoorbeeld elektriciteit opgewekt door zonne- of windenergie gebruiken voor de elektrolyse van water.

Van zodra waterstof geproduceerd is, kan het op drie manieren worden opgeslagen, namelijk gasvormig, vloeibaar of in vaste vorm gebonden aan metaalhydriden. De vloeibare vorm heeft de hoogste energiedichtheid, maar de ontwikkeling en opslag hiervan heeft een hoge kostprijs.⁵⁷ Toch ligt de energiedichtheid van benzine en diesel nog altijd duidelijk hoger dan deze van waterstof, zelfs in zijn vloeibare vorm. Deze lage energiedichtheid zorgt ervoor dat de kosten van opslag en transport relatief hoog zijn, vermits beide onder zeer hoge druk of lage temperatuur moeten plaatsvinden. De huidige infrastructuur is hieraan niet aangepast.⁵⁸ Uit onderzoek blijkt dat er verspreid over Amerika 11.000 stations moeten komen voor het tanken van waterstof indien de brandstofcelwagen op grote schaal wordt ingevoerd. Dit zou gepaard gaan met een kostprijs van 35 miljard dollar.⁵⁹

⁵⁶ King, J., 2007, *The King Review of low-carbon cars*, Part I: the potential for CO₂ reduction: p25. Opgevraagd op 12 oktober, 2011.

http://www.physics.harvard.edu/~wilson/energymp/2008_King_I.pdf

⁵⁷ Energie- & milieu-informatiesysteem voor het Vlaams Gewest, 2009. Opgevraagd op 16 oktober, 2011.

<http://www.emis.vito.be/mvv-waterstof-vonkonstekingsmotor>

⁵⁸ King, J., 2007, *The King Review of low-carbon cars*, Part I: the potential for CO₂ reduction: p26. Opgevraagd op 12 oktober, 2011.

http://www.physics.harvard.edu/~wilson/energymp/2008_King_I.pdf

⁵⁹ Tollefson, J., 2010, Hydrogen vehicles: Fuel of the future?. *Nature*, Vol. 464, p1264. Opgevraagd op 20 oktober, 2011.

<http://web.ebscohost.com/bib-proxy.uhasselt.be/ehost/pdfviewer/pdfviewer?sid=4774a634-3f07-43be-93d1-e43862d061b3%40sessionmgr113&vid=7&hid=108>

2.2.5 Elektriciteit

Wat betreft het gebruik van elektriciteit komt men op dezelfde denkpiste terecht als deze bij waterstof. Het rijden met een elektrische wagen zorgt immers niet voor de uitstoot van CO₂ en fijn stof, maar het opwekken van de benodigde elektriciteit wel. Zeker indien dit gebeurt op basis van fossiele brandstoffen. Al kan de schadelijke uitstoot wel herleid worden tot een zeer laag niveau, op voorwaarde dat hernieuwbare energiebronnen worden aangewend. De distributie van elektriciteit vormt geen enkel probleem, daar het huidige elektriciteitsnet ter beschikking is. Een hinderpaal voor het gebruik van de elektrische wagen bevindt zich echter bij het opslaan van deze elektriciteit. De batterijen die hiervoor worden gebruikt, bezitten een nog lagere energiedichtheid dan waterstof. Met andere woorden, er zit meer energie in één kilogram waterstof dan in een batterij met eenzelfde gewicht. Het opladen van een elektrische wagen duurt bovendien ook veel langer dan een conventionele tankbeurt. Men staat momenteel dus voor de uitdaging om te zoeken naar een methode die elektriciteit snel en met een hoge energie-inhoud kan opslaan.⁶⁰

2.3 Energie-efficiënte combinatie van motor en energiebron

Uit voorgaande bespreking blijkt dat de ideale energiebron gewoonweg niet bestaat. Toch, bij het gebruik van waterstof of elektriciteit voor de aandrijving van de wagen, mits deze voortkomen uit hernieuwbare energiebronnen, wordt de uitstoot van schadelijke stoffen bijna tot nul herleid. Bovendien werkt de elektrische motor veel efficiënter dan de verbrandingsmotor. Dit nadeel van de verbrandingsmotor wordt slechts gedeeltelijk gecompenseerd door de lage energiedichtheid van waterstof en de nog lagere van batterijen in vergelijking met fossiele brandstoffen. Tevens kan de batterijwagen gemiddeld genomen slechts een kleine afstand overbruggen. Men zou er dan voor kunnen opteren zodanig veel batterijen in een wagen te steken teneinde langere trajecten af te leggen. Dit zou echter gepaard gaan met een hoger gewicht, plaatsverlies, een langere oplaadtijd en een hogere kostprijs. Tesla Motors komt midden 2012 uit met een nieuw model aangedreven op basis van batterijen waarvan de standaardactieradius 160 mijl (256 kilometer) bedraagt. Deze kan worden uitgebreid tot 300 mijl (480 kilometer) wat overeenkomt met een prijs van om en bij de 20.000 dollar. De totale kostprijs van de wagen inclusief batterijversterking komt neer op 70.000 dollar, wat voor vele mensen een te grote investering is.⁶¹ De brandstofcelwagen heeft momenteel wel een autonomie die ongeveer overeenkomt met die van conventionele voertuigen aangezien de energiedichtheid van waterstof groter is dan die van batterijen. In juni 2009 legde een brandstofcelwagen van Toyota een traject af van 533 kilometer en had nog waterstof in de tank. Na berekeningen bleek dat de wagen het 693 kilometer zou volhouden zonder bij te vullen.⁶²

⁶⁰ King, J., 2007, *The King Review of low-carbon cars*, Part I: the potential for CO₂ reduction: p25. Opgevraagd op 12 oktober, 2011.

http://www.physics.harvard.edu/~wilson/energypmp/2008_King_I.pdf

⁶¹ Tesla Motors, 2011. Opgevraagd op 17 oktober, 2011.

<http://www.teslamotors.com/models/features>

⁶² Tollefson, J., 2010, Hydrogen vehicles: Fuel of the future?. *Nature*, Vol. 464, p1263. Opgevraagd op 20 oktober, 2011.

<http://web.ebscohost.com.bib-proxy.uhasselt.be/ehost/pdfviewer/pdfviewer?sid=4774a634-3f07-43be-93d1-e43862d061b3%40sessionmgr113&vid=7&hid=108>

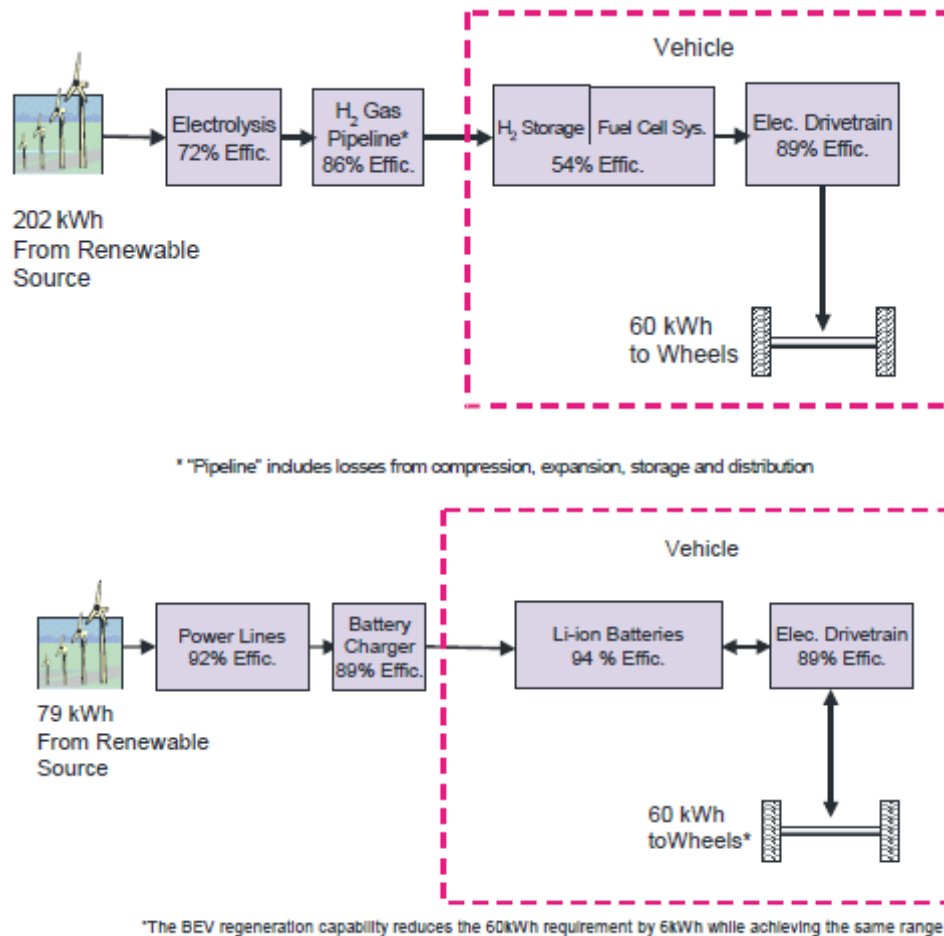
Op vlak van autonomie van de wagen helt het voordeel over naar de brandstofcel. Er moet echter rekening worden gehouden met het feit dat waterstof niet voorkomt in een natuurlijke vorm en bijgevolg artificieel moet worden aangemaakt. Indien er gebruik wordt gemaakt van hernieuwbare energiebronnen, kan men een efficiëntievergelijking opstellen van de waterstofcelwagen en de batterijwagen. Op deze manier kan het meest efficiënte wagentype worden afgeleid. De vergelijking tussen de twee wagens gebeurt door middel van het 'bron-tot-wiel pad'. Dit is de weg die de energie aflegt van de oorspronkelijke energiebron tot de aandrijving van de wielen. Hierin zitten componenten zoals omzetting, distributie en opslag van energie. Figuur 2.8 toont de verschillende stappen van het pad. Beide alternatieven maken gebruik van een elektromotor voor de aandrijving van de wagen die een vermogen van zestig kilowattuur op de wielen moet overbrengen. De vraag is nu hoeveel energie er moet worden opgewekt aan de bron om dit te realiseren.

Bij het gebruik van een brandstofcel moet de benodigde waterstof eerst worden geproduceerd door middel van elektrolyse waarvoor elektriciteit vereist is. Daarna wordt waterstof getransporteerd naar de consument en vervolgens opgeslagen in zijn wagen. Deze waterstof wordt gebruikt voor het opwekken van elektriciteit die wordt aangewend door de elektromotor. Bij ieder onderdeel van het pad gaat er energie verloren. De totale efficiëntie van het pad bedraagt minder dan 30 procent ($0,72 * 0,86 * 0,54 * 0,89 = 29,76\%$). Het overbrengen van een vermogen van 60 kilowattuur op de wielen vereist aldus een initieel vermogen van 202 kilowattuur vereist. Het gebruik van een batterij daarentegen veronderstelt dat 10 procent van het vermogen, dat moet terechtkomen bij de wielen, wordt gegenereerd door de wagen zelf. Dit vermogen wordt opgewekt tijdens het regeneratief remmen en wordt vervolgens opgeslagen in de batterij. In de figuur wordt dit aangegeven door de dubbele pijlen. Het komt erop neer dat slechts 54 in plaats van 60 kilowattuur op de wielen moet worden geleverd door de oorspronkelijke energiebron. Het pad van de batterijwagen vertrekt bij het opwekken van de elektriciteit die gedistribueerd wordt via het elektriciteitsnet. Daarna wordt deze elektriciteit door middel van een oplader opgeslagen in de batterij die op haar beurt de elektromotor van stroom voorziet. Het pad van de batterijwagen is veel efficiënter dan dat van de brandstofcelwagen. De efficiëntie bedraagt namelijk 68,5 procent ($0,92 * 0,89 * 0,94 * 0,89$). Bovendien kan een dergelijke wagen een gedeelte van zijn energie zelf opwekken. Bijgevolg moet slechts 79 kilowattuur worden opgewekt door de oorspronkelijke energiebron. Samenvattend, de aandrijving van beide alternatieven gebeurt aan de hand van een identieke elektromotor waarvan de efficiëntie 89 procent bedraagt. Het grootste verschil zit in de opslag van energie. De batterij levert zijn opgeslagen energie namelijk 40 procent efficiënter dan een brandstofcel, waarbij maar liefst 46 procent aan energie verloren gaat. Een tweede aanzienlijk verschil, ter hoogte van 20 procent, is dat er veel energie verloren gaat bij de elektrolyse van water in vergelijking met de distributie van elektriciteit. Het efficiëntieverschil tussen de distributie van waterstof en de batterijoplader komt overeen met een verwaarloosbare 3 procent.⁶³

⁶³ Eaves, S., & Eaves, J., 2004, A cost comparison of fuel-cell and battery electric vehicles. *Journal of Power Sources*, Vol. 130, p209. Opgevraagd op 21 oktober, 2011.
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378775303012175>

Rekening houdend met de efficiëntie van het volledig afgelegde pad, lopend van de oorspronkelijke energiebron tot de aandrijving van de wielen, is het veel voordeliger gebruik te maken van batterijen in plaats van brandstofcellen. In zijn geheel moet er bij een batterijwagen immers zestig procent minder energie worden opgewekt dan bij een brandstofcelwagen. Op basis van het efficiëntste 'bron-tot-wiel pad' wordt de batterijwagen verkozen voor verdere bespreking in de masterproef.

Figuur 2.8: Efficiëntievergelijking: bron-tot-wiel pad van de brandstofcelwagen (boven) en de batterijwagen (onder)



Bron: Eaves, S., & Eaves, J., 2004, A cost comparison of fuel-cell and battery electric vehicles. *Journal of Power Sources*, Vol. 130, p209. Opgevraagd op 21 oktober, 2011. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378775303012175>

Hoofdstuk III: Huidige situatie omtrent de elektrische wagen

In het derde hoofdstuk wordt de huidige situatie omtrent de elektrische wagen geschetst. Allereerst wordt er gekeken naar de batterijtechnologie, aangezien dit een zeer belangrijk onderdeel van een elektrische wagen omvat. Daarnaast wordt het opladen van een elektrische wagen en het *Smart Grid* besproken. Dit laatste is een essentieel element voor een grootschalige introductie van de elektrische wagen. Tot slot worden de Europese doelstellingen met betrekking tot de elektrische wagen aangehaald. Ter vergelijking worden er doorheen het hoofdstuk eveneens een aantal voorbeelden omtrent de situaties in het buitenland gegeven.

3.1 Batterijtechnologie

Een succesvolle marktintroductie van de elektrische wagen is sterk afhankelijk van de huidige batterijtechnologie, aangezien de benodigde energie voor de aandrijving van een dergelijke wagen hierin wordt opgeslagen. In wat volgt worden daarom eerst de eigenschappen waaraan een goede batterij moet voldoen aangehaald. Daarna wordt er een overzicht gegeven van verschillende soorten batterijen met hun toepasbaarheid in de elektrische wagen. Nadien wordt de problematiek rond de hoge kostprijs van de batterijen besproken. Vervolgens wordt de milieu-impact van de batterijen nader toegelicht. Tot slot wordt de huidige situatie met betrekking tot de batterijtechnologie in Vlaanderen bekeken.

3.1.1 Eigenschappen van een goede batterij

Het is van groot belang over een goede batterij te beschikken vanuit twee perspectieven. Enerzijds behoeft de wagen een aanvaardbare autonomie te hebben. Anderzijds moet de elektrische wagen de rijprestaties van de conventionele voertuigen kunnen benaderen. Kortom, batterijen moeten zowel over een hoge energie- als een hoge vermogensdichtheid beschikken. De energiedichtheid (uitgedrukt in Wh/kg) duidt op de hoeveelheid energie die kan worden opgeslagen per volume-eenheid, terwijl de vermogensdichtheid (uitgedrukt in W/kg) het maximale vermogen van dezelfde volume-eenheid weergeeft. Uit onderzoek blijkt dat waarden van respectievelijk 150 Wh/kg en 300 W/kg aanvaardbaar zijn voor een elektrische wagen opdat het gewicht van de batterijen niet te hoog oploopt en de prestaties acceptabel zijn.⁶⁴ Nochtans moet er niet enkel naar de energie- en vermogensdichtheid worden gekeken. Er zijn immers meerdere factoren cruciaal voor een goede batterij. Veelal vermindert de initiële capaciteit van batterijen gedurende de levensloop vanwege het voortdurend op- en ontladen. Dit moet zo beperkt mogelijk blijven en bij voorkeur zelfs volledig worden geëlimineerd. Daarnaast moet een batterij toelaten dat ze op ieder ogenblik kan worden opgeladen zonder hierbij aan oorspronkelijke capaciteit te verliezen. Met andere woorden, het mag

⁶⁴ Kromer, M. A., & Heywood, J. B., 2007, *Electric Powertrains: Opportunities and Challenges in the U.S. Light-Duty Vehicle Fleet*, Massachusetts Institute of Technology: p46. Opgevraagd op 24 oktober, 2011. http://web.mit.edu/sloan-auto-lab/research/beforeh2/files/kromer_electric_powertrains.pdf

voor de batterij geen verschil uitmaken welk oplaadniveau ze heeft bij de start van het bijladen. Dit noemt men het al dan niet aanwezig zijn van een geheugeneffect. Vermits een elektrische wagen in aanraking komt met allerlei soorten weersomstandigheden, mag de geleverde prestatie bovendien niet afhankelijk zijn van de externe temperatuur. De prestatie mag echter ook niet afhangen van het oplaadniveau van de batterij en er mag geen zelfontlading plaatsvinden. Tot slot moet de oplaadtijd zo kort mogelijk zijn. Dit alles dient te worden samengebracht in een lichte en compacte batterij waarvan de prijs in verhouding is tot de geleverde kwaliteit.⁶⁵

3.1.2 Soorten batterijen in elektrische wagens

Het startpunt voor de verdere ontwikkeling van de batterij is de traditionele loodzuur variant geweest. Deze batterij is terug te vinden in de vorm van een startbatterij in iedere conventionele wagen. Vanwege de lage energie- (30 Wh/kg) en vermogensdichtheid (75 W/kg) is deze batterij niet geschikt voor de aandrijving van een elektrische wagen.⁶⁶ De lage dichtheden zouden er immers toe leiden dat het gewicht zeer hoog zou oplopen alvorens aanvaardbare rijprestaties zouden worden bereikt. De prijs voor een dergelijke batterij is daarentegen relatief laag.⁶⁷ Een tweede soort batterij maakte in de jaren negentig zijn intrede in de automobielsector, namelijk de nikkelcadmium (NiCd) batterij. Ondanks zijn matige energiedichtheid (45 Wh/kg) en relatief hoge vermogensdichtheid (200 W/kg) werd deze batterijtechnologie voor elektrische wagens niet verder ontwikkeld.^{68, 69} Aan dergelijke technologie zijn immers tal van nadelen verbonden. Zo treedt er zelfontlading op en kent de batterij een beperkte oplaadsnelheid. Bovendien is cadmium giftig en is de batterij gevoelig voor het geheugeneffect.⁷⁰ Een andere mogelijkheid voor energieopslag is de natriumnikkelchloride (ZEBRA) batterij. Deze wordt gekenmerkt door een lange levensverwachting en een relatief hoge energiedichtheid (90-120 Wh/kg).⁷¹ De vermogensdichtheid (150 W/kg) is echter beperkt waardoor deze batterij enkel haar toepassing kan vinden in zeer lichte voertuigen of in combinatie met een conventionele motor in de hybride wagen.⁷² Een vierde alternatief is de

⁶⁵ Hacker, F., Harthan, R., Matthes, F., & Zimmer, W., 2009, *Environmental impacts and impact on the electricity market of a large scale introduction of electric cars in Europe*, The European Topic Centre on Air and Climate Change: p11. Opgevraagd op 24 oktober, 2011.

http://www.emic-bg.org/files/ETCACC_TP_2009_4_electromobility.pdf

⁶⁶ Replace Direct, 2008, *Loodzuur batterijen*. Opgevraagd op 24 oktober, 2011.

<http://www.replacedirect.nl/batterij-technieken/loodzuur-batterijen.html>

⁶⁷ Zerauto, 2010, *Welke batterijen?*. Opgevraagd op 23 oktober, 2011.

<http://zerauto.nl/index.php?pid=228>

⁶⁸ Replace Direct, 2008, *Nikkel-Cadmium batterijen*. Opgevraagd op 23 oktober, 2011.

<http://www.replacedirect.nl/batterij-technieken/nikkel-cadmium-batterijen.html>

⁶⁹ Hacker, F., Harthan, R., Matthes, F., & Zimmer, W., 2009, *Environmental impacts and impact on the electricity market of a large scale introduction of electric cars in Europe*, The European Topic Centre on Air and Climate Change: p11-12. Opgevraagd op 24 oktober, 2011.

http://www.emic-bg.org/files/ETCACC_TP_2009_4_electromobility.pdf

⁷⁰ Bonnaure, P., 2009, *Quel avenir pour la voiture électrique?*. *Futuribles International*, Vol. 351, p29-40. Opgevraagd op 24 oktober, 2011.

http://www.futuribles-revue.com/index.php?option=com_article&access=standard&Itemid=129&url=/articles/futur/abs/2009/04/futur_351_29/futur_2009_351_29.html

⁷¹ Meridian International Research, 2005, *The Electric Vehicle Imperative: Market Analysis and Technology Assessment*: p104. Opgevraagd op 25 oktober, 2011.

http://www.meridian-int-res.com/Projects/Zebra_Pages.pdf

⁷² Kalhammer, F. R., Kopf, B. M., Swan, D. H., Roan, V.P., & Walsh, M. P., 2007, *Status and Prospects for Zero Emissions Vehicle Technology*, California Air Resources Board: p40-41. Opgevraagd op 25 oktober, 2011.

http://www.lifepo4.info/Battery_study/Batteries/zev_panel_report.pdf

nikkelmetaalhydride (NiMH) batterij. Deze heeft een hoge vermogensdichtheid (100-600 W/kg) in combinatie met een relatief hoge energiedichtheid (60-120 Wh/kg). Bovendien ondervindt deze batterij geen geheugeneffect en kan ze sneller worden opgeladen dan een NiCd batterij. Er zijn daarentegen ook nadelen aan dit soort batterijen verbonden. Ze hebben namelijk een beperkte levensloop en zijn eveneens gevoelig voor temperatuurschommelingen. Daarnaast treedt er ook een verlies op door zelfontlading.⁷³ Afgezien van de loodzuur batterij werken elk van voorgaande varianten op basis van nikkel, weliswaar in verschillende gewichtsverhoudingen. De grondstofkosten van dit materiaal zijn relatief hoog. Bijgevolg zullen de prijzen van dit soort batterijen aanzienlijk blijven, zelfs al verbetert de technologie hieromtrent.⁷⁴

Ondertussen zijn er aldus verschillende soorten batterijen de revue gepasseerd aangezien de technologie voortdurend blijft evolueren. Momenteel wordt de lithium-ion (Li-ion) batterij veelal geplaatst in elektrische wagens omwille van de hoge energie- (160 Wh/kg) en vermogensdichtheid. De vermogensdichtheid van een dergelijke batterij komt ongeveer overeen met deze van de NiMH batterij. Vanwege haar hoge energiedichtheid heeft een Li-ion batterij een lager gewicht in vergelijking met andere voorgangers.⁷⁵ De batterij heeft eveneens een lange levenstijd en een laag verlies aan zelfontlading. Bovendien treedt er bij een Li-ion batterij geen geheugeneffect op.⁷⁶ Echter, een nadeel van een dergelijke batterij is de hoge kostprijs. Deze bedraagt tegenwoordig tussen de 1.000 en 1.300 euro per kilowattuur aan capaciteit.⁷⁷ Zoals voorheen werd aangehaald, komt de gemiddelde actieradius van een elektrische wagen momenteel overeen met circa 150 kilometer.⁷⁸ Hiervoor hebben de meeste wagens een batterij met een capaciteit van 20 à 25 kilowattuur ter beschikking.⁷⁹ De kostprijs kan aldus gemakkelijk tot boven de 20.000 euro oplopen. Er bestaan ook wagens die over een grotere autonomie dan 150 kilometer beschikken met één oplaadbeurt. De Tesla Roadster is hiervan een voorbeeld. Deze wagen heeft een theoretisch bereik van 245 mijl (392 kilometer) en haalt zijn energie uit een Li-ion batterij. Deze batterij kan 56 kilowattuur aan energie opslaan en weegt 450 kilogram. De verwachte levensduur ervan bedraagt 160.000 kilometer. Aan de wagen is dan wel een prijskaartje van 99.000 euro verbonden.⁸⁰ Wie met andere woorden een grotere autonomie van de wagen wenst, moet een grotere batterij kopen, hetgeen dus gepaard gaat met zware investeringen.

⁷³ Kromer, M. A., & Heywood, J. B., 2007, *Electric Powertrains: Opportunities and Challenges in the U.S. Light-Duty Vehicle Fleet*, Massachusetts Institute of Technology: p34-36. Opgevraagd op 24 oktober, 2011.
http://web.mit.edu/sloan-auto-lab/research/beforeh2/files/kromer_electric_powertrains.pdf

⁷⁴ Hacker, F., Harthan, R., Matthes, F., & Zimmer, W., 2009, *Environmental impacts and impact on the electricity market of a large scale introduction of electric cars in Europe*, The European Topic Centre on Air and Climate Change: p12. Opgevraagd op 24 oktober, 2011.
http://www.emic-bg.org/files/ETCACC_TP_2009_4_electromobility.pdf

⁷⁵ Aifantis, K. E., Hackney, S. A., & Kumar R. V., 2010, *High Energy Density Lithium Batteries: Materials, Engineering, Applications*, Weinheim: Wiley-VCH: p72.

⁷⁶ Albrecht, A., Holyoak, N., Pudney, P., Raicu, R., Taylor, M., Zito, R., & Groves, J., 2009, *Technologies for Sustainable Vehicles*, University of South Australia: p41-43. Opgevraagd op 23 oktober, 2011.
<http://www.autocrc.com/files/File/ev-technologies.pdf>

⁷⁷ The Boston Consulting Group, 2010, *Batteries for Electric Cars: Challenges, Opportunities, and the Outlook to 2020*: p6. Opgevraagd op 24 oktober, 2011.
<http://www.bcg.com/documents/file36615.pdf>

⁷⁸ Febiac, 2011, *Elektrische voertuigen*, Brussel: p8. Opgevraagd op 10 oktober, 2011.
http://www.febiac.be/documents_febiac/publications/2010/infospecialnllr.pdf

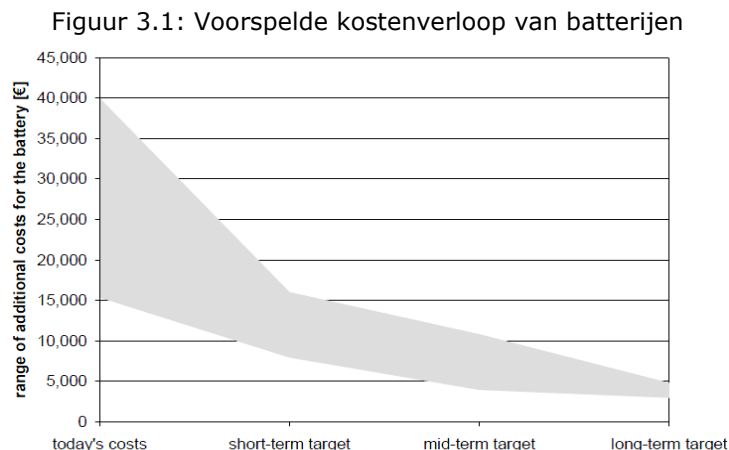
⁷⁹ Van Leeuwen, W., 2011, *Veel gestelde vragen*. Opgevraagd op 24 oktober, 2011.
<http://www.vanleeuwenoplaad.nl/veel-gestelde-vragen>

⁸⁰ Tesla Motors, 2011. Opgevraagd op 24 oktober, 2011.
<http://www.teslamotors.com/roadster/specs>

De laatste ontwikkeling op vlak van energieopslag is de lithium-lucht batterij. Tichy (2011) beweert dat de energiedichtheid van deze batterij vijf tot tien keer hoger is dan bij de traditionele Li-ion batterij. Voorlopig worden nog veel tests uitgevoerd omtrent deze nieuwe techniek en wordt dit nieuwe type van batterij bijgevolg nog niet in elektrische wagens geïnstalleerd.⁸¹

3.1.3 Kosten van batterijen

De prijzen van de batterijen zijn tegenwoordig zeer hoog en dus van sterke invloed op de totale kostprijs van de elektrische wagen. Zij bepalen met andere woorden de kosteneffectiviteit van dergelijke wagens. Afhankelijk van de gebruikte technologie liggen de huidige kosten voor een batterij met een gemiddelde capaciteit volgens de literatuur tussen 15.000 euro (laag) en 40.000 euro (hoog). Op voorwaarde dat de technologie blijft evolueren kunnen de prijzen worden teruggeschoefd. Bovendien zal een grootschalige introductie van de elektrische wagen de productie van batterijen doen stijgen. Dit zal schaalvoordelen met zich meebrengen die op hun beurt de prijzen kunnen drukken. In figuur 3.1 wordt het voorspelde kostenverloop van batterijen geïllustreerd. Verwacht wordt dat de kosten op lange termijn, namelijk rond 2050, kunnen worden teruggebracht tot onder de 5.000 euro per batterij. Om dit te realiseren is het vooral van belang dat er nieuwe technieken op de markt komen, want men vreest dat deze kostprijs niet haalbaar is op basis van de lithium-ion technologie. In onderstaande figuur situeren de korte en middellange termijn zich tussen nu en 2050, maar worden niet gespecificeerd in jaren. Wanneer deze termijnen zich precies voordoen, zal aldus afhankelijk zijn van de verdere ontwikkelingen van de batterijtechnologieën.⁸²



**Bron: Hacker, F., Harthan, R., Matthes, F., & Zimmer, W., 2009, *Environmental impacts and impact on the electricity market of a large scale introduction of electric cars in Europe*, The European Topic Centre on Air and Climate Change: p41. Opgevraagd op 24 oktober, 2011.
[http://acm.eionet.europa.eu/reports/ETCACC TP 2009 4 electromobility](http://acm.eionet.europa.eu/reports/ETCACC_TP_2009_4_electromobility)**

⁸¹ Tichy, R. S., 2011, Electric Cars Look To Li-Air Batteries For Exponentially Better Range. *Electronic Design*, Vol. 59, p18. Opgevraagd op 25 oktober, 2011.

<http://web.ebscohost.com/bib-proxy.uhasselt.be/ehost/pdfviewer/pdfviewer?sid=102dcfee-77ae-46ee-9932-cb74a694db5b%40sessionmgr115&vid=4&hid=111>

⁸² Hacker, F., Harthan, R., Matthes, F., & Zimmer, W., 2009, *Environmental impacts and impact on the electricity market of a large scale introduction of electric cars in Europe*, The European Topic Centre on Air and Climate Change: p17-21. Opgevraagd op 24 oktober, 2011.

[http://www.emic-bq.org/files/ETCACC TP 2009 4 electromobility.pdf](http://www.emic-bq.org/files/ETCACC_TP_2009_4_electromobility.pdf)

3.1.4 Milieu-impact van batterijen

De overstap van de conventionele naar de elektrische wagen zal resulteren in een minder grote afhankelijkheid van fossiele brandstoffen. Dit brengt wel met zich mee dat we afhankelijker worden van andere materialen. Althans bij het productieproces van batterijen is er een grote vraag naar lithium. Momenteel heeft de productie van de lithium-ion batterijen weinig impact op het milieu, aangezien de winning van de grondstof op een milieuvriendelijke wijze kan gebeuren. Een grote hoeveelheid lithium komt immers voor aan het aardoppervlak en kan zo makkelijk worden opgehaald. Bovendien kunnen Li-ion batterijen gerecycleerd worden. De grote batterij zal aldus geen hinderpaal vormen in de recyclage van de elektrische wagen. In België wordt namelijk meer dan 85 procent van oude wagens opnieuw gebruikt of gerecycleerd. Bij de elektrische wagen zal dit eveneens het geval zijn doordat batterijen voor meer dan negentig procent gerecycleerd kunnen worden.⁸³ Er werd reeds aangehaald dat de oorspronkelijke capaciteit van een batterij vermindert naarmate ze meer wordt gebruikt. Op een bepaald ogenblik zal ze vervangen moeten worden door een nieuwe. Dit wil niet zeggen dat de gewisselde batterij waardeloos is. Ze heeft nog een restwaarde. Zo kan ze bijvoorbeeld gebruikt worden voor de tijdelijke opslag van overtollige stroom die zich op het elektriciteitsnet bevindt. Bij piekvragen naar elektriciteit kan de batterij de opgeslagen stroom teruggeven aan het net. Indien de batterij voor dit doel zelfs niet meer rendabel is, kan ze worden gerecycleerd. De componenten die worden teruggewonnen door te recyclen zijn waardevol aangezien ze worden hergebruikt voor het produceren van nieuwe batterijen. Er is dus een financiële prikkel om te recyclen.⁸⁴ Het bedrijf Umicore heeft een vestiging in België, meer bepaald in Hoboken, waar Li-ion en NiMH batterijen worden gerecycleerd. De metalen en waardevolle materialen van de batterijen worden gerecycleerd en gaan terug naar de industrie in de vorm van grondstoffen voor de productie van nieuwe batterijen.⁸⁵

In Europa is er sinds 2006 een richtlijn, namelijk 2006/66/EG, van kracht voor de recyclage van batterijen. Deze heeft tot doel te beperken dat er zware metalen en toxische materialen in het milieu terechtkomen. Niet enkel bevat deze richtlijn informatie met betrekking tot ophaling en recyclage, ook worden er voor bepaalde stoffen proportionele grenswaarden opgegeven waaraan een batterij moet voldoen. Voor batterijen die geen giftige stoffen of zware metalen bevatten, zoals de lithium-ion variant, geldt er eveneens een regeling, weliswaar minder streng.⁸⁶

Ter vergelijking, in Amerika bestaat er geen uniforme wet die het gebruik van lithium-ion batterijen reguleert. In een aantal staten zijn er wel specifieke wetten, maar bij de meerderheid ontbreekt hieromtrent een strikte regelgeving.⁸⁷ Immers, vaak mogen de lithium-ion batterijen samen met

⁸³ Umicore, 2008, *Umicore Recycling & Recovery Yields and Rates*. Opgevraagd op 8 november, 2011.

<http://www.batteryrecycling.umicore.com/batteryRecycling/batteryRecyclingYieldsRates.htm>

⁸⁴ Febiac, 2011, *Elektrische voertuigen*, Brussel: p12-13. Opgevraagd op 10 oktober, 2011.

http://www.febiac.be/documents_febiac/publications/2010/infospecialnllr.pdf

⁸⁵ Umicore, 2008. Opgevraagd op 26 oktober, 2011.

<http://www.batteryrecycling.umicore.com/UmicoreProces/>

⁸⁶ De Openbare Vlaamse Afvalstoffenmaatschappij (OVAM), 2006, *Batterijrichtlijn*. Opgevraagd op 27 oktober, 2011.

<http://www.ovam.be/jahia/Jahia/pid/2072>

⁸⁷ BiPOWER corporation, 2011. Opgevraagd op 26 oktober, 2011.

<http://www.bipowerusa.com/documents/disposal.asp>

het gewone huisvuil worden weggegooid vermits ze geen zware metalen of toxische materialen bevatten. Tesla Motors heeft echter een strategie ontworpen om zestig procent van een afgedankte batterij te recyclen. Indien het gebruik van de batterijen stijgt door een toename van het aantal elektrische wagens, is het volgens Tesla Motors mogelijk verdere stappen te ondernemen in het proces zodat meer dan negentig procent per afgedankte batterij kan worden gerecycleerd.⁸⁸

Zelfs al wordt er gerecycleerd, de behoefte naar lithium zal sterk stijgen indien er meer elektrische voertuigen worden geproduceerd. We kunnen ons nu afvragen hoeveel voorraad er werkelijk ter beschikking is en hoelang men aldus kan doorgaan met de ontginning van lithium. Volgens een studie van het Duitse Fraunhofer-instituut is de voorraad ervan zeker voldoende tot 2050. Indien tegen die tijd het voertuigenpark voor 85 procent uit elektrische wagens zou bestaan, zou de helft van de globale voorraad wel reeds zijn opgebruikt. Hierbij gaat het onderzoek uit van het feit dat er nieuwe technieken zullen worden ontdekt voor het delven van lithium, want met de huidige methodes kan slechts twintig procent van de totale voorraad worden gewonnen. Momenteel kan men lithium immers gewoon van het aardoppervlak afschrappen in de Andes in Bolivia. In dit gebied bevindt zich naar schatting ongeveer de helft van de globale lithiumvoorraad.⁸⁹ Tevens rekent het onderzoek erop dat 25 procent van de benodigde grondstoffen voortkomen uit recycling.⁹⁰

3.1.5 Situatie in Vlaanderen omtrent batterijproductie

Momenteel worden in Vlaanderen geen lithium-ion batterijen geproduceerd. Het grootste deel van de productie vindt plaats op Aziatisch grondgebied. Dit continent staat namelijk in voor 95 procent van de productie van dergelijke batterijen. Indien er zich een grootschalige introductie van de elektrische wagen voordoet, zal het economisch gezien niet rendabel zijn om het merendeel van de batterijen te importeren vanuit Azië. Het gewicht van batterijen kan immers zeer hoog oplopen waardoor de transportkosten aanzwellen. Een mogelijke oplossing bestaat erin de batterijen in Vlaanderen te produceren, vermits de ligging centraal is en er zich een mogelijke afzetmarkt op eigen bodem bevindt. Immers, er zijn een aantal autoproducenten, zoals Ford, Audi en Volvo, die hun productieafdeling hier hebben gevestigd. Om op gelijke voet te komen met de Aziatische landen zal er echter overheidssteun vereist zijn, aangezien België een tamelijk grote achterstand heeft opgelopen in de ontwikkeling van batterijen. Bovendien ondersteunt de Koreaanse overheid de komende tien jaar een onderzoeksproject met betrekking tot innovatie op vlak van batterijen. Ook Japan stimuleert de auto- en batterijproducenten en subsidieert één derde van de totale investeringen omtrent elektrische wagens.⁹¹

⁸⁸ Tesla Motors, 2011. Opgevraagd op 27 oktober, 2011.
<http://www.teslamotors.com/roadster/technology/battery>

⁸⁹ Agentschap Nederland: Ministerie van Economische Zaken, Landbouw en Innovatie, 2011, *Bolivia: Nederlandse hulp nodig voor Boliviaans lithium*. Opgevraagd op 1 november, 2011.
<http://www.agentschapnl.nl/nieuws/bolivia-nederlandse-hulp-nodig-voor-boliviaans-lithium>

⁹⁰ Mobimix: platform ecologisch vlootbeheer, 2011, *Voldoende lithium tot 2050 volgens Duits onderzoek*. Opgevraagd op 29 oktober, 2011.
<http://www.mobimix.be/inhoud/2010/1/21/1315>

⁹¹ Vlaams Parlement, 2011, stuk 444 Nr. 2: *Voorstel van resolutie betreffende de bevordering van elektrische voertuigen die rijden op groene stroom in Vlaanderen*: p4-6. Opgevraagd op 29 oktober, 2011.
<http://docs.vlaamsparlement.be/docs/stukken/2009-2010/q444-2.pdf>

3.2 Opladen

Zoals een conventionele wagen moet worden getankt, dient een elektrisch voertuig te worden opgeladen. Dit duurt aanzienlijk langer dan een tankbeurt en bovendien heeft de conventionele wagen vaak een reikwijdte tot vijf keer groter dan deze van zijn elektrische tegenhanger, dewelke op het ogenblik ook nog een hogere kostprijs kent. Door deze nadelen van de elektrische wagen zullen consumenten minder snel geneigd zijn om zich een dergelijke wagen aan te schaffen, ondanks het feit dat bijna alle verplaatsingen, namelijk 98 procent, zich onder de honderd kilometer bevinden.⁹² Deze afstanden zijn thans gemakkelijk te overbruggen met een elektrische wagen vermits de gemiddelde autonomie ervan, zoals reeds werd aangehaald, 150 kilometer bedraagt. Uit voorgaande kan worden afgeleid dat er bij de aankoop van een voertuig nog altijd sterk wordt gekeken naar de prijs en de maximale reikwijdte in plaats van naar de schadelijke uitstoot van CO₂ en fijn stof. Toch zal naar schatting vijftien procent van de nieuw verkochte wagens in België tegen 2020 elektrisch zijn volgens, Blue Corner, de uitbater van een oplaadnetwerk.⁹³ De overheid zal uiteraard maatregelen moeten nemen om dit te realiseren. In hoofdstuk vijf wordt uitgebreid ingegaan op de belastingvermindering, die de overheid verleent ter ondersteuning van de elektrische wagen, en de kosten die hiermee gepaard gaan.

De uitbreiding van het elektrisch wagenpark zal tot gevolg hebben dat de infrastructuur een grote aanpassing moet ondergaan. Zo dienen er voldoende oplaadpunten en -methoden te worden voorzien, zodanig dat eigenaars van een elektrische wagen zich overal kunnen begeven. Hierbij is het van belang dat de tijdspanne van het opladen zo kort mogelijk wordt gehouden. Het is immers niet de bedoeling dat, wanneer men ergens aankomt, de batterij eerst acht uur moet opladen vooraleer men terug kan vertrekken. Het elektriciteitsnet hoort eveneens in te spelen op de stijging van de vraag naar de benodigde stroom voor de aandrijving van de wagens. Dit zal een ontwikkeling van een *Smart Grid* vereisen.⁹⁴

Het opladen van een elektrische wagen kan op meerdere manieren. Een eerste onderscheid kan gemaakt worden tussen een conductieve en inductieve lading. Bij een conductieve lading is er voortdurend contact tussen de batterij en het elektriciteitsnet door middel van geleidende materialen, zoals kabels en stopcontacten. Dit soort lading gebeurt veelal met behulp van oplaadpalen. Daartegenover staat de inductieve lading. Deze verloopt niet op basis van een geleidend pad, maar wel op een elektromagnetische wijze via een tweedelige transformator.⁹⁵ Dit komt erop neer dat de wagen niet rechtstreeks verbonden is met het elektriciteitsnet, maar dat er

⁹² Bond Beter Leefmilieu, 2010, *Uitdaging voor elektrische mobiliteit*, Brussel: p27. Opgevraagd op 30 oktober, 2011.

http://www.bondbeterleefmilieu.be/downloads_ftp/beleid/100909_elektrisch_mobiel_2020_rapport.pdf

⁹³ Energie- & milieu-informatiesysteem voor het Vlaams Gewest, 2010, *eNovates start de productie van Smart Grid-laadsystemen voor elektrische wagens*. Opgevraagd op 30 oktober, 2011.

<http://www.emis.vito.be/nieuwsbericht/enovates-start-de-productie-van-smart-grid-laadsystemen-voor-elektrische-wagens>

⁹⁴ Vlaams Parlement, 2011, stuk 444 Nr. 2: *Voorstel van resolutie betreffende de bevordering van elektrische voertuigen die rijden op groene stroom in Vlaanderen*: p10. Opgevraagd op 29 oktober, 2011.

<http://docs.vlaamsparlament.be/docs/stukken/2009-2010/q444-2.pdf>

⁹⁵ Vrije Universiteit Brussel, 2007, *Veel gestelde vragen over schone voertuigen*, Vakgroep ETEC, Elsene. Opgevraagd op 29 oktober, 2011.

<http://etec.vub.ac.be/faq.php#101>

toch draadloos stroom kan worden overgedragen via magnetische velden. Verder kan men ook door middel van een batterijwissel over een opgeladen batterij beschikken. Tot slot kan regeneratief remmen bijdragen tot het opladen van de batterij. Deze techniek behoort niet volledig onder de categorie van het opladen aangezien dit niet verloopt via het elektriciteitsnet, maar de wagen zelf instaat voor het opladen van de batterij.

Alvorens dieper in te gaan op de verschillende mogelijkheden voor het opladen van de batterijen, zal eerst de laadcyclus van een batterij worden aangehaald. In het daaropvolgende gedeelte wordt een uitgebreidere uiteenzetting van de conductielading, de inductielading, de batterijwissel en het regeneratief remmen gegeven. Hierna wordt de toepassing van een *Smart Grid* aangehaald.

3.2.1 De laadcyclus van een batterij

De lithium-ion batterij is momenteel de meest gebruikte energiebron voor de elektrische wagen. De laadcyclus van deze batterij kan worden opgesplitst in drie fasen en is afhankelijk van de laadsnelheid die wordt toegepast. Bij een hoge oplaadsnelheid, waarvoor een groot vermogen vereist is, neemt het opladen van de eerste tachtig procent van de batterij slechts één derde van de tijd in beslag. In deze eerste fase kan immers het volledig beschikbare vermogen worden aangewend. De andere twintig procent eist twee derde van de totale tijd op. Hierbij wordt in de tweede fase, namelijk de volgende negentien procent, gecontroleerd opgeladen, aangezien de temperatuur in de batterij zeer sterk oploopt bij hoge oplaadsnelheden. Bijgevolg moet er een speciaal laadsysteem worden geplaatst in de wagen, dat de laadsnelheid beheerst. Het opladen van het laatste procent wordt tevens door deze lader gecontroleerd. Tijdens de laatste fase gebeurt het opladen door middel van zeer trage druppellading in vergelijking met de eerste tachtig procent. Bij lagere beschikbare vermogens daarentegen zijn de relatieve tijdsverschillen tussen de drie oplaadstadia van de batterij minder groot, vermits de globale oplaadsnelheid langzamer is, waardoor de batterij minder snel opwarmt.⁹⁶

3.2.2 De conductielading

De conductielading kan met verschillende snelheden worden uitgevoerd. De snelheid hangt af van de netspanning (in Volt, V), de stroomsterkte (in Ampère, A) en de energiecapaciteit (in kilowattuur, kWh) van de batterij. Hoe groter de energiecapaciteit van de batterij, hoe trager het proces verloopt. De spanning en de stroomsterkte zijn verantwoordelijk voor de grootte van het vermogen en zijn aldus positief gerelateerd aan de oplaadsnelheid. Het opladen van de wagens gaat gepaard met spanningen en stroomsterktes die dodelijk kunnen zijn.⁹⁷ Bijgevolg wordt het

⁹⁶ eNovates, 2011, *Voertuigen en aandrijvingen*. Opgevraagd op 19 oktober, 2011.

<http://www.enovates.com/index.php/nl/mnuemobility/mnutechnology>

⁹⁷ Tuite, D., 2011, Race Against Time To Charge The Family Car. *Electronic Design*, Vol. 59, p52. Opgevraagd op 28 oktober, 2011.

<http://web.ebscohost.com/bib-proxy.uhasselt.be/ehost/pdfviewer/pdfviewer?sid=c4c65a39-c46b-4e45-8a3d-907b18995437%40sessionmgr111&vid=5&hid=119>

opladen van elektrische wagens gestandaardiseerd door een internationale instelling, namelijk de International Electrotechnical Commission (IEC).

Het IEC heeft twee internationale standaarden, met het oog op veiligheid, ontworpen waarin een beperkt aantal opties voorkomen die door de verschillende landen en producenten kunnen worden toegepast. Het ontwikkelen van zulke standaarden is niet eenvoudig omwille van het feit dat de elektriciteitsvoorziening verschilt van land tot land. Toch is het ontwikkelen van zulke standaarden nuttig omdat er op deze manier wereldwijd slechts een beperkte variatie aan stekkers en stopcontacten ontstaat. Dit komt de globale automobiellindustrie enkel ten goede. De eerste standaard (IEC 62196-1) omvat de algemene vereisten van een oplaadsysteem. Zo zijn er vier methodes, elk met hun specifieke veiligheidsvoorschriften, ontworpen voor het veilig opladen van de wagens.⁹⁸ Deze worden getoond in tabel 3.1. Hierin wordt een maximale stroomsterkte (*current*) en spanning (*voltage*) weergegeven. Afhankelijk van de categorie waaronder men valt, is een specifieke modus van toepassing. Bij stijgende spanningen en stroomsterktes, en dus een hogere modus, moet men rekening houden met de strengere veiligheidsvoorschriften.

Tabel 3.1: IEC 62196-1: methodes voor het veilig opladen van elektrische wagens

Modes	Type	Phase	Current (max)	Voltage (max)
Mode 1	AC	Single	16	250
		Three	16	480
Mode 2	AC	Single	32	250
		Three	32	480
Mode 3	AC	Three	32	480
Mode 4	DC	n/a	400	1000

Bron: Eigen verwerking op basis van International Electrotechnical Commission (IEC), 2011. Opgevraagd op 28 oktober, 2011.
<http://www.iec.ch/newslog/2011/nr1611.htm>

Mode 1 tot en met 3 bevat veiligheidsvoorschriften omtrent wisselspanning, terwijl deze van gelijkspanning zijn vervat in mode 4. Mode 1 geeft aanwijzingen voor langzaam opladen met behulp van een standaard huishoudelijk stopcontact, waarvan de stroomsterkte en de spanning het maximum van respectievelijk 32 A en 250 V niet overschrijdt. In België bedraagt de stroomsterkte van een stopcontact 16 A en de spanning 220 V. Voorgaande cijfers moeten met elkaar worden vermenigvuldigd voor het berekenen van het vermogen. Voor een standaard stopcontact komt dit overeen met 3,5 kW.⁹⁹ Indien er rekening wordt gehouden met de laadcyclis van een lithium-ion batterij, kan de eerste tachtig procent met het volledig beschikbare vermogen van het stopcontact worden opgeladen. De resterende twintig procent moet met minder vermogen worden opgeladen teneinde de temperatuur onder controle te houden. Een batterij met een capaciteit van 20 kWh kan op 4,5 uur door middel van een huishoudelijk stopcontact voor tachtig procent worden opgeladen.

⁹⁸ International Electrotechnical Commission (IEC), 2011, *EVs ready to charge ahead*. Opgevraagd op 28 oktober, 2011.
<http://www.iec.ch/newslog/2011/nr1611.htm>

⁹⁹ Navex Elektro, 2011, Technische begrippenlijst. Opgevraagd op 27 oktober, 2011.
<http://www.navexelektro.be/Begrippenlijst.aspx#V>

Om deze volledig op te laden is ongeveer zes tot acht uur vereist. De voorschriften van mode 2 verschillen slechts op één punt van deze van mode 1. Het bevat namelijk een extra veiligheid die de stroomtoevoer automatisch afsluit indien er een kortsluiting optreedt. Bij mode 1 wordt er verondersteld dat een dergelijke veiligheid reeds deel uitmaakt van de stroomvoorziening. In mode 3 wordt er vervolgens een bijkomende veiligheidsrichtlijn opgenomen. Het opladen moet namelijk gebeuren via een speciale aansluiting met een permanente controle- en beveiligingsfunctie. Onder deze richtlijnen vallen voornamelijk publieke oplaadmethoden. Hieronder kan de semi-snelle lading, met een vermogen van 7 tot 10 kW, worden ondergebracht. Deze ladingsmethode is in staat een batterij twee tot drie keer sneller op te laden dan een standaard huishoudelijk stopcontact. Tot slot omvat mode 4 voorschriften aangaande het opladen met behulp van gelijkstroom, hetgeen gepaard gaat met grote investeringen qua infrastructuur en aansluitingen. Gelijkstroom wordt meestal gebruikt voor snelladingen. Hierbij worden vermogens van 22 kW of meer ontwikkeld die ervoor zorgen dat een gemiddelde batterij voor tachtig procent kan worden opgeladen binnen een tijdsperiode van een half uur.^{100, 101}

De tweede norm, IEC 62196-2, standaardiseert drie types van de voornaamste aansluitingssystemen, die worden vergeleken en beschreven in tabel 3.2. Hierin wordt weergegeven onder welke voorwaarden een bepaald type kan worden toegepast. Type 1 wordt vooral in Japan en Noord-Amerika aangewend, terwijl type 3 voornamelijk in Italië wordt gebruikt. ACEA, de vereniging van Europese autoproducenten, wil tegen 2017 een universele oplaadstekker invoeren die kan worden toegepast doorheen heel Europa. De voorkeur gaat uit naar type 2.¹⁰² Alle Europese landen die momenteel een andere aansluiting dan type 2 gebruiken, zullen tegen 2017 aldus moeten overschakelen. Het bekomen van een wereldwijde standaard zal echter zeer moeilijk zijn. Tussen Europa en Amerika blijkt immers een te groot verschil in stroomvoorziening te zijn voor het implementeren van een type 2-stekker. Vandaar doet ACEA het voorstel om de aansluiting van de elektrische wagens te voorzien van een schakelaar die toelaat om een eenvoudige overstap te maken tussen de verschillende stroomvoorzieningen. Immers, hoe meer standaardisatie overheen de wereld, hoe aantrekkelijker het gebruik van een elektrische wagen wordt voor de consumenten.¹⁰³

¹⁰⁰ eNovates, 2011, *Voertuigen en aandrijvingen*. Opgevraagd op 19 oktober, 2011.

<http://www.enovates.com/index.php/nl/mnuemobility/mnutechnology>

¹⁰¹ International Electrotechnical Commission (IEC), 2011, *EVs ready to charge ahead*. Opgevraagd op 28 oktober, 2011.

<http://www.iec.ch/newslog/2011/nr1611.htm>

¹⁰² European Automobile Manufacturers' Association (ACEA), 2011. Opgevraagd op 28 oktober, 2011.

http://www.acea.be/images/uploads/files/20100630_Standardisation_e-vehicles.pdf

¹⁰³ Mobimix: platform ecologisch vlootbeheer, 2011, *Eindelijk standaardstekker voor elektrische wagens?*. Opgevraagd op 28 oktober, 2011.

<http://www.mobimix.be/inhoud/2011/10/10/2693>

Tabel 3.2: IEC 62196-2: aansluitingstypes met de beschrijving

Types	Phase	Current (max)	Voltage (max)	Modes
Type 1	Single	32	250	1,2
Type 2	Single	70	480	1,2
	Three	63	480	1,2,3
Type 3	Single	32	250	1,2
	Three	63	480	1,2,3

Types	Description
Type 1	Live, Neutral and Earth, plus two data communication pins.
Type 2	Live x3, Neutral and Earth, plus two data communication pins. Two of the live pins would be redundant for single phase supplies.
Type 3	Three configurations are available: two single phase with Live, Neutral and Earth and one or two data communication pins; and one three phase with Live x3, Neutral and Earth and two data communication pins.

**Bron: Eigen verwerking op basis van International Electrotechnical Commission (IEC), 2011.
Opgevraagd op 28 oktober, 2011.
<http://www.iec.ch/newslog/2011/nr1611.htm>**

Een derde standaard (IEC 62196-3), die de aansluiting voor het laden met gelijkstroom reglementeert (mode 4), is nog in ontwikkeling.¹⁰⁴

3.2.2.1 Oplaadpalen

Bij de conductielading wordt veelal gebruikgemaakt van de zogenaamde oplaadpalen. Aanvankelijk zullen de eerste elektrische wagens bij de consumenten thuis moeten worden opgeladen, aangezien momenteel slechts een beperkt aantal oplaadpalen publiek beschikbaar zijn. Blue Corner, een jong Belgisch bedrijf, wil daar verandering in brengen. De onderneming plant in de nabije toekomst 500 laadpalen met elk twee laadpunten, die publiek toegankelijk zijn, gratis te installeren. Het gebruik daarentegen zal niet gratis zijn, al zal men voor slechts 150 euro per jaar onbeperkt kunnen bijladen aan de door hen voorziene oplaadpalen. De oplaadinfrastructuur zal worden geleverd door eNovates, een Belgische producent van oplaadpalen.¹⁰⁵ Volgens eNovates zijn er vier soorten oplaadpalen te onderscheiden naargelang de doelgroep. Onder de doelgroepen zijn de volgende terug te vinden: de particulier, het bedrijf, de exploitant van een laadnetwerk en de openbare weginfrastructuur. Deze worden respectievelijk als home, business, trader en street oplaadpalen beschreven.

De specificaties van de oplaadpalen verschillen tussen de gebruikers, zoals in figuur 3.2 wordt weergegeven. De home en de business oplaadpalen zijn uitgerust met een RFID

¹⁰⁴ International Electrotechnical Commission (IEC), 2011, *EVs ready to charge ahead*. Opgevraagd op 28 oktober, 2011.

<http://www.iec.ch/newslog/2011/nr1611.htm>

¹⁰⁵ Blue Corner, 2011. Opgevraagd op 29 oktober, 2011.

<http://www.bluecorner.be/index.html>

authenticatiesysteem zodat het mogelijk is de rechtmatige gebruiker te identificeren. De home beschikt over een trage tot matige oplaadsnelheid, terwijl de business verkrijgbaar is in een oplaadrange van traag tot snel. Indien men thuis is kan de wagen constant insteken. Bovendien is er tijdens de nacht voldoende tijd om de wagen volledig op te laden. Dit heeft als voordeel dat het proces langzaam kan verlopen. Bedrijven daarentegen hebben vaak veel personeel en bijgevolg een groot wagenpark. Afhankelijk van de tijd die de werknemers aanwezig zijn, moeten de wagens snel of traag kunnen worden opgeladen. De organisatie hiervan vereist oplaadpalen met verschillende snelheden en wordt vereenvoudigd door gebruik te maken van een centrale beheerssoftware. Het grote verschil tussen de derde variant, namelijk de trader, en de business is de ondersteuning van een betalingssysteem voor de exploitant van een laadnetwerk. Eigenaars van een elektrische wagen moeten de uitbater immers betalen voor de verbruikte stroom. De straat is in staat een wagen zeer snel op te laden en is bestand tegen vandalisme door een robuuste bescherming.¹⁰⁶ Concrete prijzen voor oplaadinfrastructuur zijn moeilijk te rapporteren, aangezien de markt slechts in hun kinderschoenen staat. De kostprijs van thuislaadsystemen situeert zich naar schatting rond de 1.000 euro. Prijzen omtrent publiek beschikbare oplaadpalen zullen hoger liggen omwille van de hogere oplaadsnelheden en de geavanceerde technische specificaties.¹⁰⁷

Figuur 3.2: Specificaties van verschillende laadpalen naargelang de doelgroep

@STREET	@TRADER	@BUSINESS	@HOME
- Voorzien van twee laadpunten - Smart Grid Ready - Netwerkondersteuning¹ - Centrale beheerssoftware - Ondersteuning van betaalsystemen - Versies in 230/400V en 6/32/63A - Uiterst robuuste buitenafwerking	- Voorzien van twee laadpunten - Netwerkondersteuning - Centrale beheerssoftware - Ondersteuning van betaalsystemen - Versies in 230/400V en 16/32A	- Voorzien van één laadpunt - Netwerkondersteuning - Centrale beheerssoftware - RFID authenticatie - Versies in 230/400V en 16/32A	- Voorzien van één laadpunt - Lokale RFID authenticatie - Versies in 230V en 16/32A

**Bron: eNovates, 2011, *Oplaadsystemen*. Opgevraagd op 28 oktober, 2011.
<http://www.enovates.com/index.php/nl/oplaadsystemen>**

Opdat de elektrische wagen op grootschalige wijze kan worden geïmplementeerd in het verkeer, zouden er naar schatting 1,6 oplaadpalen per wagen moeten zijn.¹⁰⁸ Het is vanzelfsprekend dat eigenaars van een dergelijke wagen zelf de noodzakelijke infrastructuur thuis ter beschikking zouden moeten hebben. Vandaar is er bij een thuisinstallatie van een oplaadpaal fiscale steun voorzien. Men kan namelijk genieten van een belastingvermindering ter hoogte van veertig procent op de aanschafwaarde van de laadpaal.¹⁰⁹ Dit bedrag wordt echter beperkt tot 250 euro

¹⁰⁶ eNovates, 2011, *Oplaadsystemen*. Opgevraagd op 28 oktober, 2011.

<http://www.enovates.com/index.php/nl/oplaadsystemen>

¹⁰⁷ Buyckx, P., eNovates, 2011, *Telefonische gesprek*. Gecontacteerd op 29 november, 2011.

¹⁰⁸ Energie- & milieu-informatiesysteem voor het Vlaams Gewest, 2010, *eNovates start de productie van Smart Grid-laadsystemen voor elektrische wagens*. Opgevraagd op 29 oktober, 2011.

<http://www.emis.vito.be/nieuwsbericht/enovates-start-de-productie-van-smart-grid-laadsystemen-voor-elektrische-wagens>

¹⁰⁹ Vlaamse Overheid, 2011, *Belastingvermindering bij de aankoop van een elektrisch voertuig of installatie van een laadpaal*. Opgevraagd op 20 oktober, 2011.

http://www.vlaanderen.be/servlet/Satellite?c=Solution_C&cid=1267507695761&context=1141721623065---1191211213991-1191211213991-1187251344078-1198314514243&p=1186804409590&pagename=Infolijn%2FView

voor aanslagjaar 2012. Indien bedrijven investeren in oplaadpunten kunnen ze genieten van een verhoogde investeringsaftrek van 13,5 procent. Een bedrijf heeft het bijkomende voordeel dat een dergelijke investering versneld kan worden afgeschreven over een periode van twee jaar.¹¹⁰ Het overige deel van de benodigde oplaadpalen omvatten de publiek beschikbare exemplaren, die zowel door de overheid als de private markt kunnen worden geïnstalleerd. Elektrische wagens hebben immers geen grote autonomie. Wanneer eigenaars van een dergelijke wagen ergens parkeren zouden ze de wagen moeten kunnen koppelen aan het elektriciteitsnet. Het is ook belangrijk met het oog op de ontwikkeling van een *Smart Grid* (3.3) dat elke stilstaande wagen wordt aangesloten op het elektriciteitsnetwerk. Dit zou mogelijk zijn, aangezien een wagen voor 95 procent van de tijd stilstaat.¹¹¹ In deze masterproef wordt aangenomen dat er private aanbieders zullen toetreden tot de markt voor oplaadpalen. Bijgevolg zal de overheid hierin niet moeten tussenkomen.

Het is aldus van fundamenteel belang dat er eerst een degelijke oplaadinfrastructuur ter beschikking wordt gesteld van de bestuurders van elektrische wagens. Zodoende kunnen deze mensen zich overal begeven zonder zich zorgen te moeten maken over de mogelijkheid tot het opladen van hun wagen. Indien dit niet gebeurt zullen mensen niet geneigd zijn om een elektrische wagen aan te schaffen. Correcte cijfers omtrent het huidige aantal oplaadpalen in Vlaanderen zijn niet eenvoudig te raadplegen, aangezien verschillende oplaadpunten in handen zijn van privébedrijven en particulieren. Volgens Vlaams minister van innovatie, Ingrid Lieten, waren er op drie augustus 2011 slechts veertig laadpunten voor elektrische wagens in Vlaanderen ter beschikking. Minister Lieten maakte hiervoor gebruik van de bron laadpunten.org.¹¹² Diezelfde bron vermeldt dat er op 1 maart 2012 93 locaties waren voorzien van oplaadpunten in België, waarvan 74 in Vlaanderen en 16 in Brussel. De overige 3 staan op Waals grondgebied.¹¹³ In Nederland daarentegen staat men reeds verder met de uitbouw van het aantal oplaadpalen. Immers, alleen al in Amsterdam zijn er ruim 250 oplaadpalen publiek beschikbaar. Tegen 2013 wil de stad dit aantal uitbreiden tot 1.000 exemplaren.¹¹⁴

3.2.3 De inductielading

De inductielading is, naast de conductielading, een tweede mogelijkheid voor het opladen van een elektrische wagen. Voor de werking van de inductielading zijn er twee spoelen vereist, namelijk één in de wagen en één in de grond. Een visuele voorstelling van de werking kan worden teruggevonden in figuur 3.3. De spoel in de grond wordt voorzien van stroom via het

¹¹⁰ Vlaams Gewest, 2011, *Luchtkwaliteitsplan*: p18. Opgevraagd op 28 oktober, 2011.
<http://www.lne.be/themas/luchtverontreiniging/ontwerp-luchtkwaliteitsplan-no2.pdf>

¹¹¹ Vlaams Parlement, 2011, stuk 444 Nr. 2: *Voorstel van resolutie betreffende de bevordering van elektrische voertuigen die rijden op groene stroom in Vlaanderen*: p10. Opgevraagd op 29 oktober, 2011.
<http://docs.vlaamsparlement.be/docs/stukken/2009-2010/g444-2.pdf>

¹¹² Vlaams Parlement, 2011, *Schriftelijke vraag*. Opgevraagd op 26 oktober, 2011.
<http://www.vlaamsparlement.be/Proteus5/showSchriftelijkeVraag.action?id=646083>

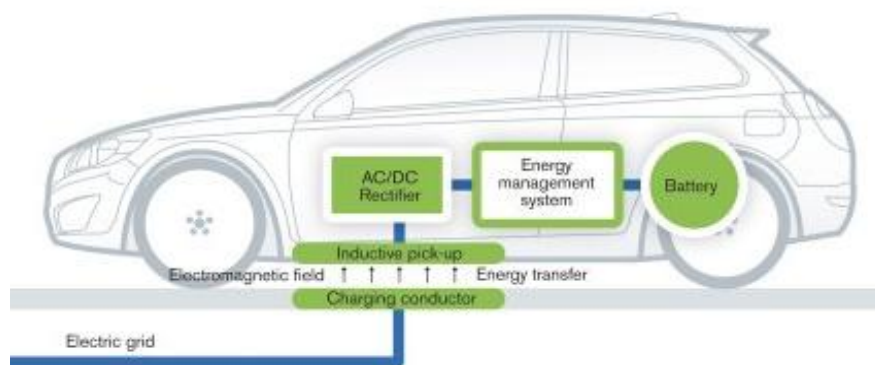
¹¹³ Oplaadpunten.org, 2012. Opgevraagd op 1 maart, 2012.
<http://www.oplaadpunten.org/Oplaadpunten-Elektrische-Auto.php>

¹¹⁴ Amsterdam, 2011, *Open data oplaadpunten*. Opgevraagd op 3 maart, 2012.
<http://www.amsterdam.nl/parkeren-verkeer/amsterdam-elektrisch/opladen/ol/open-data/>

elektriciteitsnet. Zoals aangehaald bij de werking van een elektromotor zal het vloeien van elektriciteit doorheen de spoel een magnetisch veld opwekken. Vermits er een wisselspanning over de spoel staat, zal de stroom continu van richting veranderen, waardoor ook het opgewekte magneetveld van richting wisselt. Dit magnetisch veld van de spoel in de grond induceert een magnetisch veld bij de spoel in de wagen. Bijgevolg verandert het geïnduceerde veld ook steeds van richting door de wisselwerking met het veld in de grond. Het wisselend magnetisch veld van de spoel in de wagen zal leiden tot het vloeien van een stroom in deze spoel.¹¹⁵ De stroom kan dan rechtstreeks worden aangewend voor de aandrijving van de wagen of kan worden opgeslagen in de batterij.

Een dergelijke oplaadmethode maakt het mogelijk de wagen op te laden terwijl hij stilstaat op een parking, maar het systeem zou ook de mogelijkheid kunnen bieden om de wagen al rijdend op te laden indien wegen over grote afstanden voorzien waren van spoelen. Dit vereist uiteraard een grote aanpassing aan de huidige infrastructuur, wat gepaard zal gaan met een hoge kostprijs. Flanders' DRIVE neemt momenteel deel aan een onderzoeksproject rond de toepassing van inductieve oplaadsystemen. Dit onderzoek vindt plaats tijdens de periode van 1 april 2010 tot 30 juni 2012.¹¹⁶ Concrete uitspraken omtrent de technische en economische haalbaarheid van zulke toepassingen zijn aldus nog niet beschikbaar.¹¹⁷ Al moet wel worden opgemerkt dat de techniek niet nieuw is en dat deze globaal gezien op punt staat. Deze techniek wordt trouwens ook gebruikt bij het opladen van elektrische tandenborstels.¹¹⁸

Figuur 3.3: Principe van het inductief laden



Bron: Bolier, M., 2011, *TU Delft: elektrische auto opladen tijdens het rijden*. Opgevraagd op 30 oktober, 2011.
<http://www.zerauto.nl/blog/index.php/2011/08/23/tu-delft-elektrisch-auto-opladen-tijdens-het-rijden>

¹¹⁵ Giancoli, D. C., 1999, *Natuurkunde voor Wetenschap en Techniek*, Elektrostatica en Magnetisme (M. van Vreumingen, Vertaling). Schoonhoven: Academic Service. (Oorspronkelijk verschenen in het Engels in 1993): p324-327.

¹¹⁶ Flanders' DRIVE, 2011. Opgevraagd op 30 oktober, 2011.
<http://www.flandersdrive.be/inductive-charging>

¹¹⁷ Perik H., Flanders' DRIVE, 2012, *E-mail*. Gecontacteerd op 4 april, 2012.

¹¹⁸ Janssens, D., 2011, *Panelgesprek elektrische mobiliteit*: Universiteit Hasselt. Bijgewoond op 8 november, 2011.

3.2.4 De batterijwissel

In deze paragraaf wordt de derde toepassing voor het opladen van een elektrische wagen besproken. Bij een batterijwissel wordt een (bijna) lege batterij niet onmiddellijk opgeladen, maar vervangen door een vol exemplaar. De realisatie hiervan vereist een zeer hoge maat van standaardisatie en dus een nauwe samenwerking tussen de auto- en batterijproducenten. Iedere wagen dient immers te worden voorzien van eenzelfde batterij. Deze bevindt zich dan best aan de onderzijde van de wagen zodat ze snel kan worden losgeschroefd, verwijderd en vervangen. Better Place, een Amerikaanse firma, opende in 2011 in Denemarken het eerste batterijwisselstation van Europa. Het wisselen van een batterij kan hier in minder dan drie minuten worden uitgevoerd. Dit komt ongeveer overeen met een tankbeurt van een conventionele wagen. De visie van Better Place is dat consumenten een elektrische wagen aanschaffen zonder batterij. Zo kunnen de kosten voor het aanschaffen van een dergelijke wagen sterk verlaagd worden, aangezien de batterij op zich een zware investering met zich meebrengt. Particulieren kunnen dan een batterij leasen bij Better Place en omruilen wanneer nodig. Het bedrijf staat in voor de vervanging, het opladen en het onderhoud van de batterijen. Op dit ogenblik werkt Better Place samen met de Renault-Nissan alliantie (voertuigen), A123Systems en AESC (batterijen). Daarnaast worden er ook contacten gelegd met andere auto- en batterijproducenten voor de uitbreiding van de batterijwisselstations in de nabije toekomst. Bovendien zorgt Better Place ook voor het plaatsen van oplaadpalen waardoor het niet verplicht is de batterij iedere keer te laten vervangen.¹¹⁹

3.2.5 Het regeneratief remmen

Het regeneratief remmen behoort niet volledig onder de categorie van het opladen aangezien dit niet verloopt via het elektriciteitsnet, maar de wagen gedeeltelijk zelf instaat voor het opladen van de batterij. Zoals reeds werd aangehaald bij de werking van de elektromotor, kan een spoel die ronddraait in een magnetisch veld stroom opwekken. Dit doet zich eveneens voor bij het uitbollen en remmen met de elektrische wagen. Het principe is vergelijkbaar met het remmen op de motor bij een conventioneel aangedreven wagen. Bij het regeneratief remmen wordt kinetische energie omgezet in elektrische. Deze opgewekte stroom kan vervolgens in de batterij worden opgeslagen.¹²⁰ Het regeneratief remmen kan leiden tot een besparing van tien procent op het batterijverbruik.¹²¹ In wat volgt wordt de werking van een *Smart Grid* besproken.

¹¹⁹ Better Place, 2011. Opgevraagd op 29 oktober, 2011.

<http://www.betterplace.com/>

¹²⁰ Deal, W. F., 2010, Going Green with Electric Vehicles. *Technology & Engineering Teacher*, Vol. 70, p7-8. Opgevraagd op 23 oktober, 2011.

<http://web.ebscohost.com/bib-proxy.uhasselt.be/ehost/detail?sid=13081129-e801-481e-9ded-305cc5c80f7c%40sessionmgr104&vid=8&hid=105&bdata=JnNpdGU9ZWZWhvc3QtbGl2ZQ%3d%3d#db=afh&AN=44901960>

¹²¹ eNovates, 2011, *Voertuigen en aandrijvingen*. Opgevraagd op 19 oktober, 2011.

<http://www.enovates.com/index.php/nl/mnuemobility/mnutechnology>

3.3 Smart Grid

De uitbreiding van het elektrische wagenpark brengt een stijging van de vraag naar elektriciteit met zich mee. Een groot deel van de bevolking veronderstelt dat een grootschalige introductie van elektrische wagens gepaard gaat met een forse stijging van de elektriciteitsprijs. Uit een studie van de Commissie voor de Regulering van de Elektriciteit en het Gas (CREG) blijkt dit echter niet noodzakelijk zo te zijn. Het CREG gaat bij het onderzoek, dat zich uitsplitst in twee richtingen, uit van een aanwezigheid van één miljoen elektrische wagens in België en een *vehicle-to-grid-systeem*. Dit laatste stelt de wagens niet enkel in staat op te laden, maar ook te ontladen waardoor elektriciteit kan worden teruggegeven aan het elektriciteitsnetwerk.¹²²

Het eerste deel van de studie spits zich toe op de spotprijs, die duidt op de thans geldende prijs van elektriciteit. Het CREG rekent hierbij op het feit dat de energie van elektrische wagens, die aangesloten zijn op het elektriciteitsnet, kan worden verhandeld op de Belpex Day Ahead Market (DAM), een beurs voor elektriciteit. Een definitie hiervan luidt als volgt: *De day-ahead markt of markt van de volgende dag is een markt waarop de kopers en verkopers orders kunnen invoeren voor elk uur van de volgende dag, datum waarop de levering effectief gebeurt (p. 11)*. De beurs is niet toegankelijk voor particulieren, maar enkel voor elektriciteitsproducenten, netoperatoren, energieleveranciers, grootverbruikers, energietraders en banken. Voor de exacte werking van deze beurs wordt verwezen naar een andere studie van het CREG.¹²³

Uit resultaten van het eerste deel blijkt dat het mogelijk is om de algemene elektriciteitsprijzen te laten dalen, dit in tegenstelling tot de prijsstijgingen die werden verwacht. De prijsdaling is gebaseerd op arbitragemogelijkheden door gebruik te maken van de autobatterijen. Hierbij is het mogelijk elektriciteit aan te kopen tegen lage beursnoteringen (doorgaans 's nachts) en op te slaan in de batterijen. Wanneer er hoge prijzen (gedurende de piekuren) genoteerd zijn, kan men de energie, opgeslagen in de batterijen, verkopen. Voorgaande arbitrage kan enkel tot stand komen indien er een bepaald type bieding beschikbaar is op de Belpex DAM, zodat marktactoren een volume energie kunnen kopen of verkopen tegen de laagste of hoogste prijs van de volgende dag. Het arbitreren gaat wel gepaard met het continu op- en ontladen van de batterij, wat een negatieve invloed heeft op de levensduur ervan. In Nederland is hiervoor reeds een oplossing, namelijk een batterijwaarborgfonds. Een dergelijke regeling zorgt ervoor dat de batterij wordt vervangen wanneer de capaciteit is gedaald tot 80 procent van de initiële capaciteit.¹²⁴ Indien de

¹²² Commissie voor de Regulering van de Elektriciteit en het Gas (CREG), 2010, *de mogelijke impact van de elektrische auto op het Belgische elektriciteitssysteem*: 46p. Opgevraagd op 23 oktober, 2011.
<http://www.creg.info/pdf/Studies/F929NL.pdf>

¹²³ Commissie voor de Regulering van de Elektriciteit en het Gas (CREG), 2011, *de evolutie van de elektriciteitsprijzen op de korte- en langetermijngroothandelsmarkt voor het jaar 2010*: p5-34. Opgevraagd op 23 oktober, 2011.

<http://www.creg.info/pdf/Studies/F1092NL.pdf>

¹²⁴ Vlaams Parlement, 2011, stuk 444 Nr. 2: *Voorstel van resolutie betreffende de bevordering van elektrische voertuigen die rijden op groene stroom in Vlaanderen*: p10. Opgevraagd op 29 oktober, 2011.
<http://docs.vlaamsparlement.be/docs/stukken/2009-2010/q444-2.pdf>

elektrische wagen niet wordt gebruikt voor arbitrage, zal de elektriciteitsprijs wel stijgen door de grotere vraag. Deze stijging zal volgens de CREG dan tussen 0,4 en 2,5 procent gesitueerd zijn.¹²⁵

Het tweede deel van de studie focust op de elektrische wagen als evenwichtsinstrument voor de actieve energie in België. Anders gesteld wil men de wagens gebruiken zodat vraag en aanbod in het elektriciteitssysteem op elkaar kunnen worden afgestemd. Momenteel kan elektriciteit nog niet in grote hoeveelheden worden opgeslagen en moet de productie steeds gelijk zijn aan de vraag. Vermits er voortdurend schommelingen in de vraag zijn, is het van belang dat er reserves worden aangelegd die, indien nodig, op ieder ogenblik kunnen worden aangewend. Deze kunnen worden opgedeeld in primaire, secundaire en tertiaire reserves. Het Belgische elektriciteitsnet behoort tot een groter Europees geheel, waarbij de Union for the Co-ordination of Transmission of Electricity (UCTE) de grootte van deze reserves bepaalt.¹²⁶ In het kader van deze masterproef wordt echter niet ingegaan op de specificaties en de grootte van de aangelegde reserves en op hoelang deze dienen te functioneren. De kostprijs van de ondersteuning ter aanlegging van de reserves kwam in 2008 neer op 139 miljoen euro. Van dit bedrag zou een aanzienlijk deel kunnen worden bespaard, aangezien zowel de primaire als secundaire reserves kunnen worden voorzien door de één miljoen elektrische wagens. Hierbij wordt de veronderstelling gemaakt dat steeds 85 procent van de wagens zijn aangesloten op het netwerk en dat de wagens beschikken over een gemiddelde batterijcapaciteit van 15 kilowattuur. Deze 85 procent is waarschijnlijk overschat, aangezien veel mensen de wagen overdag tegelijkertijd gebruiken en veel meer wagens 's nachts gezamenlijk stilstaan. Daarnaast wordt de batterijcapaciteit waarschijnlijk onderschat. De meeste standaardbatterijen beschikken tegenwoordig immers over een capaciteit tussen de 20 en 25 kilowattuur. Uit de resultaten van de studie blijkt dat er geen batterijveroudering optreedt bij het voorzien van primaire en slechts een beperkte bij het aanleggen van de secundaire reserve. De tertiaire reserve daarentegen kan niet volledig worden geleverd door de elektrische wagen.¹²⁷

Voor de realisatie van beide studieaspecten is het noodzakelijk een *Smart Grid* (slim netwerk) te creëren waarop elke stilstaande elektrische wagen is aangesloten. Indien slimme meters of oplaadpalen worden geïnstalleerd, zal er met behulp van een dergelijk netwerk communicatie tussen de wagens en het elektriciteitsnet mogelijk worden. Op momenten dat er een overproductie aan stroom plaatsvindt, meestal 's nachts, kan dit teveel geproduceerde deel worden opgeslagen op de batterijen van de wagens. Tijdens piekvragen naar elektriciteit kunnen de wagens dan weer een gedeelte van hun opgeslagen energie teruggeven aan het netwerk. Zo is het voor elektriciteitscentrales mogelijk op een stabielere wijze elektriciteit te produceren. Bijgevolg kunnen piekproducties, die duurder en meer vervuilend zijn, grotendeels worden vermeden. De elektrische wagen maakt het tevens eenvoudiger hernieuwbare energiebronnen, zoals wind- en zonne-energie,

¹²⁵ Commissie voor de Regulering van de Elektriciteit en het Gas (CREG), 2010, *de mogelijke impact van de elektrische auto op het Belgische elektriciteitssysteem*: p40-46. Opgevraagd op 23 oktober, 2011.
<http://www.creg.info/pdf/Studies/F929NL.pdf>

¹²⁶ Elia, 2007, *De primaire reserve: een oplossing om de frequentie in het Europese koppelnet te stabiliseren*: p1. Opgevraagd op 1 november, 2011.
http://www.elia.be/repository/ProductsSheets/S1_N_PRIMAIRE_RESERVE.pdf

¹²⁷ Commissie voor de Regulering van de Elektriciteit en het Gas (CREG), 2010, *de mogelijke impact van de elektrische auto op het Belgische elektriciteitssysteem*: 46p. Opgevraagd op 1 november, 2011.
<http://www.creg.info/pdf/Studies/F929NL.pdf>

te implementeren in het systeem. Het kan immers zijn dat tijdens piekvragen naar elektriciteit er geen wind en zon ter beschikking is. Het omgekeerde is echter ook mogelijk, namelijk veel wind en zon in combinatie met een beperkte vraag naar stroom.¹²⁸ Aldus kunnen ook in deze twee uiterste situaties elektrische wagens worden gebruikt teneinde vraag en aanbod op elkaar af te stemmen. Slimme meters hebben als voordeel dat ze door middel van communicatiesoftware, geïntegreerd in de wagen, gebruikers kunnen informeren welke oplaadpalen vrij zijn en laat toe deze te reserveren. Door middel van slimme meters wordt het ook mogelijk de wagen overal op te laden en slechts één elektriciteitsrekening te ontvangen.¹²⁹ De software van de eNovates-oplaadpalen is reeds aangepast aan de mogelijke implementatie van een slim netwerk.¹³⁰ Echter, de kostprijs voor de implementatie van een slim netwerk ligt zeer hoog. Het installeren van slimme meters in Vlaanderen alleen gaat reeds gepaard met een kost van 4,5 miljard euro.¹³¹ In Amerika maakte president Obama in 2009 een budget van 3,4 miljard dollar vrij voor het toewerken naar de uitrusting van een *Smart Grid*.¹³² Dit blijkt echter een peulschil te zijn van de totale investering die de VS zal moeten ophoesten voor de verwezenlijking van een slim netwerk.

Momenteel wordt er in Vlaanderen onderzoek verricht naar het zogenaamde slimme netwerk. Op 1 april 2010 werd namelijk het Vlaams Smart Grid Platform (VSGP) opgericht. Dit platform bestaat uit verschillende leden zoals elektriciteitsproducenten, distributienetbeheerders, dienstenbedrijven, industrie, professionele organisaties en kennisinstellingen. Het omvormen van het huidige elektriciteitsnetwerk tot een *Smart Grid* zal leiden tot grote inspanningen op verscheidene vlakken aangaande materialen, systemen, communicatie en energieopslag. Dit vereist een sterke samenwerking tussen alle leden van het VSGP. Rond hetzelfde tijdstip zijn ook proefprojecten gestart van Eandis en Infrax omtrent slimme meters.¹³³ Het doel hiervan is meer inzicht te verwerven in wat de exacte voordelen van energiebesparing zijn voor zowel het elektriciteitsnetwerk als de consument en hoeveel de exacte kosten van de invoering van een *Smart Grid* bedragen.^{134, 135}

¹²⁸ Goffman, E., 2010, Smart and Smarter. *E: The Environmental Magazin*, Vol. 21, p30. Opgevraagd op 2 november, 2011.

<http://web.ebscohost.com/bib-proxy.uhasselt.be/ehost/pdfviewer/pdfviewer?sid=13081129-e801-481e-9ded-305cc5c80f7c%40sessionmgr104&vid=5&hid=105>

¹²⁹ Mobimix: platform ecologisch vlootbeheer, 2010, *Communicerende oplaadpunten*. Opgevraagd op 1 november, 2011.

<http://www.mobimix.be/inhoud/2010/9/12/1909>

¹³⁰ eNovates, 2011, *Oplaadsystemen Overzicht*. Opgevraagd op 1 november, 2011.

<http://www.enovates.com/index.php/nl/oplaadsystemen/45-chargepointsgeneral>

¹³¹ Vlaams Parlement, 2011, stuk 444 Nr. 2: *Voorstel van resolutie betreffende de bevordering van elektrische voertuigen die rijden op groene stroom in Vlaanderen*: p10. Opgevraagd op 29 oktober, 2011.

<http://docs.vlaamsparlement.be/docs/stukken/2009-2010/g444-2.pdf>

¹³² Carey, J., 2009, *Obama's Smart-Grid Game Plan*, BusinessWeek Online, p5. Opgevraagd op 3 november, 2011.

<http://web.ebscohost.com/bib-proxy.uhasselt.be/ehost/detail?sid=13081129-e801-481e-9ded-305cc5c80f7c%40sessionmgr104&vid=8&hid=105&bdata=JnNpdGU9ZWU9ZWhvc3QtbGl2ZQ%3d%3d#db=afh&AN=44901960>

¹³³ Eandis, 2011, *Eandis start project rond slimme meters*. Opgevraagd op 3 november, 2011.

http://www.eandis.be/eandis/pdf/Eandis_start_project_rond_slimme_meters_DataId_5517065_Version_1.pdf

¹³⁴ Smart Grid Flanders, 2011. Opgevraagd op 3 november, 2011.

<http://www.smartgridsflanders.be/>

¹³⁵ Bollen, A., Van Humbeeck, P., Lamote, A., 2011, *Energie voor een groene economie, Boekdeel 2: Hernieuwbare energie: beleid en evaluatie*, Gent: Academia Press: p147-150.

3.4 Europese doelstellingen

In maart 2007 heeft de Europese Unie een ambitieus plan ontwikkeld, genaamd de 20-20-20 doelstelling. Deze houdt in dat tegen 2020 aan drie criteria moet worden voldaan binnen de grenzen van de EU. Ten eerste behoeft er een reductie van twintig procent te zijn in de emissies van broeikasgassen ten opzichte van 1990. Voor de tweede doelstelling dient twintig procent van de energieconsumptie in de EU opgewekt te worden met behulp van hernieuwbare energiebronnen. Dit wil echter niet zeggen dat elk land deze vooropgestelde twintig procent dient te realiseren. Voor België betekent het concreet dat dertien procent van de verbruikte energie moet voortkomen uit hernieuwbare bronnen. Aangezien hernieuwbare energie onder de gewestelijke bevoegdheid valt, moet de nationale doelstelling nog worden verdeeld tussen de gewesten. Dit vereist een samenwerkingsakkoord tussen de gewesten en de federale overheid.¹³⁶ Ten slotte moet de energie-efficiëntie volgens de 20-20-20 doelstelling met twintig procent toenemen.¹³⁷

De elektrische wagen kan perfect bijdragen tot voorgaande doelstellingen. Een dergelijke wagen stoot immers geen broeikasgassen uit. Bovendien gaat het opwekken van elektriciteit op basis van hernieuwbare energiebronnen gepaard met een CO₂-uitstoot die nihil is. Echter, in 2009 bedroeg het aandeel van hernieuwbare energie in Vlaanderen slechts 2,5 procent.¹³⁸ Voorspellingen van het Nationaal Planbureau tonen aan dat tegen 2015 slechts de helft van het vooropgestelde percentage zal worden bereikt.¹³⁹ Hieruit blijkt dat Vlaanderen nog een lange weg moet afleggen alvorens ze de vooropgestelde dertien procent zal bereiken. Daarnaast dient te worden opgemerkt dat bij een stijging van het aantal elektrische wagens ook de vraag naar elektriciteit zal toenemen en dus nog meer energie uit hernieuwbare bronnen moet voortkomen voor het realiseren van de tweede doelstelling. Ook het derde streefdoel is haalbaar voor de elektrische wagen. Zoals reeds werd aangegeven bedraagt de efficiëntie van het 'bron-tot-wiel pad' van de elektrische wagen bijna zeventig procent indien de elektriciteit wordt opgewerkt met behulp van hernieuwbare bronnen. De efficiëntie van de conventionele motor op zich komt, theoretisch gezien, slechts overeen met maximaal veertig procent. In praktijk ligt de efficiëntie echter nog lager en bovendien gaat er bij de winning en distributie van brandstoffen ook nog energie verloren.¹⁴⁰ De efficiëntie van het 'bron-tot-wiel pad' van een conventionele wagen bedraagt dus veel minder dan dat van de elektrische wagen. Op vlak van de derde doelstelling kan de elektrische wagen aldus een sterke bijdrage leveren.

¹³⁶ Bollen, A. , Van Humbeeck, P. , Lamote, A., 2011, Energie voor een groene economie, *Boekdeel 2: Hernieuwbare energie: beleid en evaluatie*, Gent: Academia Press: p33-36.

¹³⁷ European Commission, 2010, *The EU climate and energy package: The "20-20-20" targets*. Opgevraagd op 2 november, 2011.

http://ec.europa.eu/clima/policies/package/index_en.htm

¹³⁸ Vlaams Parlement, 2010, *stuk 13: Toelichtingen bij de middelenbegroting en de algemene uitgavenbegroting van de Vlaamse Gemeenschap voor het begrotingsjaar 2011*: p18. Opgevraagd op 3 november, 2011.

http://fin.vlaanderen.be/nlapps/data/docattachments/Toelichting_per_programma_BO2011_LNE_addendum.pdf

¹³⁹ Boschmans, K., 2010, *Hoe België Kyoto haalt*. Opgevraagd op 3 november, 2011.

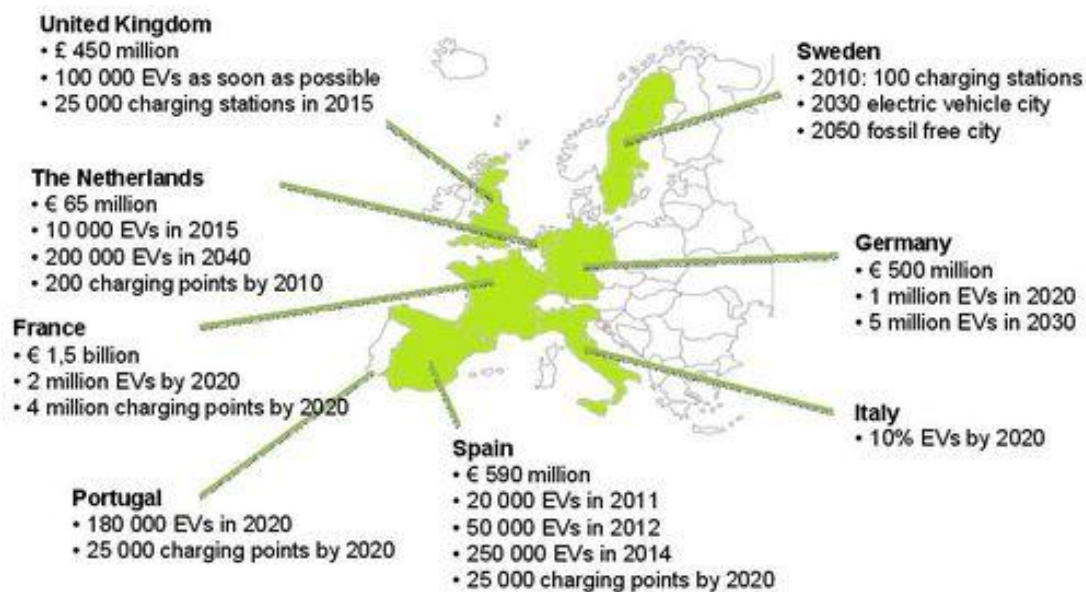
<http://www.vkwmetena.be/artikels/hoe-belgie-kyoto-haalt>

¹⁴⁰ Febiac, 2011, *Elektrische voertuigen*, Brussel: p8. Opgevraagd op 10 oktober, 2011.

http://www.febiac.be/documents_febiac/publications/2010/infospecialnllr.pdf

Veel landen veronderstellen dat een grootschalige introductie van elektrische wagens de 20-20-20 doelstelling van de EU kan helpen realiseren. In figuur 3.4 wordt een voorstelling gegeven van verschillende Europese landen met hun doelstellingen en vrijgemaakte budgetten. België is niet opgenomen in deze figuur aangezien de Belgische overheid nog geen concrete doelstellingen omtrent het aantal elektrische wagens en oplaadpunten heeft geformuleerd.¹⁴¹

Figuur 3.4: Doelstellingen en vrijgemaakte budgetten van verschillende landen met betrekking tot de elektrische wagen



Bron: Vlaams Parlement, 2011, stuk 915: Conceptnota voor nieuwe regelgeving over een nieuw en groen industriebeleid: p16. Opgevraagd op 3 november, 2011.
<http://www.vlaamsparlement.be/Proteus5/showParlInitiatief.action?id=616839&tabId=-682091350>

De verwachtingen omtrent de verkoop van elektrische wagens zijn uiteenlopend. Netbeheerders verwachten dat tegen 2020 het Belgische voertuigenpark voor tien procent uit elektrisch aangedreven wagens zal bestaan.¹⁴² Volgens Blue Corner, een uitbater van een oplaadnetwerk, zullen tegen 2020 vijftien procent van de nieuw verkochte wagens elektrische exemplaren zijn.¹⁴³ Daarnaast maakt de International Consultancy Group andere voorspellingen omtrent de verkoop van elektrische wagens voor de jaren 2010 tot en met 2020. Het verloop van deze voorspellingen wordt weergegeven in figuur 3.5, waaruit kan worden afgeleid dat tegen 2020 zeven procent van de verkochte wagens in België elektrische varianten zullen zijn.¹⁴⁴ Er wordt verondersteld dat de

¹⁴¹ De Ceasemaeker, B., 2012, *Telefonisch gesprek*. Gecontacteerd op 7 februari, 2012.

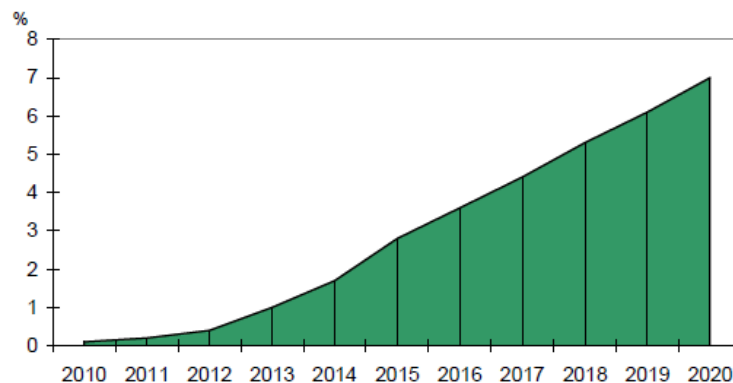
¹⁴² Vlaamse Regulator van de Elektriciteits- en Gasmarkt (VREG), 2011, *Ontwerpmededeling van de Vlaamse Reguleringsinstantie voor de Elektriciteits- en Gasmarkt met betrekking tot laadpunten voor elektrische voertuigen*: p3. Opgevraagd op 4 november, 2011.
<http://www.vreg.be/sites/default/files/uploads/documenten/laadpunten%20voor%20elektrische%20voertuigen.pdf>

¹⁴³ Energie- & milieu-informatiesysteem voor het Vlaams Gewest, 2010, *eNovates start de productie van Smart Grid-laadsystemen voor elektrische wagens*. Opgevraagd op 29 oktober, 2011.
<http://www.emis.vito.be/nieuwsbericht/enovates-start-de-productie-van-smart-grid-laadsystemen-voor-elektrische-wagens>

¹⁴⁴ International Consultancy Group, 2010, *Electric car markets in Europe: 10 countries analysis and strategic review*: p 28. Opgevraagd op 5 november, 2011.
http://www.just-auto.com/store/samples/2010_icg_ecars_europe_sample.pdf

percentages uit onderstaande figuur eveneens gelden voor Vlaanderen. Zodoende kan het aantal verkochte elektrische wagens per jaar in Vlaanderen worden voorspeld. Tussen 2007 en 2010 werden in Vlaanderen, gemiddeld genomen, jaarlijks 274.199 nieuwe voertuigen ingeschreven.¹⁴⁵ Indien er wordt aangenomen dat dit verkoopscijfer constant blijft doorheen de tijd, zullen er in 2020 naar schatting 19.194 elektrische voertuigen in Vlaanderen worden verkocht.

Figuur 3.5: Voorspelde percentage elektrische wagens van de totale wagenverkoop per jaar (2010-2020)



Bron: International Consultancy Group, 2010, *Electric car markets in Europe: 10 countries analysis and strategic review*: p28. Opgevraagd op 5 november, 2011.
http://www.iust-auto.com/store/samples/2010_icg_ecars_europe_sample.pdf

Vermits netbeheerders en uitbaters van oplaadnetwerken niet volkomen objectief staan tegenover de verwachtingen omtrent elektrische wagens en deze waarschijnlijk overschatten, lijkt het aannemelijk om gegevens te gebruiken van de International Consultancy Group voor verdere berekeningen in kader van deze masterproef.

Eind 2011 bestond het Belgische voertuigenpark uit 321 elektrische personenwagens. In januari 2012 werden reeds 44 elektrische exemplaren verkocht, waarmee het totaal uitkomt op 365.¹⁴⁶ Volgens staatssecretaris van mobiliteit, Etienne Schouppe, werden er in 2011 tussen januari en juli 100 elektrische personenwagens ingeschreven, waarvan 97 op naam van bedrijven en slechts 3 op naam van particulieren. In 2010 werden slechts 2 van de 47 elektrische wagens gekocht voor particulier gebruik.¹⁴⁷ Hieruit blijkt dat er nog veel inspanningen geleverd moeten worden alvorens men kan spreken van een grootschalige introductie van de elektrische wagen bij de private eigenaar.

De Vlaamse Instelling voor Technologisch Onderzoek (VITO) stelt dat, wanneer men in België elektrische wagens op grote schaal wil verkopen, er proeftuinen ter beschikking moeten zijn

¹⁴⁵ Febiac, 2011, *Datadigest: Inschrijvingen van nieuwe voertuigen per provincie en gewest*. Opgevraagd op 5 november, 2011.

<http://www.febiac.be/public/statistics.aspx?FID=23&lang=NL>

¹⁴⁶ Willocx, G., Febiac, 2012, *E-mail*. Gecontacteerd op 23 februari, 2012.

¹⁴⁷ Vanheerentals, L., 2011, Aantal elektrische wagens blijft zeer beperkt in ons land, *ARGUS actueel*. Opgevraagd op 5 november, 2011.

<http://www.argusactueel.be/binnenlands-nieuws/aantal-elektrische-wagens-blijft-zeer-beperkt-in-ons-land>

teneinde praktijkervaring op te doen.¹⁴⁸ Hierop reageerde Vlaams minister van innovatie, Ingrid Lieten, door, in samenwerking met Infrax, een proefproject op te starten. Bij dit project worden honderd elektrische wagens ter beschikking gesteld van evenveel Vlaamse gezinnen. Zodoende kan men informatie vergaren van de toekomstige consument zelf.¹⁴⁹ Bovendien werd op 15 juli 2011 een voorstel van Ingrid Lieten met betrekking tot vijf proeftuinplatformen, naast het Vlaams Smart Grid Platform, goedgekeurd door de Vlaamse regering. Het beschikbare subsidiëeringsbedrag komt overeen met 16,25 miljoen euro. Het agentschap voor Innovatie door Wetenschap en Technologie (IWT) zorgt voor de verdeling van de subsidies over de vijf proeftuinplatformen. De platformen ontvangen zowel een investerings- als een werkingssubsidie van het IWT. Elk platform bestaat uit een consortium van verschillende bedrijven en instellingen, gaande van elektriciteitsproducenten en warenhuizen tot universiteiten en autoproducenten. De platformen hebben ieder hun eigen doelstellingen omtrent het concept van de elektrische wagen. De bedrijven binnenin een bepaald platform kunnen onderzoeken hoe ze het best kunnen bijdragen tot het realiseren van de gezamenlijke doelstellingen.¹⁵⁰ Het proeftuinenproject wordt begeleid door een *programme office*. Het VITO kreeg deze verantwoordelijkheid naar zich toegeschoven. Deze instelling staat in voor een vlot verloop van de communicatie tussen de verschillende platformen en zal algemene informatie verschaffen in verband met de bevonden resultaten overheen de platformen.¹⁵¹

¹⁴⁸ Vlaams Parlement, 2011, stuk 444 Nr. 2: *Voorstel van resolutie betreffende de bevordering van elektrische voertuigen die rijden op groene stroom in Vlaanderen*: p10. Opgevraagd op 29 oktober, 2011.
<http://docs.vlaamsparlement.be/docs/stukken/2009-2010/q444-2.pdf>

¹⁴⁹ Infrax, 2011, *Stad Hasselt zet deur wagenwijd open voor elektrische auto!*, Brussel. Opgevraagd op 14 oktober, 2011.
<http://www.infrax.be/nl/over-infrax/Nieuws/2011/20110114-elektrische-auto>

¹⁵⁰ Vlaamse Proeftuin: Elektrische Voertuigen, 2011. Opgevraagd op 6 november, 2011.
<http://www.proeftuin-ev.be/>

¹⁵¹ Agentschap voor Innovatie door Wetenschap en Technologie (IWT), 2011, *Proeftuin elektrische voertuigen in Vlaanderen van start*. Opgevraagd op 6 november, 2011.
<http://www.iwt.be/nieuws/proeftuin-elektrische-voertuigen-vlaanderen-van-start>

Hoofdstuk IV: Kosten en baten van de elektrische wagen

Het vierde hoofdstuk start met een inleiding omtrent de wagenmarkt en de impact van de elektrische wagen hierop. Vervolgens worden een aantal effecten van de elektrische wagen besproken. Aan de hand van deze effecten kan er een indeling gemaakt worden van alle kosten hieromtrent naar externe kosten, private kosten en overheidskosten. Deze drie kostensoorten worden uitvoerig besproken in dit hoofdstuk. Wel dient te worden opgemerkt dat de focus van deze masterproef ligt bij de private eigenaars van elektrische personenwagens, en niet bij de bedrijfswagens. Deze laatste groep zal aldus niet worden behandeld.

4.1 Inleiding

De automobiemarkt wordt verondersteld een competitieve markt te zijn. Er zijn immers veel consumenten en producenten in deze sector aanwezig. De prijs en hoeveelheid op een competitieve markt komen tot stand door een evenwicht tussen de vraag van de consumenten en het aanbod van de producenten.

De totale marktvraag naar een bepaald product, hier een wagen, komt tot stand door alle individuele vragen te sommeren. Slechts weinig mensen zullen bereid zijn een wagen te kopen tegen zeer hoge prijzen aangezien de kosten van een wagen dan de baten overtreffen. De baat duidt op het nut van een wagen voor de consument. Bij aanschaf van een wagen kan onder het nut ervan de mogelijkheid om zich te verplaatsen worden verstaan, indien prestige en dergelijke buiten beschouwing worden gelaten. Bij een lagere kostprijs zullen echter meer mensen bereid zijn om zich een wagen aan te schaffen, vermits de kosten de baten dan niet langer overstijgen. Door aggregatie van deze individuele baten bekomt men de marktvraag. Meer specifiek wordt de vraag voorgesteld door de marginale baten van de kopers. Deze marginale baat geeft het nut weer van een extra geconsumeerde eenheid en heeft een dalend karakter. Het nut van de eerste wagen is immers hoger dan deze van de vijfduizendste.

Het aanbod wordt daarentegen voorgesteld door de marginale kosten van de producent. Deze geeft de kost voor het produceren van een extra eenheid weer. De kost per wagen zal voor de producent aanvankelijk dalen omwille van schaalvoordelen, maar uiteindelijk zal deze marginale productiekost bij een hogere productiehoeveelheid stijgen ten gevolge van een intensievere productie. Over het algemeen wordt enkel dit laatste deel van de curve in grafieken weergegeven om het marktevenwicht te bepalen. Ter vereenvoudiging wordt een lineair patroon voor vraag en aanbod verondersteld, zoals in figuur 4.1 wordt getoond.¹⁵²

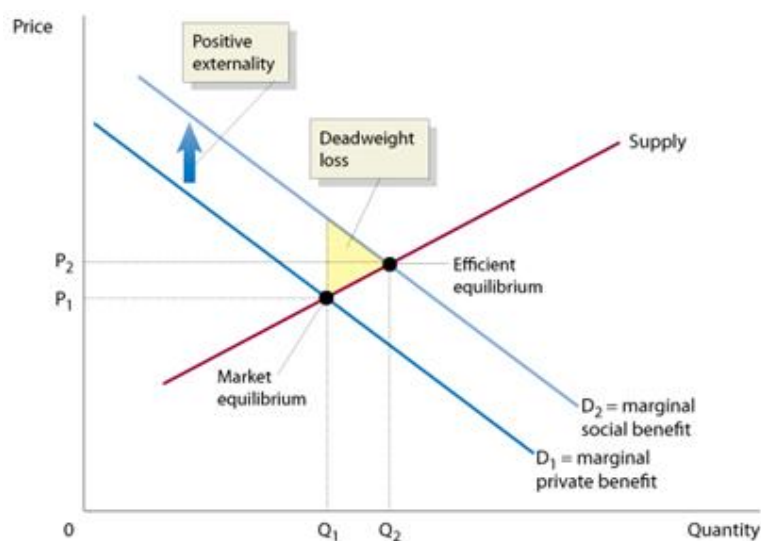
Ook in de markt van de elektrische wagen komt door vraag en aanbod een evenwicht met een overeenkomstige prijs en hoeveelheid tot stand. Dit evenwicht is gebaseerd op de private baten

¹⁵² Lipsey, R. G., & Christal, K. A., 2007, *Economics, Chapter 3: Demand, supply and price*, Oxford: University Press: p38-63.

van de consumenten. Echter, de aanschaf van een dergelijke wagen heeft eveneens effect op andere partijen. Dit worden externe kosten of baten genoemd naargelang de effecten op de derde partij respectievelijk negatief of positief zijn. Men vermoedt dat er een netto positief extern effect voortvloeit uit de overschakeling van een conventionele naar een elektrische wagen, aangezien minder vervuilende en schadelijke stoffen worden uitgestoten bij het gebruik van een dergelijke wagen. Dit heeft tot gevolg dat de marginale maatschappelijke baten, oftewel de som van de marginale private baten en de externe baten, groter zijn dan de marginale private baten. Kortom, de maatschappelijke vraag naar elektrische wagens is groter dan de private vraag.

Dit effect wordt geïllustreerd in figuur 4.1. Op de markt wordt er een hoeveelheid Q_1 geproduceerd. Bij deze hoeveelheid zijn de marginale maatschappelijke baten groter dan de marginale kosten van de producent. Bijgevolg wordt het efficiënte evenwicht, waar de maatschappelijke vraag het aanbod snijdt, niet bereikt. Bij een situatie met een positieve externaliteit worden aldus minder eenheden geproduceerd dan maatschappelijk wenselijk (Q_2). Hierdoor treedt er een *deadweight loss* op, oftewel een netto maatschappelijk verlies in welvaart. Dit verlies wordt in figuur 4.1 aangegeven door de gele driehoek. Er zal enkel een optimale welvaart bereikt worden indien de marginale maatschappelijke baten gelijk zijn aan de marginale maatschappelijke kosten. Zolang de marginale maatschappelijke baten de marginale maatschappelijke kosten overstijgen zullen dus bijkomende eenheden moeten worden geproduceerd.¹⁵³

Figuur 4.1: Positief extern effect van een elektrische wagen



Bron: Hubbard, R. G., & O'Brien A. P., 2010, *Essentials of Economics, Chapter 5: Externalities, Environmental Policy, and Public Goods*, Boston: Pearson Education.

De redenering kan ook vanuit een ander perspectief worden opgebouwd, namelijk vanuit het marktperspectief voor conventionele wagens. Dergelijke wagens gaan immers gepaard met een negatief extern effect, vermits ze netto meer schadelijke stoffen uitstoten dan een elektrische

¹⁵³ Boardman, A. E., Greenberg, D. H., Vining, A. R., & Weimer, D. L., 2011, *Cost-Benefit Analysis: Concepts and Practice, Part 2: Chapter 4 Valuing Benefits and Costs in Primary Markets: Externalities*, Boston: Pearson Education: p91-94.

wagen. Hierdoor zal de maatschappelijke vraag zich onder de private vraag situeren en zullen er, vanuit maatschappelijk oogpunt, bijgevolg te veel conventionele wagens geproduceerd worden.

Externe effecten behoren, net zoals collectieve voorzieningen, informatieasymmetrie en monopoliemacht, tot de marktfalingen.¹⁵⁴ In al deze gevallen wordt het efficiënte evenwicht in vraag en aanbod immers niet bereikt zonder overheidsingrijpen. Externe effecten ontstaan doordat consumenten meestal uitsluitend rekening houden met hun private kosten, zoals aanschaf-, verzekerings- en brandstofkosten, en hun private baten. Er wordt met andere woorden weinig of niet gekeken naar de externe kosten en baten voor de maatschappij, zoals respectievelijk meer en minder vervuiling, die een gevolg zijn van hun keuze. Bijgevolg wordt geen efficiënt evenwicht bereikt en treedt er aldus een marktfaling op. Het is dan de rol van de overheid om in te grijpen en consumenten te prikkelen om hun koopgedrag af te stemmen op datgene wat maatschappelijk wenselijk is. Bij het zoeken naar een oplossing voor deze marktfaling moet de overheid trachten de welvaart te maximaliseren. Concreet betekent het voorgaande dat de overheid het *deadweight loss* moet proberen weg te werken. Dit is mogelijk door gebruik te maken van reguleringsinstrumenten, waaronder belastingen en subsidies thuishoren.

De overschakeling van een conventionele naar een elektrische wagen zal niet alleen externe baten met zich meebrengen, maar gaat ook gepaard met een stijging van de private kosten. In deze masterproef wordt verondersteld dat de consument rationele beslissingen maakt en dus enkel kijkt naar zijn private kosten en baten ingeval de overheid niet tussenkomt. Indien er wordt aangenomen dat de private baten van een conventionele en een elektrische wagen gelijk zijn, zal een potentiële consument de private kosten van beide varianten tegen elkaar afwegen voor het nemen van een beslissing. Gezien de huidige aanschafkosten van de verschillende wagentypes zal de consument veeleer geneigd zijn een conventionele wagen te kopen. Deze voorkeur zal standhouden zolang overheidsingrijpen de extra private kosten niet compenseert.

Uit voorgaande kan besloten worden dat de aanschaf en het gebruik van wagens met verschillende kostensoorten gepaard gaan, met name private kosten, externe kosten en overheidskosten voor regulering en stimulering van bepaalde gedragingen. Er zullen eveneens kosten en baten zijn voor de auto- en batterijproducenten. Deze laatste marktactoren zullen in deze masterproef echter beide buiten beschouwing worden gelaten.

In kader van deze masterproef wordt getracht de grootte van het verwachte positief extern effect en de bijkomende private kosten, die ontstaan door de vervanging van de conventionele door de elektrische wagen, te schatten. Eveneens zullen de hiermee gepaard gaande kosten voor de overheid in overweging worden genomen. Dit alles gebeurt door een afweging van de private kosten en de maatschappelijke baten van beide varianten te maken. Met de private baten zal echter geen rekening worden gehouden. Immers, een personenauto wordt in de eerste plaats aangeschaft om zich te verplaatsen indien, zoals eerder vermeld, er niet wordt gekeken naar prestige en dergelijke. De verplaatsingsmogelijkheid is dan de baat die consumenten uit de

¹⁵⁴ Matthijs, H., Naert, F., & Vuchelen, J., 2007, Handboek Openbare Financiën, Deel 2: Hoofdstuk 1: Allocatie, Antwerpen: Intersentia: p33.

aanschaf van een wagen halen. Hierbij wordt verondersteld dat de private baat van een conventionele wagen gelijk is aan deze van de elektrische tegenhanger. Bovendien is deze private baat moeilijk uit te drukken in financiële termen en wordt deze bijgevolg buiten beschouwing gelaten.

Uit bovenstaande kan worden afgeleid dat het wel mogelijk is om te kijken naar de private kosten en de verwachte positieve externe effecten bij de overschakeling van de conventionele naar de elektrische wagen. De positieve externe effecten kunnen worden geïnterpreteerd als vermeden externe kosten. Bij overschakeling van de conventionele naar de elektrische wagen kan er dus een afweging worden gemaakt tussen de toename in de private kosten en de vermeden externe kosten. Echter, vooraleer het maatschappelijk verantwoord is om tot overschakeling over te gaan, moeten de maatschappelijke kosten, oftewel de som van private en externe kosten, van de conventionele wagen deze van de elektrische overtreffen. Met andere woorden is de overschakeling enkel wenselijk wanneer de toenemende private kost kleiner is dan de vermeden externe kost. De toename in de private kosten, die voortvloeit uit de aanschaf van een elektrische wagen, moet dan gecompenseerd worden door de overheid. Zo niet, zal het merendeel van de consumenten veeleer geneigd zijn tot aanschaf van een conventionele wagen.

Op huidig ogenblik bestaat het Belgische voertuigenpark van personenwagens voor 98,9 procent uit benzine- en dieselwagens. Omwille hiervan zal de elektrische wagen enkel worden vergeleken met deze twee wagentypes om zo na te gaan wat de mogelijke impact is van de introductie van de elektrische wagen op de maatschappij als geheel. Indien de overige personenwagens (1,1 procent) buiten beschouwing worden gelaten, kan er worden vastgesteld dat het Belgische voertuigenpark in 2011 voor veertig procent uit benzinewagens en voor zestig procent uit dieselwagens bestond.¹⁵⁵ Deze verhouding zal eveneens gebruikt worden in latere berekeningen die betrekking hebben op Vlaanderen. Alvorens te starten met de schatting van de private en de vermeden externe kosten alsook de overheidskosten, wordt er een opsomming gegeven van een aantal positieve en negatieve effecten van elektrische wagens ten opzichte van conventionele wagens.

4.2 Effecten van de elektrische ten opzichte van de conventionele wagen

De elektrische wagen heeft een aantal positieve effecten ten opzichte van de conventionele benzine- en dieselwagen. De belangrijkste worden hier opgesomd. Een eerste effect omvat de emissiereductie door minder verbranding van fossiele brandstoffen. Indien er naar de elektrische wagen op zich wordt gekeken, lijkt deze de oplossing te bieden voor de slechte luchtkwaliteit die op zijn beurt gezondheidsproblemen en klimaatveranderingen veroorzaakt. Het rijden met een dergelijke wagen brengt immers geen schadelijke of vervuilende stoffen met zich mee. Het probleem van luchtvervuiling doet zich echter wel in een andere fase voor, namelijk bij de

¹⁵⁵ FOD Economie, 2011, *Voertuigenpark*. Opggevraagd op 7 november, 2011.
<http://statbel.fgov.be/nl/statistiek/cijfers/verkeer/vervoer/verkeer/voertuigpark/>

elektriciteitsproductie. De elektrische wagen krijgt dan ook vaak de naam van een 'ergens anders vervuילend voertuig' toegewezen. Nochtans blijkt een netto reductie van emissies wel degelijk mogelijk te zijn, maar deze is afhankelijk van de manier waarop de elektriciteit wordt opgewekt. Indien het opwekken van elektriciteit gebeurt door de verbranding van fossiele brandstoffen, zal de reductie vanzelfsprekend kleiner zijn dan wanneer dit gebeurt door middel van hernieuwbare energiebronnen. Een tweede positief effect van de elektrische wagen is dat deze geen fossiele brandstoffen verbruikt, tenzij onrechtstreeks indien de benodigde elektriciteit hiermee wordt opgewekt. Bijgevolg ontstaat niet enkel bij de verbranding van fossiele brandstoffen een emissiereductie, maar ook bij de ontginning en productie van dergelijke brandstoffen. Immers, een gedeelte van de emissies die vrijkomen bij de productie van fossiele brandstoffen worden vermeden aangezien deze brandstoffen in mindere mate geproduceerd moeten worden. Een volgende effect situeert zich op vlak van de distributie van energie. Elektriciteit kan gemakkelijk worden getransporteerd over het huidige elektriciteitsnet, daar conventionele brandstoffen vaak naar de consument worden vervoerd door tankwagens die op hun beurt ook weer vervuילend zijn.¹⁵⁶ Ten vierde blijkt dat de onderhoudskosten voor een elektrische wagen lager liggen dan bij een benzine- en dieselwagen. Dit komt onder meer door het feit dat een elektromotor minder bewegende onderdelen bevat, die gevoelig zijn voor slijtage, dan een verbrandingsmotor.¹⁵⁷ Een vijfde effect houdt in dat het 'bron-tot-wiel pad' van een elektromotor veel efficiënter is dan dit van een conventionele motor.¹⁵⁸ Daarnaast gaan er ook fiscale effecten gepaard met een elektrische wagen. Men moet voor de inverkeerstelling van een dergelijke wagen immers geen belasting betalen en bovendien is het minimumtarief van de jaarlijkse verkeersbelasting van toepassing. Verder kan men zowel voor de elektrische wagen als voor de thuislaadinfrastructuur aanspraak maken op een belastingvermindering.¹⁵⁹ Tot slot zorgen elektrische wagens voor minder geluidshinder aangezien een elektromotor zeer stil functioneert. Bovendien ontstaat er, voornamelijk bij lage snelheden, weinig geluid door de bandenwrijving. Bij hogere snelheden daarentegen ontstaat er meer geluid door de wrijving van de banden met het wegdek, maar de geluidsoverlast zal nooit deze van een conventionele wagen overtreffen.¹⁶⁰

Daartegenover staan een aantal negatieve effecten die aan elektrische wagens verbonden zijn. Voorbeelden hiervan zijn de relatief beperkte autonomie, de relatief lange oplaadtijden, de verhoogde totale elektriciteitsproductie en de veroudering van de batterij met verlies aan capaciteit

¹⁵⁶ King, J., 2007, *The King Review of low-carbon cars*, Part I: the potential for CO₂ reduction: p28. Opgevraagd op 12 oktober, 2011.

http://www.physics.harvard.edu/~wilson/energypmp/2008_King_I.pdf

¹⁵⁷ EnergiePortal, 2009, *kosten van elektrische auto*. Opgevraagd op 31 oktober, 2011.

<http://www.energieportal.nl/Newsflash/Newsflash/Kosten-van-elektrische-auto-5113.html>

¹⁵⁸ Milieuraapport Vlaanderen, 2007, *Energie-efficiëntie van verschillende modi van personen- en goederenvervoer*. Opgevraagd op 7 november, 2011.

<http://www.milieuraapport.be/nl/feitencijfers/MIRA-T/sectoren/transport/energiegebruik-door-transport/energie-efficiëntie-van-verschillende-modi-van-persone-en-goederenvervoer/>

¹⁵⁹ Vlaamse Overheid, 2011, *Belastingvermindering bij de aankoop van een elektrisch voertuig of installatie van een laadpaal*. Opgevraagd op 7 november, 2011.

http://www.vlaanderen.be/servlet/Satellite?c=Solution_C&cid=1267507695761&context=1141721623065---1191211213991-1191211213991-1187251344078-1198314514243&p=1186804409590&pagename=Infolijn%2FView

¹⁶⁰ TNO Industrie en Techniek, 2009, *Elektrisch Vervoer in Amsterdam Onderbouwing van ambitie en doelstelling en adviezen voor een effectieve aanpak*: p7. Opgevraagd op 8 november, 2011.

<http://www.amsterdam.nl/publish/pages/248053/tno-rapportelektrischvervoerinamsterdam.pdf>

als gevolg.¹⁶¹ Bovendien kan de geluidsvermindering ook als een negatief effect worden beschouwd met betrekking tot de verkeersveiligheid. Men hoort de auto immers niet meer naderen. Daarom zijn sommige producenten bezig met de ontwikkeling van kunstmatige geluiden voor elektrische wagens.¹⁶² Het grootste negatief effect voor de consument is hoogstwaarschijnlijk de aanzienlijke kostprijs van de elektrische wagen in vergelijking met zijn conventionele tegenhanger. Deze wordt voornamelijk beïnvloed door de hoge batterijkosten.

Naast de private en externe kosten zullen eveneens de overheidskosten, die gepaard gaan met de invoering van de elektrische wagen, in acht worden genomen. Naar verluidt is het bij een grootschalige introductie van de elektrische wagen onontbeerlijk dat het huidige elektriciteitsnet wordt omgevormd tot een *Smart Grid* met slimme meters.¹⁶³ Hiervoor zal men zich tot de overheid moeten wenden. Eveneens staat de overheid in voor de belastingverminderingen die gepaard gaan met investeringen omtrent elektrische wagens. De hieruit voortvloeiende kosten maken deel uit van de reguleringskosten. Verder in dit hoofdstuk zal nog dieper worden ingegaan op andere overheidskosten.

De bedoeling van dit hoofdstuk is om de kosten en baten voor de maatschappij, omtrent de invoering van de elektrische wagen, als geheel in overweging te nemen. Daar de positieve effecten van de elektrische wagen moeilijk te kwantificeren zijn, en de negatieve effecten van een conventionele wagen grotendeels overeenkomen met de desbetreffende positieve effecten van een elektrische wagen, zal de afweging gebeuren aan de hand van de negatieve effecten van de elektrische en de conventionele wagen. De verschillende kosten die hiermee gepaard gaan, kunnen worden opgedeeld in drie categorieën, namelijk de externe kosten, de private kosten en de overheidskosten. In figuur 4.2 wordt een opsomming van alle kosten weergegeven. Hierna zal iedere kost afzonderlijk worden besproken. Bijkomend kan worden opgemerkt dat de berekening van de verschillende kostensoorten in dit hoofdstuk worden gebaseerd op de huidige regelgeving omtrent de elektrische wagen.

¹⁶¹ Delucchi, M. A., & Lipman, T. E., 2001, *An analysis of the retail and lifecycle cost of battery-powered electric vehicles*, University of California: Institute of Transportation Studies: p372. Opgevraagd op 7 november, 2011. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1361920900000316>

¹⁶² Mobimix: platvorm ecologisch vlootbeheer, 2010, *Onderzoek naar geluid voor elektrische wagens*. Opgevraagd op 8 november, 2011. <http://www.mobimix.be/inhoud/2010/5/5/1616>

¹⁶³ Vlaams Parlement, 2011, stuk 444 Nr. 2: *Voorstel van resolutie betreffende de bevordering van elektrische voertuigen die rijden op groene stroom in Vlaanderen*: p10. Opgevraagd op 29 oktober, 2011. <http://docs.vlaamsparlement.be/docs/stukken/2009-2010/q444-2.pdf>

Figuur 4.2: Kosten verbonden aan verschillende wagentypes



Bron: Eigen verwerking.

4.3 Externe kosten en baten van de elektrische wagen

Om de externe kosten in kaart te brengen, wordt er enkel rekening gehouden met de verschillen tussen de elektrisch en de conventioneel aangedreven wagen. Zo zal de uitstoot van beide wagens verschillend zijn, aangezien er bij de elektrische wagens geen rechtstreekse emissies voorkomen. Eveneens behoren de emissies die veroorzaakt worden door de brandstof- en elektriciteitsproductie tot de verschillen. Bij de opkomst van de elektrische wagen zullen immers minder brandstoffen moeten worden gewonnen en zal de vraag naar elektriciteit stijgen. Als laatste onderscheid komt geluidshinder aan bod. Zoals vermeld zal de elektromotor minder geluidshinder veroorzaken. Elk van voorgaande verschillen gaat gepaard met een externe kost of baat voor de elektrische wagen. Er wordt getracht deze kosten en baten zo correct mogelijk in overweging te nemen. Hierbij zullen de baten van de elektrische wagen aldus worden uitgedrukt in vermeden kosten van de conventionele tegenhanger.

Bijkomend dient te worden opgemerkt dat in kader van deze masterproef geen rekening wordt gehouden met de externe schadekosten die gepaard gaan met de productie van de verschillende wagentypes. Aldus, enkel de kosten met betrekking tot de aanschaf en het gebruik van de wagen zullen in acht worden genomen. Eveneens wordt de externe kost van de batterijproductie buiten

beschouwing gelaten, daar lithium op een milieuvriendelijke wijze kan worden gewonnen en tot meer dan negentig procent van een verouderde lithium-ion batterij kan worden gerecycleerd.¹⁶⁴

4.3.1 Uitstoot van de conventionele wagens

Naast koolstofdioxide (CO₂) en fijn stof (PM), die het meest bekend zijn, worden nog andere stoffen uitgestoten door personenwagens die van invloed zijn op het milieu en de menselijke gezondheid. Deze stoffen kunnen worden opgedeeld in niet-broeikasgassen en broeikasgassen. Tot de eerste categorie behoren, net zoals fijn stof, onder meer koolstofmonoxide (CO), niet-methaan koolwaterstoffen (NM-KWS), stikstofoxiden (NO_x) en zwaveldioxide (SO₂). Hierbij moet worden opgemerkt dat er eventueel ook zware metalen kunnen vrijkomen, maar dan wel in zeer geringe hoeveelheid. Vandaar dat ze niet in rekening worden gebracht bij de uitlaat van de wagen. De uitstoot van zware metalen door de energie-industrie is daarentegen veel groter en komt later aan bod.¹⁶⁵ Tot de tweede emissie categorie behoren de broeikasgassen. Hieronder vallen, naast CO₂, nog twee andere broeikasgassen die worden uitgestoten door voertuigen, namelijk distikstofoxide (N₂O) en methaan (CH₄). Deze laatste weliswaar in zeer beperkte mate. In wat volgt worden de effecten van de zojuist vernoemde stoffen opgesomd.

4.3.1.1 Niet-broeikasgassen

De herkomst van fijn stof (PM) kan zowel antropogeen als natuurlijk zijn. Antropogeen duidt erop dat het fijn stof veroorzaakt wordt door de mens. Een voorbeeld van een natuurlijke oorzaak is het fijn stof dat vrijkomt tijdens een vulkaanuitbarsting.¹⁶⁶ De focus van deze masterproef ligt echter bij het antropogene fijn stof. Daarnaast kan de oorsprong van fijn stof ook worden opgedeeld in zowel een primaire als een secundaire vorm. De primaire vorm ontstaat bij de verbrandingsprocessen. Het gebruik van verbrandingsmotoren, in het bijzonder de dieselmotor, zorgt voor de uitstoot van fijn stof. Secundaire stofdeeltjes daarentegen ontstaan door reacties van gassen, zoals stikstofoxiden en zwaveldioxide, waarbij kleine vaste deeltjes worden gevormd. Zoals reeds vermeld in de probleemstelling, kan er eveneens een indeling gemaakt worden op basis van de diameter van de stofdeeltjes. Wagens met conventionele motoren stoten voornamelijk fijn stof uit met een diameter kleiner dan 2,5 micrometer (PM_{2,5}).¹⁶⁷

¹⁶⁴ Umicore, 2008, *Umicore Recycling & Recovery Yields and Rates*. Opgevraagd op 8 november, 2011. <http://www.batteryrecycling.umicore.com/batteryRecycling/batteryRecyclingYieldsRates.htm>

¹⁶⁵ Lenntech: Water Treatment Solutions, 2011, *Zware metalen*. Opgevraagd op 8 november, 2011. <http://www.lenntech.nl/processen/zwaar/zware-metalen/zware-metalen.htm>

¹⁶⁶ Morgenstern, P. P., van der Ree, J., & Dusseldorp, A., 2010, *Fijn stof van antropogene bronnen: Een literatuurstudie naar samenstelling en verspreiding*, Bilthoven (NL): Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM): p21. Opgevraagd op 9 november, 2011. <http://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/609300016.pdf>

¹⁶⁷ Funk, K., & Rabl, A., 1999, *Electric versus conventional vehicles: social costs and benefits in France*, Transportation Research Part D, p401. Opgevraagd op 11 oktober, 2011. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1361920999000188>

Onderzoek toont aan dat er een relatie bestaat tussen de concentratie van fijn stof en gezondheidsproblemen. Deze kunnen zowel op een indirecte als een directe wijze veroorzaakt worden. Fijn stof kan enerzijds een drager zijn van onder andere zware metalen, PAK's, bestrijdingsmiddelen en dioxines. Door inademing komen deze schadelijke stoffen in het lichaam terecht. Anderzijds kunnen de stofdeeltjes op zich ook schade veroorzaken. Wanneer de stofdeeltjes worden ingeademd, kan dit immers leiden tot problemen met het ademhalingsstelsel.¹⁶⁸ De gevolgen hebben zowel een acuut als een chronisch effect op de luchtwegen. Voorbeelden van acute effecten zijn hoesten en benauwdheid, terwijl de aftakeling van de longfunctie behoort tot de langetermijneffecten. Hoe kleiner de deeltjes zijn, hoe schadelijker ze zijn voor het lichaam, vermits ze verder kunnen doordringen in het ademhalingssysteem en zo eventueel in de bloedsomloop terecht kunnen komen. Bijgevolg zal er, naarmate de deeltjes kleiner zijn, een grotere externe kost aan gekoppeld worden.¹⁶⁹ Er dient eveneens te worden opgemerkt dat niet enkel de brandstofverbranding een uitstoot van fijn stof met zich meebrengt. Fijn stof wordt ook gecreëerd door slijtage van de wegen, de banden van de wagen en andere onderdelen.¹⁷⁰ In deze masterproef wordt aangenomen dat fijn stof niet geproduceerd door de uitlaat van de wagen gelijk is bij de elektrische en de conventionele wagen.

Koolstofmonoxide is een kleurloos en reukloos gas dat vrijkomt bij een onvolledige verbranding van koolstofhoudende producten. De inademing van een dergelijk gas wordt derhalve niet opgemerkt door de desbetreffende persoon. De gevolgen kunnen echter fataal zijn. CO bindt zich, in vergelijking met zuurstof, immers beter aan de rode bloedcellen die normalerwijze zorgen voor het transport van zuurstof in het lichaam. Hierdoor heeft de persoon in kwestie een tekort aan zuurstof zonder dat hij het merkt.¹⁷¹ Meestal gebeuren ongevallen omtrent CO-vergiftiging binnenshuis door boilers, gasfornuizen of openhaarden in combinatie met een slechte ventilatie. Hierbij worden mensen blootgesteld aan hoge CO-concentraties met acute gevolgen, zoals bewusteloosheid door een tekort aan zuurstof, die zelfs kunnen leiden tot sterfte. Lagere concentraties daarentegen kunnen ook negatieve effecten hebben bij een chronische blootstelling. Dit kan een gevolg zijn van emissies in het verkeer, waar vooral verstedelijkte gebieden door getroffen worden. Effecten van deze chronische blootstelling zijn onder andere hoofdpijn, vermoeidheid, misselijkheid en hartritme stoornissen. Het zijn hoofdzakelijk kinderen en ouderen die zeer gevoelig zijn voor de effecten van koolstofmonoxide.¹⁷² Hiernaast kan koolstofmonoxide ook zorgen voor de ontwikkeling van ozon (O₃). Dit laatste veroorzaakt ademhalingsproblemen en eventuele irritatie aan de ogen.¹⁷³

¹⁶⁸ Departement Leefmilieu, Natuur en Energie, 2011, *Beschrijving milieuproblemen*. Opgevraagd op 2 november, 2011.

<http://www.lne.be/themas/luchtverontreiniging/beschrijving-van-de-milieuproblemen/#fijn%20stof>

¹⁶⁹ Medisch milieukundigen, 2011. Opgevraagd op 4 november, 2011.

<http://www.mmk.be/vrij.cfm?Id=194>

¹⁷⁰ Schrooten, L., Polders, C., Meynaerts, E., De Vlieger, I., Timmermans, V., & Cornelis, V., 2007, De emissie-inventaris fijn stof geactualiseerd. *Ecotips*, Vol. 12 Nr. 3, p32. Opgevraagd op 4 november, 2011.

<http://www.vito.be/VITO/Search.aspx>

¹⁷¹ De gezondheidssite voor Vlaanderen, 2009, *Koolstofmonoxide*. Opgevraagd op 1 november, 2011.

http://www.gezondheid.be/index.cfm?fuseaction=art&art_id=332

¹⁷² Ticheler, M., 2008, Meldpunt Gezondheid en Milieu, *Koolmonoxide*: p1-7. Opgevraagd op 6 november, 2011.

<http://www.meldpuntgezondheidenmilieu.nl/documenten/faqs/a-koolmonoxide-febr2008%20Website.pdf>

¹⁷³ Vlaamse Milieumaatschappij, 2011, *Verhoogde ozonconcentraties begin deze week*. Opgevraagd op 11 november, 2011.

<http://www.vmm.be/nieuwsmap/ozon-waarschuwingbericht-1>

Niet-methaan koolwaterstoffen (NM-KWS) zijn, afgezien van methaan (CH_4), alle chemische verbindingen die uitsluitend uit koolstof (C) en waterstof (H) bestaan. De meest schadelijke zijn de polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAK's). Deze groep bestaat uit ringen gevormd door koolstof en waterstof met als praktijkvoorbeeld benzeen (C_6H_6). PAK's zijn schadelijk voor de gezondheid van de mens. Ze kunnen immers kanker veroorzaken. NM-KWS dragen bovendien ook bij tot het gat in de ozonlaag waardoor meer UV-straling het aardoppervlak bereikt, wat schadelijk is voor de huid. Bovendien kunnen ze ook zorgen voor de vorming van ozon in de lucht.^{174, 175}

Stikstofoxiden zijn chemische verbindingen die enkel bestaan uit stikstof (N) en zuurstof (O). Ze vormen de formule NO_x , waarbij x natuurlijke getallen van één tot en met drie kan aannemen. Een eerste gevolg van NO_x is zure regen. Dit tast de natuurlijke vegetatie aan, beschadigt gebouwen en mensen met ademhalingsproblemen zijn er extra gevoelig voor. Ten tweede kan NO_x door warmte en licht reageren met niet-methaan koolwaterstoffen tot ozon. Dit is op zijn beurt schadelijk voor de luchtwegen. Een derde gevolg van NO_x is dat het kan reageren met ammonia en vocht. Deze reactie leidt tot de vorming van fijne stofdeeltjes die gevaarlijk zijn bij inademing. Tot slot kan een specifieke vorm van NO_x , namelijk stikstofdioxide (NO_2), bij hoge concentraties in de lucht het licht tegenhouden en leiden tot een verminderd zicht. Dit komt vooral voor in verstedelijkte omgevingen.^{176, 177}

Zwavedioxide (SO_2) zorgt voor irritatie van de neus, de keel en de ogen.¹⁷⁸ Indien er zich een langdurige blootstelling voordoet, zal de kans op infecties zoals chronische bronchitis toenemen. Het kan echter ook reageren met water tot zwavelzuur en zo eveneens schade toebrengen aan de luchtwegen bij inademing. Zwavedioxide is, naast stikstofoxiden, bovendien ook mede verantwoordelijk voor de ontwikkeling van zure regen. Tot slot kan er ook fijn stof worden gevormd door chemische reacties in de atmosfeer met zwavedioxide.^{179, 180}

Uit de bespreking van bovenstaande stoffen kan worden besloten dat stikstofoxiden en zwavedioxide behoren tot de verzurende stoffen. Stikstofoxiden kunnen eveneens worden ondergebracht bij de ozonprecursoren, net zoals koolstofmonoxide en niet-methaan koolwaterstoffen.¹⁸¹

¹⁷⁴ Milieuloket, 2011, *Koolwaterstoffen*. Opgevraagd op 11 november, 2011.

<http://www.milieuloket.nl/9353000/1/j9vvhurbs7rzkg9/vhurdyxq2n7n>

¹⁷⁵ Bos, R. P., Vakgroep Toxicologie, 1996, *Chemische feitelijkheden: Polycyclische aromatische koolwaterstoffen*, Nijmegen: Katholieke Universiteit: p1-2.

<http://www.chemischefeitelijkheden.nl/Uploads/Magazines/h051.pdf>

¹⁷⁶ Milieuloket, 2011, *Stikstofoxiden*. Opgevraagd op 10 november, 2011.

<http://www.milieuloket.nl/9353000/1/j9vvhurbs7rzkg9/vhurdyxq5fvm>

¹⁷⁷ Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut (KNMI), 2011, *Stikstofoxiden en gezondheid*. Opgevraagd op 10 november, 2011.

http://www.knmi.nl/~eskes/NOx_intro_nl.html

¹⁷⁸ De gezondheidsraad, 2003, *Sulphur dioxide; health-based recommended occupational exposure limit*. Opgevraagd op 10 november, 2011.

<http://www.gezondheidsraad.nl/nl/adviezen/sulphur-dioxide-health-based-recommended-occupational-exposure-limit>

¹⁷⁹ Milieuloket, 2011, *Zwavedioxide*. Opgevraagd op 12 november, 2011.

<http://www.milieuloket.nl/9353000/1/j9vvhurbs7rzkg9/vhurdyxq2n79>

¹⁸⁰ Energie- & milieu-informatiesysteem voor het Vlaams Gewest, 2009. Opgevraagd op 12 november, 2011.

<http://www.emis.vito.be/mvv-emissies>

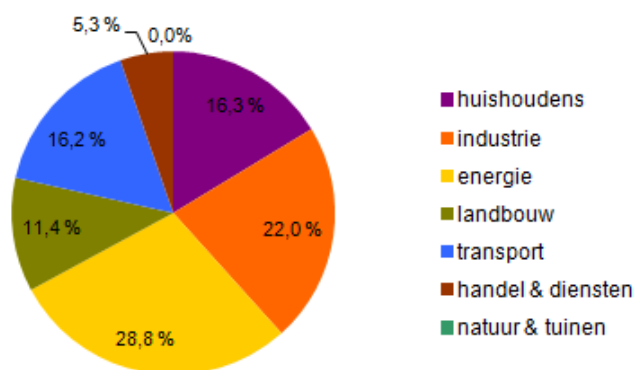
¹⁸¹ Milieurapport Vlaanderen, 2011, *Energiesector*. Opgevraagd op 12 november, 2011.

<http://www.milieurapport.be/nl/feitencijfers/MIRA-T/sectoren/energiesector/>

4.3.1.2 Broeikasgassen

Terwijl de niet-broeikasgassen verschillende gevolgen hebben, veroorzaken de broeikasgassen allemaal eenzelfde effect, namelijk de opwarming van de aarde. Koolstofdioxide is het meest bekende broeikasgas en vertegenwoordigt dan ook het grootste aandeel in deze categorie. In 2009 was de uitstoot van CO₂ in België immers goed voor 87 procent van de totale emissie van broeikasgassen. Methaan (CH₄) en distikstofoxide (N₂O) daarentegen vertegenwoordigden respectievelijk vijf en zes procent van de totale uitstoot van broeikasgassen.¹⁸² Hoewel CH₄ en N₂O in mindere mate aanwezig zijn, hebben ze een krachtiger effect op de klimaatverandering dan CO₂. Methaan blijkt 23 keer en distikstofoxide 298 keer sterker te zijn dan CO₂.¹⁸³ Vermits de verschillende gassen niet hetzelfde gewicht hebben, moet dit in rekening worden gebracht. Het komt erop neer dat één gram CH₄ overeenstemt met vier gram CO₂, terwijl één gram N₂O hetzelfde effect heeft als 310 gram koolstofdioxide.¹⁸⁴ Aangezien CO₂, CH₄ en N₂O hetzelfde gevolg hebben, weliswaar met een verschillende sterkte, kan de totale uitstoot in broeikasgassen worden uitgedrukt in CO₂-equivalenten. In 2009 bedroeg in Vlaanderen de totale uitstoot in CO₂-equivalenten 77 megaton (10¹² gram). Indien in figuur 4.3 naar de transportsector, inclusief personenwagens, wordt gekeken, kan er worden vastgesteld dat deze sector in 2009 verantwoordelijk was voor 16,2 procent van de totale uitstoot van broeikasgassen. Dit komt overeen met 12,47 megaton CO₂-equivalenten. Meer dan de helft van deze transportuitstoot, namelijk 7,6 megaton, werd veroorzaakt door personenwagens.¹⁸⁵

Figuur 4.3: Aandeel van de verschillende Vlaamse sectoren in de totale uitstoot van broeikasgassen in 2009



Bron: Milieurapport Vlaanderen, 2011, *Emissies van broeikasgassen per sector*. Opgevraagd op 13 november, 2011.

[http://www.milieurapport.be/nl/feitencijfers/MIRA-T/milieuthemas/klimaatverandering/emissie-van-broeikasgassen/emissie-van-broeikasgassen-per-sector-\(co2-ch4-n2o-sf6-hfks-pfks\)/](http://www.milieurapport.be/nl/feitencijfers/MIRA-T/milieuthemas/klimaatverandering/emissie-van-broeikasgassen/emissie-van-broeikasgassen-per-sector-(co2-ch4-n2o-sf6-hfks-pfks)/)

¹⁸² De Federale Dienst Klimaatverandering, 2011, *De bijdrage van de verschillende broeikasgassen aan de totale uitstoot en hun evolutie*. Opgevraagd op 13 november, 2011.

<http://www.climat.be/spip.php?article180&fs=>

¹⁸³ Febiac, 2007, *De uitdaging CO₂*, Brussel: p4. Opgevraagd op 11 oktober, 2011.

http://www.febiac.be/documents_febiac/publications/guide_co2_NL.pdf

¹⁸⁴ Energie- & milieu-informatiesysteem voor het Vlaams Gewest, 2009. Opgevraagd op 13 november, 2011.

<http://www.emis.vito.be/mvv-emissies>

¹⁸⁵ Milieurapport Vlaanderen, 2011, *Emissies van broeikasgassen per sector*. Opgevraagd op 13 november, 2011.

[http://www.milieurapport.be/nl/feitencijfers/MIRA-T/milieuthemas/klimaatverandering/emissie-van-broeikasgassen/emissie-van-broeikasgassen-per-sector-\(co2-ch4-n2o-sf6-hfks-pfks\)/](http://www.milieurapport.be/nl/feitencijfers/MIRA-T/milieuthemas/klimaatverandering/emissie-van-broeikasgassen/emissie-van-broeikasgassen-per-sector-(co2-ch4-n2o-sf6-hfks-pfks)/)

4.3.1.3 Emissiewetgeving

De uitstoot van niet-broeikasgassen door personenwagens wordt gereguleerd door middel van de Euronormen. Deze worden opgesteld in de schoot van de Europese Commissie, in samenwerking met de Europese Vereniging voor Automobielfabrikanten (ACEA).¹⁸⁶ In tabel 4.1 wordt de regelgeving samengevat. De eerste kolom geeft aan om welke maatregel het gaat en de tweede kolom laat zien vanaf wanneer de desbetreffende regel van kracht is. Vanaf deze datum is de regel enkel van toepassing op nieuwe wagens. Aldus zijn de regels niet aan de orde voor oudere modellen. Er kan bijgevolg worden aangenomen dat oudere wagens over het algemeen vervuilerder zijn dan recent ontwikkelde exemplaren.

In de tabel wordt een onderscheid gemaakt tussen benzine- en dieselwagens. Voor beide kan men de maximale uitstoot van iedere emissiecomponent terugvinden (in gram per kilometer). De regels worden doorheen de jaren alsmaar strenger. Er kan dus ook een daling in de vervuilingsgraad worden vastgesteld. Euronorm één tot en met vier voorziet geen maximale uitstoot fijn stof (PM) bij de benzinewagen, omdat er bij de verbranding van benzine relatief weinig fijn stof vrijkomt ten opzichte van de dieselverbranding. Echter, de maximaal toegelaten uitstoot van fijn stof bij de nieuwe dieselmotoren is al ver teruggeschoefd doorheen de tijd en voor de zekerheid legt men bij de laatste twee normen dezelfde voorwaarden vast voor de benzinewagen. Momenteel is de vijfde Euronorm van kracht. Bijgevolg moet elke nieuwe wagen, die nu op de markt verschijnt, hieraan voldoen. Bovendien moeten de autoproducenten verzekeren dat deze normen tijdens de eerste 160.000 kilometer, die men met een nieuwe wagen aflegt, niet worden overschreden.¹⁸⁷

Hoewel zwaveldioxide niet terug te vinden is in tabel 4.1, bestaat er eveneens regulering omtrent deze stof. Het zwavelgehalte in de brandstoffen benzine en diesel wordt immers beperkt. Vanaf 2009 mogen slechts 10 ppm (*parts per million*) zwavel voorkomen in de brandstoffen, daar dit in 2000 nog 150 en 350 ppm was voor respectievelijk benzine en diesel. Dit wil zeggen dat op één miljoen deeltjes waaruit de brandstof bestaat, slechts tien zwaveldeeltjes mogen voorkomen. Bijgevolg zal de uitstoot van zwaveldioxide bij de verbranding van benzine en diesel beperkt blijven, en dus ook de externe schadekosten die hiermee gepaard gaan.¹⁸⁸

¹⁸⁶ Departement Leefmilieu, Natuur en Energie (Ine), 2011, *Euronormen voor voertuigen*. Opgevraagd op 11 november, 2011.

<http://www.ine.be/themas/milieu-en-mobiliteit/milieuvriendelijke-voertuigen/ecoscore-en-euronormen/euronormen-voor-voertuigen>

¹⁸⁷ Europese Commissie, 2011, *Euro 5- en Euro 6-normen: beperking van de vervuilende emissies van lichte voertuigen*. Opgevraagd op 14 november, 2011.

http://europa.eu/legislation_summaries/environment/air_pollution/l28186_nl.htm

¹⁸⁸ Energie- & milieu-informatiesysteem voor het Vlaams Gewest, 2009. Opgevraagd op 14 november, 2011. <http://www.emis.vito.be/mvv-emissies>

Tabel 4.1: Euronormen voor personenwagens

Euronorm	Ingangsdatum	Benzine: uitstoot in g/km				Diesel: uitstoot in g/km			
		CO	KWS*	NO _x	PM	CO	KWS*+NO _x	NO _x	PM
Euro 1	1/7/92	2,72	0,5335	0,4365		2,72	0,97	0,873	0,14
Euro 2	1/1/96	2,2	0,275	0,225		1	0,7	0,630	0,08
Euro 3	1/1/2000** 1/1/2001	2,3	0,2	0,15		0,64	0,56	0,500	0,05
Euro 4	1/1/2005** 1/1/2006	1,0	0,1	0,08		0,5	0,3	0,250	0,025
Euro 5	1/9/2009** 1/1/2011	1,0	0,1	0,06	0,005	0,5	0,23	0,180	0,005
Euro 6	1/9/2014** 1/9/2015	1,0	0,1	0,06	0,005	0,5	0,17	0,080	0,005

*Niet-methaan koolwaterstoffen

**De eerste datum geldt voor nieuwe voertuigtypes, de tweede datum geldt voor alle nieuwe voertuigen.

Bron: Eigen verwerking op basis van Departement Leefmilieu, Natuur en Energie (Ine), 2011, Euronormen voor voertuigen. Opgevraagd op 11 november, 2011.

<http://www.ine.be/themas/milieu-en-mobiliteit/milieuvriendelijke-voertuigen/ecoscore-en-euronormen/euronormen-voor-voertuigen>

Ter regulering van de uitstoot van broeikasgassen is in 1997 het Kyoto-protocol, dat steunt op verhandelbare emissierechten, opgericht. Hierin werd opgenomen dat de algemene emissie van broeikasgassen tussen 2008 en 2012 een daling van vijf procent zou moeten kennen ten opzichte van de uitstoot in 1990. De bijdrage van ieder land is hiertoe verschillend. Voor België komt het erop neer dat de uitstoot moet worden gereduceerd met 7,5 procent ten opzichte van het niveau in 1990.¹⁸⁹ In Vlaanderen daarentegen bedroeg de doelstelling 5,2 procent. Momenteel is er onzekerheid omtrent het bereiken van de Kyoto-norm in Vlaanderen. In 2007 dook Vlaanderen voor de eerste keer onder de Kyoto-drempel. Tot 2009 is de totale uitstoot van broeikasgassen gestaag blijven dalen. Ondanks de totale emissiereductie gedurende deze periode kan worden vastgesteld dat de uitstoot van CO₂ eind 2009 ruimschoots hoger lag dan in 1990. Aldus zijn andere broeikasgassen, waaronder N₂O en CH₄, verantwoordelijk geweest voor de daling. Echter, de broeikasgasuitstoot kende een stijging van negen procent in 2010 die vooral te wijten is aan de stijging van de CO₂-emissie. Het al dan niet bereiken van de Kyoto-norm zal aldus afhangen van de uitstootevolutie in 2011 en 2012.¹⁹⁰

Vóór 2007 was er echter geen specifieke regelgeving voor voertuigen in verband met de uitstoot van broeikasgassen. Wel werd er in 1998 een vrijwillig akkoord opgesteld door de Europese Vereniging van Automobielfabrikanten (ACEA), in samenwerking met de Europese Commissie,

¹⁸⁹ United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC), 1998, *Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change*. Opgevraagd op 14 november, 2011.
<http://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpeng.pdf>

¹⁹⁰ Milieuraapport Vlaanderen, 2010, *Totale emissie van broeikasgassen met opdeling tussen ETS en niet-ETS (CO₂, CH₄, N₂O, SF₆, HFK's, PFK's)*. Opgevraagd op 14 november, 2011.
[http://www.milieuraapport.be/nl/feitencijfers/MIRA-T/milieuthemas/klimaatverandering/emissie-van-broeikasgassen/totale-emissie-van-broeikasgassen-met-opdeling-tussen-ETS-en-niet-ETS-\(co2-ch4-n2o-sf6-hfks-pfks\)/](http://www.milieuraapport.be/nl/feitencijfers/MIRA-T/milieuthemas/klimaatverandering/emissie-van-broeikasgassen/totale-emissie-van-broeikasgassen-met-opdeling-tussen-ETS-en-niet-ETS-(co2-ch4-n2o-sf6-hfks-pfks)/)

waarin de autoproducenten zich ertoe verbonden de CO₂-uitstoot van wagens te reduceren. Vanwege de geleverde inspanningen van deze sector is er een dalende trend in de uitstoot van nieuw verkochte personenwagens.¹⁹¹ Hierbij moet wel worden opgemerkt dat in Vlaanderen zowel het aantal wagens alsook het aantal gereden kilometer blijft stijgen. Er kan bijgevolg worden aangenomen dat er zich een stabilisatie voordoet op vlak van de totaal uitgestoten hoeveelheid CO₂ door het personenverkeer, zoals eerder werd geïllustreerd in figuur 1.1.¹⁹²

In 2007 besliste de Europese Commissie om een regelgeving in te voeren opdat tegen 2012 de gemiddelde CO₂-uitstoot van nieuwe wagens 120 gram per kilometer niet zou overschrijden. Concreet wil men met deze maatregel een reductie tot 130 gram per kilometer teweegbrengen door de verbetering van de motortechnologie. Daarenboven vergt de maatregel een aanvullende reductie van 10 gram per kilometer met behulp van complementaire technische verbeteringen of het gebruik van biobrandstoffen. Tegen 2020 wil de Europese Commissie de gemiddelde CO₂-uitstoot van nieuw verkochte voertuigen zelfs terugdringen tot 95 gram per kilometer.¹⁹³ Uit een verslag van de Europese Commissie in november 2010 blijkt echter dat de doelstelling van 2012 niet zal worden bereikt.¹⁹⁴ Toch scoort België op dit vlak beter dan het Europese gemiddelde. In 2010 bedroeg de gemiddelde CO₂-uitstoot van een nieuw verkocht voertuig in België 133 gram per kilometer.¹⁹⁵ Europa daarentegen stuitte in hetzelfde jaar op een gemiddelde uitstoot van 140 gram per kilometer.¹⁹⁶

Bijkomend tracht men de consument ervan bewust te maken welke CO₂-uitstoot verbonden is aan een bepaalde wagen. Sedert 2001 is het immers verplicht een wagen bij de tentoonstelling te voorzien van een standaard CO₂-label zodat consumenten, indien ze dat wensen, een milieubewuste keuze kunnen maken.¹⁹⁷ Met betrekking tot het milieubewustzijn worden ook campagnes gevoerd om mensen aan te sporen de juiste aankopen te doen vanuit maatschappelijk oogpunt.

Ter illustratie wordt het percentage van het totaal aantal wagens dat voldoet aan de zonet vermelde Euronormen samen weergegeven met de gemiddelde CO₂-uitstoot van wagens die behoren tot de desbetreffende Euronorm. Deze gegevens zijn terug te vinden in tabel 4.2. De Euro

¹⁹¹ Febiac, 2007, *Gids CO₂: Beter investeren voor de toekomst*. Opgevraagd op 13 november, 2011.

<http://www.febiac.be/public/content.aspx?FID=575>

¹⁹² Febiac, 2007, *De uitdaging CO₂*, Brussel: p6. Opgevraagd op 11 oktober, 2011.

http://www.febiac.be/documents_febiac/publications/guide_co2_NL.pdf

¹⁹³ Europese Commissie, 2007, *Communication from the Commission to the Council and the European Parliament 6 Results of the review of the Community Strategy to reduce CO₂ emissions from passenger cars and light-commercial vehicles*. Opgevraagd op 22 november, 2011.

<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:52007DC0019:EN:NOT>

¹⁹⁴ Europese Commissie, 2010, *Progress report on implementation of the Community's integrated approach to reduce CO₂ emissions from light-duty vehicles*. Opgevraagd op 22 november, 2011.

<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:52010DC0656:EN:NOT>

¹⁹⁵ Febiac, 2011, *Datadigest 2011: Evolutie van de gemiddelde CO₂-emissies door nieuwe personenwagens in België*. Opgevraagd op 17 november, 2011.

<http://www.febiac.be/public/statistics.aspx?FID=23&lang=NL>

¹⁹⁶ European Environment Agency, 2011, *Monitoring the CO₂ emissions from new passenger cars in the EU: summary of data for 2010*: p4. Opgevraagd op 15 november, 2011.

<http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/co2-cars-emission>

¹⁹⁷ Energie- & milieu-informatiesysteem voor het Vlaams Gewest, 2009. Opgevraagd op 15 november, 2011.

<http://www.emis.vito.be/mvv-co2-labelling>

6-norm wordt hier niet in opgenomen aangezien deze momenteel nog niet van kracht is. De gemiddelde CO₂-uitstoot per Euronorm is gebaseerd op cijfers voor de bepaling van de belasting op de inverkeerstelling. Vanaf maart 2012 hangt dit bedrag af van de CO₂-uitstoot. Indien deze niet gekend is, moet er worden gekeken naar de Euronorm en het motortype van de wagen. Hieraan kan dan een standaard CO₂-uitstoot worden gekoppeld. De gemiddelde uitstoot in de tabel is gebaseerd op een doorsnee motorinhoud van 1.400 tot en met 2.000 cc en de huidige verdeling van het voertuigenpark naar brandstofsoort. Deze bestaat, zoals reeds werd aangehaald, voor veertig procent uit benzinewagens en voor zestig procent uit dieselwagens.¹⁹⁸ Indien er een gewogen gemiddelde wordt genomen naar voorkomen van de verschillende emissies, kan er worden afgeleid dat een wagen in Vlaanderen gemiddeld 163 gram CO₂ per kilometer uitstoot.

Tabel 4.2: Euronormen met percentage wagens voldaan en gemiddelde CO₂-uitstoot eind 2010

Euronorm	Percentage van totaal aantal wagens dat voldoet aan de norm	Gemiddelde CO₂-uitstoot in g/km
Niet voldaan	2,9%	190
Euro 1	5,5%	188
Euro 2	15,9%	178
Euro 3	21,1%	165
Euro 4	47,9%	155
Euro 5	7,1%	139

Bron: Eigen verwerking op basis van Febiac & Belastingportaal Vlaanderen. Opgevraagd op 15 november, 2011.

<http://belastingen.vlaanderen.be/nlapps/docs/default.asp?id=682>
<http://www.febiac.be/public/statistics.aspx?FID=23&lang=NL>

4.3.1.4 Cijfers van uitstoot en kosten

In tabel 4.3 worden de externe kosten, die gepaard gaan met de uitstoot van personenwagens, berekend op basis van cijfers uit 2009. De eerste kolom bevat de stoffen die worden uitgestoten door een conventionele wagen. Daarnaast vermeldt de tweede kolom de uitgestoten hoeveelheid van de desbetreffende stof, terwijl de derde kolom een indicatie van de kostprijs van de externe schade per gewichtseenheid weergeeft. Hierbij dient te worden opgemerkt dat voor het opstellen van de schadekost van de emissies gebruik wordt gemaakt van een gewogen gemiddelde kost. Deze steunt op het aantal gereden kilometer op de snelweg, in de stad en op het platteland. De uitstoot in deze drie gebieden brengt immers specifieke kosten met zich mee, aangezien de bevolkingsdichtheid in de drie gebieden verschillend is. Vandaar wordt een gewogen gemiddelde kost berekend. Het platteland is bijvoorbeeld minder dicht bevolkt, waardoor in dit gebied de externe kosten van emissies lager zullen liggen.¹⁹⁹ Op basis van al deze gegevens kan de totale schadekost van de verschillende stoffen voor de maatschappij worden berekend. Uit de tabel kan

¹⁹⁸ FOD Economie, 2011, *Voertuigenpark*. Opgevraagd op 1 december, 2011.

http://statbel.fgov.be/nl/statistiek/cijfers/verkeer_vervoer/verkeer/voertuigpark/

¹⁹⁹ Delhay, E., De Ceuster, G., & Maerivoet, S., 2010, *internalisering van externe kosten van transport in Vlaanderen, Studie uitgevoerd in opdracht van de Vlaamse Milieumaatschappij door Transport & Mobility Leuven*: p98. Opgevraagd op 11 november, 2011.

http://www.milieuraapport.be/Upload/Main/MiraData/MIRA-T/03_GEVOLGEN/03_03/MIRA-2010-10_INTERNALISERING_EXTERNE_KOSTEN_TRANSPORT_DEF.PDF

worden afgeleid dat de uitstoot van broeikasgassen, hoofdzakelijk vertegenwoordigd door CO₂, en fijn stof het zwaarst doorwegen op de totale externe schadekost.

Daar het Belgische voertuigenpark in 2009 uit 5.192.566 personenwagens bestond, kan de gemiddelde schadekost per wagen worden afgeleid. Vermits de jaarlijks afgelegde afstand met een personenwagen in Vlaanderen gemiddeld 15.660 kilometer bedraagt, kan ook de gemiddelde schadekost van de emissies per gereden kilometer worden vastgesteld.²⁰⁰ Deze waarden zijn eveneens terug te vinden in onderstaande tabel.

Tabel 4.3: Emissies van personenwagens en externe kosten in Vlaanderen in 2009

Uitgestoten stof	Uitstoot in kton	Prijs in €/ton	Kostprijs in €
Broeikasgassen			
CO ₂ -equivalenten	7.567,85	20,00	151.357.016,23
Niet-broeikasgassen			
PM _{2,5}	1,60	200.160,00	321.142.847,97
CO	3,74	829,00	3.096.580,28
NM-KWS	5,00	7.535,00	37.664.455,48
NO _x	26,97	577,00	15.559.122,23
SO ₂	0,04	10.059,00	392.159,63
Totale externe schadekost:			529.212.181,83
Gemiddelde schadekost per personenwagen:			101,92
Gemiddelde schadekost per kilometer:			0,00650813

Bron: Eigen verwerking op basis van Milieurapport Vlaanderen. Opgevraagd op 11 november, 2011.
<http://www.milieurapport.be/>

Aangezien de Euronormen, vermeld in paragraaf 4.3.1.3, enkel van kracht zijn voor nieuwe wagens kan er worden besloten dat hoe lager de Euronorm waaraan een wagen voldoet, hoe ouder hij is. Uit tabel 4.2 kan dan worden afgeleid dat oudere wagens over het algemeen meer vervuילend zijn. Het lijkt aannemelijk dat deze oudere wagens als eerste uit het verkeer zullen verdwijnen vanwege hun ouderdom. Dit is echter niet zeker aangezien het vaak om achtergestelde families gaat die een oudere, en dus meer vervuילende, wagen in bezit hebben. Zij beschikken immers niet over de financiële middelen om zich een nieuwe wagen aan te schaffen. Een andere mogelijkheid is dat oudere wagens vaak in handen zijn van mensen op leeftijd die geen behoefte hebben aan het kopen van een nieuwe wagen. Omwille van deze twee redenen wordt in hoofdstuk vijf, bij de berekening van de externe kosten en baten van de elektrische wagen, verondersteld dat de totale uitstoot van schadelijke stoffen door conventionele wagens, en dus ook de kosten die hiermee gepaard gaan, evenredig dalen met het percentage conventionele wagens dat vervangen wordt door elektrische tegenhangers. Dit is enkel mogelijk omwille van het feit dat de elektrische wagen op zich geen uitstoot veroorzaakt. Een dergelijke wagen zal dus in principe ook geen externe schadekosten met zich meebrengen tijdens het rijden.

²⁰⁰ Mobimix: platform ecologisch vlootbeheer, 2010, *Duurzaam vlootbeheer: Het wagenpark in België*. Opgevraagd op 16 november, 2011.
<http://www.mobimix.be/thema/duurzaam-vlootbeheer>

4.3.2 Uitstoot van de brandstofproductie

De productie van brandstoffen in raffinaderijen gaat over het algemeen gepaard met dezelfde schadelijke emissies als bij de uitstoot van conventionele personenwagens. Hierbij moet worden opgemerkt dat de stoffen in andere verhoudingen kunnen voorkomen en dat er nog bijkomende stoffen worden uitgestoten. De belangrijkste stoffen die worden uitgestoten door raffinaderijen kunnen worden ondergebracht in vijf groepen.

Een eerste groep zijn de broeikasgassen waarbij CO₂, CH₄ en N₂O vrijkomen, net zoals bij de uitstoot van personenwagens. Hiernaast komen er nog een aantal fluorhoudende broeikasgassen vrij, weliswaar in zeer beperkte mate. Echter, het meest voorkomende fluorgas, namelijk SF₆, is 23.900 maal sterker dan CO₂ en moet dus zeker in overweging worden genomen. Opnieuw kunnen de broeikasgassen, die de opwarming van de aarde veroorzaken, worden uitgedrukt in CO₂-equivalenten. De broeikasgasemissies van de totale energiesector, waar ook de elektriciteitsproductie onder valt, bedroegen in 2009 slechts vier procent minder dan in 1990.²⁰¹

De andere vier groepen omvatten allen niet-broeikasgassen. Zo bestaat de tweede groep uit de emissie van verzurende stoffen, waaronder SO₂, NO_x en NH₃ thuishoren. Het verzurend effect kan zowel de vegetatie als de gebouwen aantasten, alsook ademhalingsproblemen veroorzaken bij de mens.²⁰² Aangezien deze drie stoffen hetzelfde effect hebben, kunnen ze bijgevolg worden uitgedrukt in zuurequivalenten. NH₃ heeft het grootste verzurende effect. Deze stof komt echter in relatief beperkte mate voor bij raffinaderijen. Zij hebben daarentegen wel een zeer groot aandeel in de totale SO₂-uitstoot. Raffinaderijen stoten in het algemeen de grootste hoeveelheid verzurende stoffen uit van de totale energiesector.²⁰³

De derde groep zijn de ozonprecusoren. Deze groep bestaat uit NM-KWS, NO_x, CO en CH₄. NO_x heeft de hoogste ozonvormende eigenschap gevolgd door NM-KWS, CO en in beperkte mate CH₄. De verzurende stof NO_x en het broeikasgas CH₄ kunnen dus eveneens ozon produceren. Ozon zorgt voor ademhalingsproblemen en irritaties aan de ogen.²⁰⁴ Ook de ozonprecusoren kunnen worden uitgedrukt in een equivalente maatstaf, namelijk *Tropospheric Ozone Forming Potential* (TOFP). Deze standaard geeft aan wat het ozonvormend potentieel is van de verschillende stoffen.²⁰⁵

²⁰¹ Milieurapport Vlaanderen, 2010, *Emissie van broeikasgassen door de energiesector*. Opgevraagd op 16 november, 2011.

<http://www.milieurapport.be/nl/feitencijfers/MIRA-T/sectoren/energiesector/emissies-naar-lucht-door-de-energiesector/emissie-van-broeikasgassen-door-de-energiesector/>

²⁰² Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut (KNMI), 2011, *Stikstofoxiden en gezondheid*. Opgevraagd op 17 november, 2011.

http://www.knmi.nl/~eskes/NOx_intro_nl.html

²⁰³ Milieurapport Vlaanderen, 2011, *Emissie van verzurende stoffen (SO₂, NO_x, NH₃) door de energiesector*. Opgevraagd op 17 november, 2011.

[http://www.milieurapport.be/nl/feitencijfers/MIRA-T/sectoren/energiesector/emissies-naar-lucht-door-de-energiesector/Emissie%20van%20verzurende%20stoffen%20\(SO2,%20NOx,%20NH3\)%20door%20de%20energiesector/](http://www.milieurapport.be/nl/feitencijfers/MIRA-T/sectoren/energiesector/emissies-naar-lucht-door-de-energiesector/Emissie%20van%20verzurende%20stoffen%20(SO2,%20NOx,%20NH3)%20door%20de%20energiesector/)

²⁰⁴ Vlaamse Milieumaatschappij, 2011, *Verhoogde ozonconcentraties begin deze week*. Opgevraagd op 17 november, 2011.

<http://www.vmm.be/nieuwsmmap/ozon-waarschuwingbericht-1>

²⁰⁵ European Environment Agency (EEA), 2011, *TOFP*. Opgevraagd op 16 november, 2011.

http://glossary.eea.europa.eu/terminology/concept_html?term=tropospheric%20ozone%20forming%20potential

De vierde groep omvat de zware metalen. Deze werden bij de uitstoot van de wagens buiten beschouwing gelaten vanwege het zeer geringe aandeel in de emissies. Tijdens de brandstofproductie in raffinaderijen daarentegen komen zware metalen in veel grotere hoeveelheden voor. Raffinaderijen hebben in verhouding tot de totale energiesector namelijk het grootste aandeel in de uitstoot van zware metalen. Tot de zware metalen behoren onder meer arseen (As), cadmium (Cd), chroom (Cr), koper (Cu), kwik (Hg), nikkel (Ni), lood (Pb) en zink (Zn).²⁰⁶ Zware metalen kunnen in verhoogde concentraties ernstige gevolgen met zich meebrengen. Bij inademing kunnen lood en kwik immers het zenuwstelsel aantasten. Bovendien kan lood bloedarmoede en miskramen veroorzaken. Arseen kan eveneens miskramen teweegbrengen, maar heeft ook een kankerverwekkend effect. Zink kan leiden tot aderverkalking, terwijl cadmium nierafwijkingen kan voortbrengen.²⁰⁷ Chroom veroorzaakt op zijn beurt huiduitslag, maar heeft ook ernstigere gevolgen, waaronder een verzwakking van het immuunsysteem en longkanker. Daarnaast valt op te merken dat koper en zink speciale gevallen van zware metalen zijn, aangezien ze essentieel zijn voor de menselijke gezondheid. Een te lage inname van koper kan bloedarmoede met zich meebrengen. Gebrek aan zink daarentegen zal de eetlust doen dalen en de tast- en reukzin doen verminderen. Bij een te hoge opnameconcentratie hebben ze beide wel schadelijke gevolgen. Koper kan dan een griepachtig gevoel met zich meebrengen, terwijl een te hoge concentratie van zink huidirritaties en bloedarmoede veroorzaakt.²⁰⁸

Tot slot komt er ook fijn stof vrij bij de brandstofproductie. In tegenstelling tot de uitlaat van een conventionele wagen, waarbij vrijwel enkel $PM_{2,5}$ wordt uitgestoten, brengt een raffinaderij ook grotere stofdeeltjes in de lucht, namelijk PM_{10} .²⁰⁹ Onder deze PM_{10} behoort ook $PM_{2,5}$ aangezien het alle deeltjes omvat die kleiner zijn dan tien micrometer. Teneinde een dubbele telling te voorkomen, wordt het verschil tussen PM_{10} en $PM_{2,5}$ berekend, genaamd PM_{coarse} . Vermits de uitgestoten deeltjes PM_{coarse} groter zijn dan $PM_{2,5}$, zullen ze minder diep kunnen doordringen in het ademhalingsstelsel en zullen ze ook minder gezondheidsschade veroorzaken, wat leidt tot een lagere externe kost. De schadekost van PM_{coarse} blijkt immers acht keer lager te zijn dan deze van $PM_{2,5}$.²¹⁰ Echter, het overgrote deel, namelijk 73 procent, van het uitgestoten fijn stof door raffinaderijen bestaat uit $PM_{2,5}$.²¹¹ Omwille van de hogere schadekost en de grotere

²⁰⁶ Milieurapport Vlaanderen, 2011, *Emissie van zware metalen (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn) naar lucht door de energiesector*. Opgevraagd op 16 november, 2011.

[http://www.milieurapport.be/nl/feitencijfers/MIRA-T/sectoren/energiesector/emissies-naar-lucht-door-de-energiesector/Emissie%20van%20zware%20metalen%20\(As,%20Cd,%20Cr,%20Cu,%20Hg,%20Ni,%20Pb,%20Zn\)%20naar%20lucht%20door%20de%20energiesector/](http://www.milieurapport.be/nl/feitencijfers/MIRA-T/sectoren/energiesector/emissies-naar-lucht-door-de-energiesector/Emissie%20van%20zware%20metalen%20(As,%20Cd,%20Cr,%20Cu,%20Hg,%20Ni,%20Pb,%20Zn)%20naar%20lucht%20door%20de%20energiesector/)

²⁰⁷ Milieuloket, 2011, *Zware metalen*. Opgevraagd op 16 november, 2011.

<http://www.milieuloket.nl/9353000/1/j9vvhurbs7rzkq9/vhurdyxg2n7b>

²⁰⁸ Lenntech, 2011, *Periodiek systeem*. Opgevraagd op 16 november, 2011.

<http://www.lenntech.nl/periodiek/periodiek-systeem.htm>

²⁰⁹ Funk, K., & Rabl, A., 1999, *Electric versus conventional vehicles: social costs and benefits in France*, Transportation Research Part D, p401. Opgevraagd op 11 oktober, 2011.

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1361920999000188>

²¹⁰ Delhay, E., De Ceuster, G., & Maerivoet, S., 2010, *Internalisering van externe kosten van transport in Vlaanderen, Studie uitgevoerd in opdracht van de Vlaamse Milieumaatschappij door Transport & Mobility Leuven*: p97-98. Opgevraagd op 11 november, 2011.

http://www.milieurapport.be/Upload/Main/MiraData/MIRA-T/03_GEVOLGEN/03_03/MIRA-2010-10_INTERNALISERING_EXTERNE_KOSTEN_TRANSPORT_DEF.PDF

²¹¹ Milieurapport Vlaanderen, 2009, *Feiten & cijfers: Kernset Milieudata*. Opgevraagd op 19 november, 2011.

<http://www.milieurapport.be/nl/feitencijfers/>

emissiehoeveelheid van PM_{2,5} zullen de externe kosten hiervan aldus veel zwaarder doorwegen dan deze van PM_{coarse}.

De totale emissie van raffinaderijen wordt in tabel 4.4 getoond. Deze emissies worden gegroepeerd in vijf categorieën zoals ze werden besproken. Naast de totale uitstoot van de verschillende groepen in de tweede kolom, wordt in de derde kolom de schadekost van de desbetreffende stoffen weergegeven. Bij de zware metalen dient te worden opgemerkt dat de uitstoot van koper en zink niet wordt opgenomen. Dit is te wijten aan het feit dat de uitstoot ervan relatief beperkt is en de stoffen bovendien essentieel zijn voor het menselijke lichaam. De schadekost van zware metalen is aldus gebaseerd op een gewogen gemiddelde kost van de overige zes uitgestoten zware metalen. De emissie van fijn stof bij de brandstofproductie bedraagt aanzienlijk minder dan deze van personenwagens, maar veroorzaakt toch nog een behoorlijke externe schadekost. Hierbij kan worden opgemerkt dat de kosten in tabel 4.4 niet enkel te wijten zijn aan de winning van benzine en diesel, aangezien er eveneens andere brandstoffen zoals kerosine, smeermiddelen en huisbrandolie worden gewonnen uit ruwe aardolie.²¹² Het is bijgevolg moeilijk te besluiten welke kosten concreet verbonden zijn aan het winnen van benzine en diesel. Daarnaast zal een afname van het conventionele brandstofverbruik, door de intrede van de elektrische wagen, geen procentuele daling van dezelfde grootte in de uitstoot van de raffinaderijen veroorzaken. Immers, de andere stoffen die worden gewonnen uit ruwe aardolie moeten evenzeer worden geproduceerd. Dit heeft als gevolg dat benzine en diesel ook worden gewonnen, maar in mindere mate worden verbruikt. Omwille van voorgaande redenen zullen de externe kosten die gepaard gaan met de brandstofproductie niet sterk wijzigen bij de overschakeling van de conventionele naar de elektrische wagen. Derhalve zullen deze kosten niet worden opgenomen voor verdere berekeningen.

Tabel 4.4: Emissies van raffinaderijen en externe kosten in Vlaanderen in 2009

Uitgestoten stof	Uitstoot	Prijs	Kostprijs in €
Broeikasgassen			
CO ₂ -equivalenten	4.875 kton	€ 20,00/ton	€ 97.500.000,00
Niet-broeikasgassen			
Verzurende stoffen	797 miljoen Zeq*	€ 1.764,60/miljoen Zeq*	€ 1.406.386,60
Ozonprecursoren	10,218 kton TOFP**	€ 7.535/ton TOFP**	€ 76.992.630,00
Zware metalen	4.972 kg	€ 536,64/kg	€ 2.668.011,31
PM _{2,5}	173 ton	€ 200.160/ton	€ 34.627.680,00
PM _{coarse}	65 ton	€ 24.962/ton	€ 1.622.530,00
Totale externe schadekost:			€ 214.817.237,91

* Zuurequivalenten

** Tropospheric Ozone Forming Potential

Bron: Eigen verwerking op basis van Milieuraapport Vlaanderen. Opgevraagd op 19 november, 2011.
<http://www.milieuraapport.be/>

²¹² Vereniging Nederlandse Petroleum Industrie, 2011, *Wat doet een raffinaderij?*. Opgevraagd op 19 november, 2011.
<http://www.vnpi.nl/Files/file/Wat%20doet%20een%20raffinaderij.pdf>

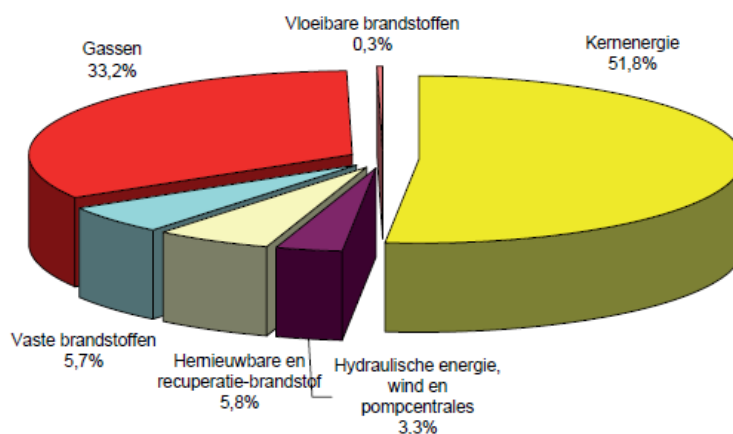
Niet enkel komen er schadelijke stoffen vrij bij de olieraffinage. Immers, het transport van ruwe aardolie van de ontginningsbron naar raffinaderijen en het vervoer van onttrokken brandstoffen van raffinaderijen naar tankstations brengen eveneens externe schadekosten met zich mee. Deze worden echter buiten beschouwing gelaten in de masterproef.

De uitstoot van voorgaande stoffen wordt gereguleerd door het Vlaams Reglement betreffende de Milieuvergunning (VLAREM). Het VLAREM bestaat uit twee titels. De eerste titel omschrijft verschillende types van bedrijven die bepaalde algemene en/of sectorale milieuvorwaarden moeten nakomen. In de tweede titel worden deze voorwaarden uitgewerkt. De regelgeving wordt met zekere regelmaat aangescherpt en eventueel afgestemd op Europese richtlijnen.²¹³ Eveneens zal deze regelgeving van toepassing zijn voor de opwekking van elektriciteit, hetgeen in de volgende paragraaf wordt besproken.

4.3.3 Uitstoot van de elektriciteitsproductie

Aangezien een elektrische wagen moet worden opgeladen, zal de hiervoor benodigde elektriciteit moeten worden geproduceerd. Dit kan op verschillende wijzen gebeuren. De verdeling van de manieren die worden toegepast voor het opwekken van elektriciteit, wordt in figuur 4.4 weergegeven. Gedurende het jaar 2009 kwam slechts negen procent van de totale opgewekte elektriciteit (91.224 gigawattuur) voort uit hernieuwbare energiebronnen. Kernenergie daarentegen produceerde iets meer dan de helft van de totale elektriciteit. Het overige deel, bijna veertig procent, werd opgewekt met behulp van fossiele brandstoffen zoals aardolie (vloeibaar, 0,3%), aardgas (gas, 33,2%) en kolen (vast, 5,7%).²¹⁴ Ter vereenvoudiging wordt de huidige elektriciteitsmix verondersteld dezelfde te zijn.

Figuur 4.4: Verschillende wijzen voor het opwekken van elektriciteit en hun aandeel in 2009



Bron: FOD Economie, 2011, *De energiemarkt in 2009*: p32. Opgevraagd op 18 november, 2011.
http://statbel.fgov.be/nl/binaries/1585-11-01%20De%20energiemarkt%20in%202009_tcm325-140066.pdf

²¹³ Departement Leefmilieu, Natuur en Energie (Ine), 2011, *VLAREM*. Opgevraagd op 19 november, 2011.
<http://www.ine.be/themas/hinder-en-risicos/geluidshinder/regelgeving/vlarem>

²¹⁴ FOD Economie, 2011, *De energiemarkt in 2009*: p32. Opgevraagd op 18 november, 2011.
http://statbel.fgov.be/nl/binaries/1585-11-01%20De%20energiemarkt%20in%202009_tcm325-140066.pdf

De productie van elektriciteit op basis van fossiele brandstoffen brengt grotendeels dezelfde emissies voort als olieraffinaderijen. Immers, zware metalen die vrijkomen bij de elektriciteitsproductie zijn identiek aan deze bij de aardolieraffinage. Nochtans vertegenwoordigen zware metalen bij de opwekking van elektriciteit een kleiner aandeel in de totale uitstoot van de energiesector dan bij de raffinage van aardolie. De acht zware metalen komen vooral vrij bij de verbranding van steenkool, aangezien deze stof van nature uit zware metalen bevat. Kwik komt voornamelijk vrij bij de opwekking van elektriciteit door middel van gasinstallaties, terwijl de opwekking door middel van stookolie hoofdzakelijk verantwoordelijk is voor de emissie van nikkel. De gevolgen van deze zware metalen worden niet meer besproken aangezien dit reeds plaatsvond bij de brandstofproductie. Eveneens worden er, zoals in raffinaderijen, verzurende en ozonvormende stoffen uitgestoten bij het opwekken van elektriciteit. Bovendien blijkt de uitstoot van broeikasgassen in CO₂-equivalenten meer dan twee maal groter te zijn in vergelijking met deze bij raffinaderijen.²¹⁵ Tot slot is er bij de opwekking van elektriciteit nog een verschil met betrekking tot de grootte van de fijne stofdeeltjes die worden uitgestoten ten opzichte van deze bij de olieraffinaderijen. Gemiddeld genomen veroorzaakt de elektriciteitsproductie immers een emissie van relatief grote stofdeeltjes, namelijk groter dan PM_{2,5}.²¹⁶ De verhouding fijn stof uitgestoten door een elektriciteitscentrale is dus relatief gezien minder schadelijk dan de verhouding die vrijkomt tijdens de brandstofproductie.

Daarnaast gebeurt de totale elektriciteitsproductie voor meer dan de helft op basis van kerncentrales. Dit gaat gepaard met radioactief afval, weliswaar in beperkte mate. Eén kilogram uranium kan immers 7.000 gezinnen voorzien van stroom gedurende een volledig jaar.²¹⁷ Echter, de consequenties van radioactiviteit zijn niet te onderschatten. Radioactieve straling kan het DNA in de cellen van het menselijk lichaam aantasten of vernietigen. De grootte van de opgelopen schade is afhankelijk van de omvang van de dosis. Vaak herstelt het lichaam deze schade zelf, maar de aantasting van de cellen kan wel degelijk leiden tot kanker met mogelijk de dood tot gevolg.²¹⁸

Bij de schadekosten van de elektriciteitsproductie wordt geen onderscheid meer gemaakt tussen de verschillende uitgestoten stoffen. Wel wordt er gekeken naar de verschillende wijzen voor het opwekken van elektriciteit en de schadekosten van de desbetreffende methodes. Uit figuur 4.5 kan worden afgeleid dat, hoewel oude kolencentrales (1) slechts zorgen voor een kleine zes procent van de opgewekte elektriciteit, ze toch een grote vervuilingskosten met zich meebrengen. Centrales op basis van gas (2)-(5) dragen de grootste verantwoordelijkheid binnen de kosten van vervuiling (218 miljoen), terwijl kernenergie (10) in relatief beperkte mate vervuילend is. Dit komt

²¹⁵ Milieurapport Vlaanderen, 2011, *Energiesector*. Opgevraagd op 18 november, 2011.

<http://www.milieurapport.be/nl/feitencijfers/MIRA-T/sectoren/energiesector/>

²¹⁶ Funk, K., & Rabl, A., 1999, *Electric versus conventional vehicles: social costs and benefits in France*, Transportation Research Part D, p401. Opgevraagd op 11 oktober, 2011.

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1361920999000188>

²¹⁷ E-on, 2010, *Voor- en nadelen kernenergie*. Opgevraagd op 19 november, 2011.

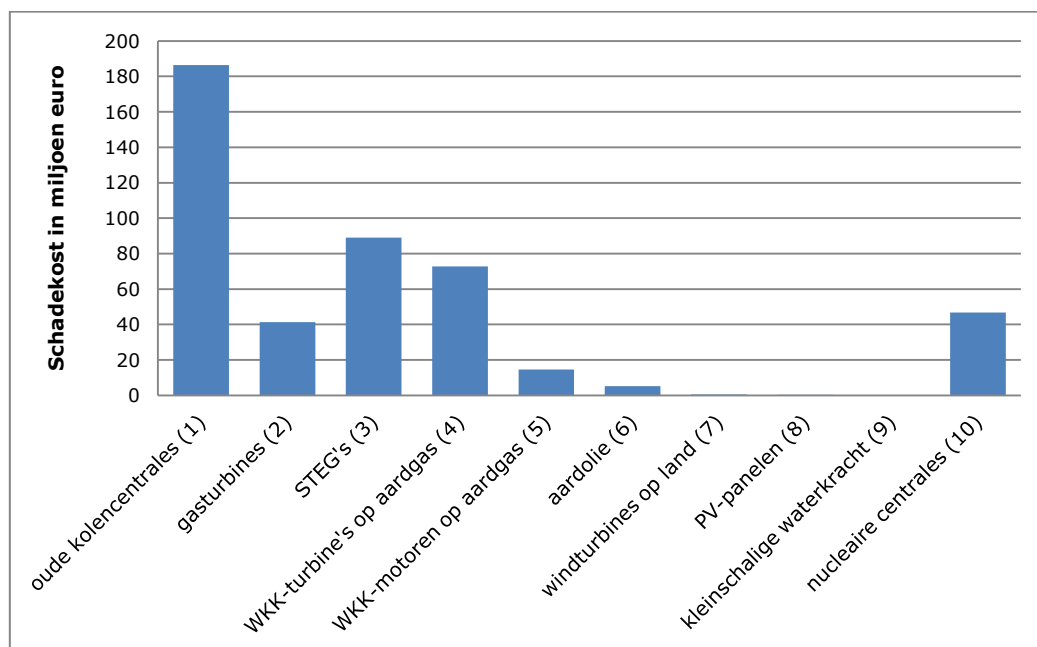
<http://www.eon.nl/over-eon/energiebronnen/kernenergie/voor-en-nadelen-kernenergie>

²¹⁸ De Rijksoverheid voor Nederland, 2010, *Vraag en antwoord: Wat is radioactieve straling en wat zijn de gevolgen van radioactieve straling?*. Opgevraagd op 19 november, 2011.

<http://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/kernenergie/vraag-en-antwoord/wat-is-radioactieve-straling-en-wat-zijn-de-gevolgen-van-radioactieve-straling.html>

omdat er geen uitstoot van schadelijke gassen voorkomt, maar wel een relatief kleine hoeveelheid radioactief afval wordt gecreëerd, wat zeer schadelijk kan zijn.²¹⁹ Vermits aardolie (6) louter 0,3 procent van de totale elektriciteit opwekt, zijn de schadekosten hiervan ook gering. Hernieuwbare energiebronnen (7)-(9) daarentegen veroorzaken geen of zeer beperkte schade aan het milieu, zoals bijvoorbeeld het verstoorde uitzicht of de lawaaihinder van windturbines. Uit onderzoek is gebleken dat in 2008 de totale externe schadekost voor de productie van elektriciteit op basis van de toenmalige energiemix neerkwam op 456.943.276 euro. Voor de berekening van deze totale externe kost werden voor de verschillende stoffen dezelfde bedragen per gewichtseenheid gebruikt als bij de uitstoot van conventionele wagens en raffinaderijen. Uit figuur 4.5 kan bovendien worden besloten dat er aanzienlijk veel schadekosten van emissies kunnen worden vermeden indien de meest vervuilende methodes worden vervangen door hernieuwbare energiebronnen zoals windmolens (7), zonnepanelen (8) en waterkrachtcentrales (9). Dit zal echter een grote investering vereisen, aangezien de kost per kilowattuur opgewekte energie hoger ligt.²²⁰

Figuur 4.5: Schadekost van verschillende opwekkingsmethoden voor elektriciteit in 2008



Bron: Eigen verwerking op basis van Milieuraapport Vlaanderen. Opgevraagd op 11 november, 2011.
<http://www.milieuraapport.be/>

De totale externe schadekost (456.943.276 euro) kan worden gebruikt voor het bepalen van de schadekost veroorzaakt door de opwekking van bijkomende elektriciteit die wordt aangewend door de elektrische wagen. Deze redenering veronderstelt een lineair verband tussen de externe schadekost en de hoeveelheid opgewekte elektriciteit. Zoals reeds werd aangehaald, wordt er eveneens verondersteld dat de huidige elektriciteitsmix identiek is gebleven. Zodoende kan een

²¹⁹ E-on, 2010, *Voor- en nadelen kernenergie*. Opgevraagd op 19 november, 2011.

<http://www.eon.nl/over-eon/energiebronnen/kernenergie/voor-en-nadelen-kernenergie>

²²⁰ Milieuraapport Vlaanderen, 2011, *Milieuschadekosten van elektriciteitsproductie en -distributie*. Opgevraagd op 6 november, 2011.

<http://www.milieuraapport.be/nl/feitencijfers/MIRA-T/sectoren/energiesector/milieuschadekosten-van-energieproductie/milieuschadekosten-van-elektriciteitsproductie-en-distributie/>

schadekost van 0,005 euro per kilowatt berekend worden. Vermits het verbruik van een elektrische wagen gemiddeld 0,1612 kWh/km bedraagt, zal de schadekost per kilometer voor de opwekking van bijkomende elektriciteit 0,0008075 euro bedragen.²²¹ Zoals reeds werd aangehaald, legt een personenwagen gemiddeld 15.660 kilometer per jaar af. Dit brengt een jaarlijks gemiddelde schadekost van 12,64 euro per elektrische personenwagen met zich mee.

4.3.4 Geluidshinder van de wagens

Voertuigen kunnen een belangrijke bron van geluidshinder zijn. Uit onderzoek blijkt dat het verkeer in Vlaanderen maar liefst zestig procent van de totale geluidsoverlast met zich meebrengt. Vele mensen denken dat de oorzaak te wijten is aan het groeiende voertuigenpark. Dit is niet altijd een correcte redenering aangezien de intensiteit van het geluid ook afhankelijk is van de toestand van het wegdek, de euronorm van de wagen, de snelheid waarmee wordt gereden en het motortype. Bovendien blijkt ook dat in 2006 34 procent van de bevolking in Vlaanderen werd blootgesteld aan verkeersgeluiden die 65 decibel overschreden.²²²

Op dit ogenblik wordt het geluid van de motor wettelijk beperkt. Een benzine- en dieselmotor mogen de norm van respectievelijk 74 en 75 decibel immers niet overschrijden. De motor van een elektrische wagen daarentegen functioneert geruisloos. Daarnaast is er geen onderscheid tussen de elektrische en conventionele wagen voor het geluid dat bij hogere snelheden ontstaat door de wrijving met het wegdek. Er zal dus vooral een geluidsvermindering optreden bij lage snelheden wanneer weinig geluid voortkomt van de bandenwrijving.^{223, 224} In het stadsverkeer wordt er niet zo snel gereden en zal de motor dus grotendeels het geluid produceren, terwijl op autosnelwegen het geluid dat voortvloeit uit de rolweerstand van de banden overheerst.²²⁵ Hieruit blijkt dat de invoering van de elektrische wagen geluidshinder hoofdzakelijk in stedelijke gebieden kan verminderen.

Geluidsoverlast van verkeer heeft geen acute effecten, aangezien de intensiteit relatief beperkt blijft. Langdurige blootstelling aan verkeersgeluiden daarentegen kan de gezondheid van de mens

²²¹ Delhay, E., De Ceuster, G., & Maerivoet, S., 2010, *internalisering van externe kosten van transport in Vlaanderen, Studie uitgevoerd in opdracht van de Vlaamse Milieumaatschappij door Transport & Mobility Leuven*: p37. Opgevraagd op 11 november, 2011.

http://www.milieurapport.be/Upload/Main/MiraData/MIRA-T/03_GEVOLGEN/03_03/MIRA-2010-10_INTERNALISERING_EXTERNE_KOSTEN_TRANSPORT_DEF.PDF

²²² Delhay, E., De Ceuster, G., & Maerivoet, S., 2010, *internalisering van externe kosten van transport in Vlaanderen, Studie uitgevoerd in opdracht van de Vlaamse Milieumaatschappij door Transport & Mobility Leuven*: p124. Opgevraagd op 11 november, 2011.

http://www.milieurapport.be/Upload/Main/MiraData/MIRA-T/03_GEVOLGEN/03_03/MIRA-2010-10_INTERNALISERING_EXTERNE_KOSTEN_TRANSPORT_DEF.PDF

²²³ Energie- & milieu-informatiesysteem voor het Vlaams Gewest, 2009. Opgevraagd op 19 november, 2011.

<http://www.emis.vito.be/mvv-emissies>

²²⁴ Delhay, E., De Ceuster, G., & Maerivoet, S., 2010, *internalisering van externe kosten van transport in Vlaanderen, Studie uitgevoerd in opdracht van de Vlaamse Milieumaatschappij door Transport & Mobility Leuven*: p124. Opgevraagd op 11 november, 2011.

http://www.milieurapport.be/Upload/Main/MiraData/MIRA-T/03_GEVOLGEN/03_03/MIRA-2010-10_INTERNALISERING_EXTERNE_KOSTEN_TRANSPORT_DEF.PDF

²²⁵ Agentschap Wegen en Verkeer, 2003, *Geluidsbronnen: ontstaan van wegverkeerslawaai*. Opgevraagd op 19 november, 2011.

<http://wegen.vlaanderen.be/verkeer/geluid/oorzaak.php>

wel beïnvloeden. Gevolgen hiervan zijn immers slaapstoornissen en stressreacties, die op hun beurt ademhalingsstoornissen en een verhoogde bloeddruk met zich meebrengen. Eveneens worden de leerprestaties van kinderen negatief beïnvloed door geluidshinder van het verkeer.²²⁶ Onderzoek toont aan dat de marginale externe kost van geluid voortgebracht door het totale wegvervoer 0,0521 euro per honderd kilometer bedroeg in 2007. Hierbij dient te worden opgemerkt dat vrachtwagens en bussen meer geluid verwekken dan personenwagens. Binnen deze laatste categorie is er bovendien ook een onderscheid. Immers, een dieselwagen produceert meer geluid dan een benzinewagen, die op zijn beurt wordt gevolgd door de hybride wagen. Globaal gezien is de elektrische wagen de stilste van allemaal omwille van zijn gering geluid bij lage snelheden.²²⁷ Concrete gegevens omtrent de verschillen van geluidshinder tussen de conventionele en de elektrische wagen zijn in Vlaanderen momenteel niet beschikbaar en worden aldus buiten beschouwing gelaten.²²⁸

Wel kan worden opgemerkt dat de schadepost van geluid kan worden gemeten aan de hand van een maatstaf ontwikkeld door *The U.S. Federal Aviation Agency* (FAA), namelijk het *Noise Exposure Forecast* (NEF). Een NEF vertegenwoordigt een gemiddelde blootstelling over de tijd van één decibel aan lawaai. Omgevingsgeluiden situeren zich tussen 15 en 25 NEF. Een beetje tot matige hinder treedt op in het 25-40 NEF-interval. Boven de 40 NEF is er sprake van geruime overlast. Er wordt gesteld dat de eigendoms waarde van huizen en gronden vermindert met 0,64 procent per NEF.²²⁹

Het wegvallen van het geluid bij een elektrische wagen met lage snelheden wordt door sommige mensen als een nadeel beschouwd. Volgens hen is er een verhoogde kans op ongevallen aangezien men de wagen niet meer hoort aankomen. Zoals reeds vermeld, zijn tal van autoproducenten bezig met de ontwikkeling van kunstmatige geluiden die ervoor moeten zorgen dat het volk wordt gewaarschuwd wanneer een voertuig nadert. Men tracht deze geluiden zodanig te ontwerpen dat ze geen hinder veroorzaken en toch het publiek verwittigen. Lage snelheden gaan bijgevolg niet gepaard met een externe geluidskost. Nissan heeft als eerste een *Approaching Vehicle Sound for Pedestrians* (AVSP) uitgewerkt. Het AVSP-systeem zal een geluid creëren indien de bandenwrijving onvoldoende geluid produceert. Bij de Nissan Leaf start het AVSP-systeem als de snelheid van de wagen minder dan dertig kilometer per uur bedraagt.²³⁰

²²⁶ Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu van Nederland, 2011, *Wat zijn de mogelijke gezondheidsgevolgen van geluid?*. Opgevraagd op 18 november, 2011.
<http://www.nationaalkompas.nl/gezondheidsdeterminanten/omgeving/milieu/geluid/wat-zijn-de-mogelijke-gezondheidsgevolgen-van-geluid>

²²⁷ Delhay, E., De Ceuster, G., & Maerivoet, S., 2010, *internalisering van externe kosten van transport in Vlaanderen, Studie uitgevoerd in opdracht van de Vlaamse Milieumaatschappij door Transport & Mobility Leuven*: p125. Opgevraagd op 11 november, 2011.
http://www.milieurapport.be/Upload/Main/MiraData/MIRA-T/03_GEVOLGEN/03_03/MIRA-2010-10_INTERNALISERING_EXTERNE_KOSTEN_TRANSPORT_DEF.PDF

²²⁸ Delhay, E., 2011, *Transport & Mobility Leuven, E-mail*. Gecontacteerd op 14 november, 2011.

²²⁹ Boardman, A. E., Greenberg, D. H., Vining, A. R., & Weimer, D. L., 2011, *Cost-Benefit Analysis: Concepts and Practice, Part 3: Chapter 6 Shadow Prices from Secondary Sources: The Cost of Noise*, Boston: Pearson Education: p428.

²³⁰ Mobimix: platform ecologisch vlootbeheer, 2010, *Nissan ontwerpt geluid voor elektrische Leaf*. Opgevraagd op 20 november, 2011.
<http://www.mobimix.be/inhoud/2010/6/27/1738>

4.3.5 Samenvatting geactualiseerde externe kosten

Vermits alle opgenomen externe kosten zijn uitgedrukt in termen van het verleden, moeten deze bedragen nog worden geactualiseerd. Dit gebeurt aan de hand van een discontovoet van vier procent. Deze werd afgeleid uit de gemiddelde rente van de voorbije laatste zes jaar op lineaire obligaties met een looptijd van tien jaar.²³¹ Voor verdere berekeningen wordt steeds deze discontovoet gehanteerd. Behalve de elektriciteitsproductie, waarvan de externe kosten dateren van 2008, zijn alle externe kosten gebaseerd op gegevens uit 2009. In tabel 4.5 zijn de geactualiseerde externe kosten terug te vinden voor 2012. Hierbij werden geen kosten voor geluidshinder opgenomen, aangezien daaromtrent nog geen concrete gegevens ter beschikking zijn. Zoals reeds eerder vermeld, wordt er geen rekening gehouden met de uitstoot van de brandstofproductie voor verdere berekeningen.

Tabel 4.5: Geactualiseerde externe kosten

Externe kosten	Kosten in het verleden	Geactualiseerde kosten
Uitstoot van de conventionele wagens (2009)	€ 529.212.181,83	€ 595.291.731,70
• Gem. schadekost per personenwagen	€ 101,92	€ 114,64
• Gem. schadekost per kilometer	€ 0,00650813	€ 0,00732076
Uitstoot van de elektriciteitsproductie (2008)	€ 456.943.276,00	€ 534.559.002,86
• Gem. schadekost per personenwagen	€ 12,64	€ 14,79
• Gem. schadekost per kilometer	€ 0,0008075	€ 0,0009447
Uitstoot van de brandstofproductie (2009)	€ 214.817.237,91	€ 241.640.177,50

Bron: Eigen verwerking.

4.4 Private kosten en baten van de elektrische wagen

Aangezien het doel van dit hoofdstuk erop gericht is de kosten en baten van een elektrische wagen in overweging te nemen, ligt de focus van deze masterproef bij het verschil in kosten tussen de elektrische en de conventionele wagen. Aldus wordt er bij de private kosten eveneens enkel rekening gehouden met de kostenverschillen tussen de conventionele en de elektrische wagen. Gemeenschappelijke kosten, zoals keuringkosten en kosten die gepaard gaan met de aanschaf van een nummerplaat, kunnen buiten beschouwing worden gelaten. Vervolgens worden de private kosten aangaande de conventionele en elektrische wagens besproken. Deze worden opgedeeld in negen categorieën, zoals werd weergegeven in figuur 4.2. Voor de opsomming van de private kosten worden zo recent mogelijke kosten opgenomen. Indien kosten dateren van een ander jaar dan 2012, worden ze met behulp van een discontovoet van vier procent verdisconteerd naar 2012, tenzij anders vermeld.

²³¹ De Tijd, 2011, *Gemiddelde rente OLO 10 jaar*. Opgevraagd op 30 november, 2011.
<http://grafieken.tijd.be/510138581>

4.4.1 Aanschafkosten van de wagens

Ter vergelijking van de aanschafkosten is het gemakkelijk te werken met een wagen waarvan enkel de motor verschillend is. Zo moet er uitsluitend rekening worden gehouden met het verschil in aandrijving. Een doorsnee personenwagen van Renault lijkt hiervoor in aanmerking te komen. Het model Fluence is immers verkrijgbaar in een benzine-, een diesel- en een elektrische uitvoering vanaf begin 2012. De prestaties van deze modellen zijn vergelijkbaar, op de autonomie en de maximale snelheid na. De elektrische wagen heeft namelijk een autonomie van 185 kilometer, terwijl de conventionele wagens met een volle tank over een rijbereik beschikken dat het viervoud hiervan overtreft. De maximale snelheid van de elektrische wagen bedraagt 135 km/u, in tegenstelling tot 185 km/u voor de benzine- en dieselwagen. Dit wordt verder buiten beschouwing gelaten vermits de maximaal toegelaten snelheid in België slechts 120 km/u bedraagt. Toch kunnen beide verschillen een mogelijke hinderpaal vormen voor de aanschaf van een elektrische wagen. In tabel 4.6 worden de aanschafkosten voor de verschillende motoren met elkaar vergeleken. Let hierbij wel op dat de kost van de elektrische wagen exclusief batterij is. De kosten voor de batterij worden in de volgende paragraaf besproken.²³²

Zoals uit tabel 4.6 kan worden afgeleid, is het voor de consument mogelijk om bij de aanschaf van een elektrische wagen te genieten van een belastingvermindering. Deze vermindering bedraagt dertig procent van de aanschafwaarde, op voorwaarde dat het bedrag van 9.190 euro niet wordt overschreden. Deze regeling geldt voor aanslagjaar 2012.²³³ Hierbij moet worden opgemerkt dat men wel degelijk het totale bedrag moet voorschieten en pas later een deel hiervan in vermindering kan brengen van de belastingen. In dit voorbeeld zal het echter gezien worden als een korting op de aanschafwaarde, terwijl in werkelijkheid een belastingvermindering gepaard gaat met wachtkosten voor de consument. Deze worden in kader van de masterproef buiten beschouwing gelaten. Bij de aanschaf van een milieuvriendelijke conventionele wagen daarentegen kon men tot eind 2011 genieten van een onmiddellijke korting op de aankoopfactuur indien de CO₂-uitstoot minder dan 115 gram per kilometer bedroeg.^{234, 235} Met ingang van 2012 schafte de overheid deze regelgeving af omwille van besparingsmaatregelen. Deze regelgeving zou op dit voorbeeld evenwel niet van toepassing zijn geweest, aangezien de CO₂-uitstoot van de benzine- en de dieselwagen respectievelijk 155 en 120 gram per kilometer bedraagt.

Zonder overheidstegemoetkoming kan er worden vastgesteld dat de elektrische Renault Fluence 6.820 en 4.570 euro meer kost dan respectievelijk de benzine- en de dieselluitvoering. Met

²³² Renault, 2011. Opgevraagd op 20 november, 2011.

<http://www.renault.be/nl/>

²³³ Vlaamse Overheid, 2011, *Belastingvermindering bij de aankoop van een elektrisch voertuig of installatie van een laadpaal*. Opgevraagd op 20 november, 2011.

http://www.vlaanderen.be/servlet/Satellite?c=Solution_C&cid=1267507695761&context=1141721623065---1191211213991-1191211213991-1187251344078-1198314514243&p=1186804409590&pagename=Infolijn%2FView

²³⁴ FOD Financiën, 2011, *Wanneer krijg ik een korting op de aankoop prijs van een milieuvriendelijk voertuig?*. Opgevraagd op 23 november, 2011.

<http://minfin.fgov.be/portail2/nl/themes/transport/vehicles-purchase.htm#D>

²³⁵ De Redactie, 2011, *Verdwijnen ecopremie is ramp voor autosector*. Opgevraagd op 30 november, 2011.

http://www.deredactie.be/cm/vrtnieuws/politiek/111128_ecokorting_autos_reacties

overheidsingrijpen daalt de kostprijs van de elektrische wagen met 7.986 euro en duikt deze onder de prijs van beide conventionele wagens. Merk op dat deze belastingvermindering enkel is toegepast op de wagen exclusief batterij. De aanschafkosten van de batterij worden in volgende paragraaf besproken. Indien de batterij wordt gekocht, heeft men nog steeds recht op een belastingvermindering van dertig procent, zonder dat dit 1.204 (9.190-7.986) euro overschrijdt. Bij het leasen van een batterij verliest men dit voorrecht, vermits de vermindering dan enkel van toepassing is op de aanschafwaarde van de elektrische wagen.

Er kan opgemerkt worden dat, wanneer de consument een elektrische wagen inclusief batterij koopt, hij nagenoeg in ieder geval kan genieten van de maximale belastingvermindering (9.190 euro) aangezien dit fiscaal voordeel effectief is tot een aanschafwaarde van 30.633,33 euro. De aankoopprijs van de meeste elektrische wagens ligt immers boven deze grens tot waar men kan genieten van een belastingvermindering. Het resterende bedrag dient uiteraard volledig zelf te worden betaald door de consument.

Tabel 4.6: Vergelijking aanschafkosten inclusief btw naar type motor

Type motor	Aanschaf zonder fiscale tegemoetkoming	Aanschaf met fiscale tegemoetkoming
Benzine	€ 19.800,00	€ 19.800,00
Diesel	€ 22.050,00	€ 22.050,00
Elektrisch	€ 26.620,00	€ 18.634,00

Bron: Eigen verwerking op basis van Renault en FOD Financiën. Opgevraagd op 20 november, 2011.
<http://www.renault.be/nl/gamma-renault/elektrische-wagens/fluence-ze/fluence-ze/index.jsp>
<http://minfin.fgov.be/portail2/nl/themes/transport/vehicles-electric.htm>

4.4.2 Aanschafkosten van de batterij

De kosten voor de batterij worden individueel behandeld, aangezien ze een groot deel van de totale kosten van de elektrische wagen omvatten. Er zijn twee mogelijkheden voor het aanschaffen van een batterij, namelijk kopen of leasen. Het kopen van een batterij vergt vandaag de dag een grote investeringskost. De gemiddelde kostprijs per kilowattuur aan capaciteit voor een lithium-ion batterij ligt momenteel tussen de 1.000 en 1.300 euro.²³⁶ De Renault Fluence beschikt over een batterij met een capaciteit van 22 kilowattuur. Kortom, de kostprijs van een dergelijke batterij situeert zich tussen de 22.000 en 28.600 euro. Dit komt nagenoeg overeen met de wagen zelf exclusief batterij. Echter, bij Renault is het niet mogelijk een batterij te kopen. Deze kan hier enkel worden geleased. Zodoende kunnen de aanschafkosten van een elektrische wagen wel worden gedrukt en verspreid over een langere termijn. Renault biedt immers een batterij aan tegen 82 euro per maand voor het model Fluence, wat neerkomt op een jaarlijkse kost van 984 euro. Deze prijs is echter enkel geldig voor maximum 10.000 kilometer per jaar. Vermits in Vlaanderen de afgelegde afstand per jaar met een personenwagen gemiddeld 15.660 kilometer bedraagt, zal de

²³⁶ The Boston Consulting Group, 2010, *Batteries for Electric Cars: Challenges, Opportunities, and the Outlook to 2020*: p6. Opgevraagd op 21 november, 2011.
<http://www.bcg.com/documents/file36615.pdf>

jaarlijkse kost oplopen tot 1.541 euro. Voor deze berekening wordt een lineair verband verondersteld tussen de kostprijs en het aantal gereden kilometer.²³⁷ Bij het leasen van een batterij garandeert Renault dat men steeds kan beschikken over een batterij die ten minste 75 procent van de initiële capaciteit bezit. Bovendien staat de autofabrikant steeds garant voor het onderhoud en de werking ervan.²³⁸

Zoals in vorige paragraaf werd besproken, kan een consument bij aanschaf van een elektrische wagen genieten van een belastingvermindering. Indien de wagen inclusief batterij wordt gekocht, is de vermindering eveneens van toepassing op de batterij. Bij aanschaf van de Renault Fluence exclusief batterij, is er een belastingvermindering van 7.986 euro mogelijk op de wagen, waardoor nog 1.204 (9.190-7.986) euro overblijft voor een fiscaal voordeel op de aanschaf van een batterij. De belastingvermindering is echter niet van toepassing wanneer de batterij wordt geleased. De kostprijs van een batterij is aldus afhankelijk van het kopen of het leasen, zoals wordt voorgesteld in tabel 4.7. Vermits het leasebedrag bij Renault afhankelijk is van het aantal gereden kilometer, kan de kost hiervan per kilometer worden berekend. Deze redenering is enkel mogelijk indien wederom een lineair verband tussen de kostprijs en het aantal gereden kilometer wordt verondersteld. Het aantal gereden kilometer per jaar heeft echter geen invloed wanneer de batterij wordt gekocht, aangezien dit een eenmalige investering is. Voor verdere berekeningen zal de gemiddelde kostprijs bij aanschaf van een batterij worden toegepast. Deze komt overeen met 25.300 en 24.096 euro voor respectievelijk zonder en met fiscale tegemoetkoming.

Tabel 4.7: Aanschafkosten inclusief btw van een standaardbatterij (22kWh)

Batterij	Aanschaf zonder fiscale tegemoetkoming	Aanschaf met fiscale tegemoetkoming	Kostprijs/km
Kopen	€ 22.000 - € 28.600	€ 20.796 - € 27.396	/
Leasen	€ 1.541/jaar	€ 1.541/jaar	€ 0,0984

Bron: Eigen verwerking op basis van Renault en BCG. Opgevraagd op 23 november, 2011.
<http://www.renault.be/nl/>
<http://www.bcg.com/documents/file36615.pdf>

Momenteel zijn er lithium-ion batterijen op de markt waarvan wordt beweerd dat ze tot 160.000 kilometer kunnen meegaan alvorens de batterijcapaciteit onder de 70 procent van de initiële capaciteit daalt.²³⁹ Aangezien er in Vlaanderen jaarlijks gemiddeld 15.660 kilometer wordt afgelegd, zal een dergelijke batterij tot tien jaar kunnen worden gebruikt. De tienjarige levensduur wordt ook aangenomen in kader van deze masterproef. Het betekent echter niet dat de batterij hierna waardeloos is. Ze is misschien niet meer geschikt voor de energieopslag van een elektrische wagen omdat de capaciteit is afgenomen en de wagen zo al over een beperkte autonomie beschikt. Echter, zoals reeds werd aangehaald, kan de resterende capaciteit nog wel worden aangewend

²³⁷ Mobimix: platform ecologisch vlootbeheer, 2010, *Duurzaam vlootbeheer: Het wagenpark in België*. Opgevraagd op 21 november, 2011.

<http://www.mobimix.be/thema/duurzaam-vlootbeheer>

²³⁸ Renault, 2011. Opgevraagd op 23 november, 2011.

<http://www.renault.be/nl/>

²³⁹ Tesla Motors, 2011. Opgevraagd op 24 november, 2011.

http://www.teslamotors.com/en_BE/models/facts

voor andere doeleinden, zoals tijdelijke opslag van elektriciteit of als buffercapaciteit. De batterij heeft aldus nog een restwaarde. Van deze restwaarde zal men enkel kunnen genieten wanneer de batterij zelf werd aangekocht en dus niet geleased. Indien de batterij zodanig is verouderd en geen enkele toepassing meer kent, kan ze worden gerecycleerd. Hierna kunnen de onderdelen worden hergebruikt in de batterijproductie. In deze masterproef wordt de restwaarde van de batterij buiten beschouwing gelaten.

Beschouwd over een periode van tien jaar, blijkt het leasen voordeliger uit te komen. Dit is waarschijnlijk te wijten aan het feit dat de autoproducent de batterijen in grote hoeveelheden kan aankopen en in zijn eigendom blijven. Indien ze doorverkocht zouden worden aan een particuliere gebruiker, zou de autoproducent hierop winst willen maken en de batterij aldus aan een hogere prijs ontdoen dan de aankoopprijs die hij er zelf voor betaalde.

4.4.3 Brandstof- en elektriciteitskosten

Het rijden met een wagen brengt ook kosten van verbruik met zich mee. De kosten voor een conventionele wagen kunnen jaarlijks aanzienlijk oplopen vermits de laatste acht jaar de brandstofprijzen voortdurend zijn gestegen, op 2009 na omwille van de bankencrisis.²⁴⁰ De berekening van de jaarlijkse brandstof- en elektriciteitskosten gebeurt op basis van gemiddelden voor zowel de energieprijzen, het verbruik van de wagens als de jaarlijkse verplaatsing. De gemiddelde prijzen van fossiele brandstoffen zijn gebaseerd op gegevens uit 2011, terwijl voor de gemiddelde elektriciteitsprijs beroep werd gedaan op informatie uit 2009. De benzine- en dieselprijzen bedroegen gedurende de eerste elf maanden van 2011 gemiddeld respectievelijk 1,6339 en 1,4367 euro per liter. Deze prijzen moeten nog worden uitgedrukt in termen van 2012 en zullen daarom worden verdisconteerd aan vier procent. De verdisconteerde bedragen zijn terug te vinden in tabel 4.9. De elektriciteitsprijs per kWh hangt af van het jaarlijks verbruik. Dit wordt opgedeeld in schijven, zoals in tabel 4.8 wordt voorgesteld.²⁴¹ Een doorsnee gezin verbruikt jaarlijks 3.500 kWh.²⁴² Hierdoor zou men in de middelste schijf terechtkomen. Echter, er moet rekening worden gehouden met een verhoogd elektriciteitsverbruik door de elektrische wagen. Dit wordt berekend aan de hand van het gemiddeld verbruik van een elektrische wagen en het gemiddeld aantal jaarlijks gereden kilometer. Deze getallen zijn terug te vinden in tabel 4.9. Het gebruik van een elektrische wagen zal resulteren in een stijgend elektriciteitsverbruik van gemiddeld 2.500 kWh waardoor men in een hogere verbruiksschijf terechtkomt met een lagere prijs per verbruikte eenheid. De gemiddelde elektriciteitsprijs berekend aan de hand van de vierde schijf in tabel 4.8, bedroeg in 2009 0,16895 euro per kWh. Indien dit bedrag moet worden

²⁴⁰ FOD Economie, 2011, *Gemiddeld officieel tarief van de aardolieproducten in EURO, laatste 8 jaar*. Opgevraagd op 4 december, 2011.

http://statbel.fgov.be/nl/statistiek/cijfers/energie/prijzen/gemid_8/

²⁴¹ FOD Economie, 2011, *De energiemarkt in 2009*: p32. Opgevraagd op 18 november, 2011.

http://statbel.fgov.be/nl/binaries/1585-11-01%20De%20energiemarkt%20in%202009_tcm325-140066.pdf

²⁴² Vlaamse Regulator van de Elektriciteits- en Gasmarkt (VREG), 2011, *Info over het gemiddelde elektriciteits- en aardgasverbruik*. Opgevraagd op 24 november, 2011.

<http://www.vreg.be/info-over-het-gemiddelde-elektriciteits-en-aardgasverbruik>

uitgedrukt in termen van 2012, dient men wederom te verdisconteren met een discontovoet van vier procent, hetgeen een bedrag van 0,1900 euro per kWh oplevert.

Tabel 4.8: Gemiddelde elektriciteitsprijs voor gezinnen per verbruiksschijf in 2009 (incl. alle taken)

Verbruiksschijf	Gemiddelde kostprijs per kWh	
	1 ^e Sem 2009	2 ^e Sem 2009
<1.000 kWh	€ 0,2628	€ 0,2673
1.000 tot <2.500 kWh	€ 0,2156	€ 0,2088
2.500 tot <5.000 kWh	€ 0,1916	€ 0,1882
5.000 tot <15.000 kWh	€ 0,1702	€ 0,1677
≥ 15.000 kWh	€ 0,1459	€ 0,1454

Bron: Eigen verwerking op basis van FOD Economie, 2010. Opgevraagd op 18 november, 2011.
http://statbel.fgov.be/nl/binaries/1585-11-01%20De%20energiemarkt%20in%202009_tcm325-140066.pdf

Zoals reeds werd aangehaald, blijkt uit onderzoek dat mensen jaarlijks gemiddeld 15.660 kilometer afleggen met een personenwagen.²⁴³ Deze afstand wordt weergegeven in tabel 4.9. Samen met voorgaande gegevens kan dan een berekening worden gemaakt van de gemiddelde jaarlijkse kosten van energiebronnen voor de aandrijving van de verschillende wagentypes. De kostprijs per kilometer ligt het hoogst bij benzine, gevolgd door diesel en elektriciteit. Op jaarbasis betekent dit een verschil van 1.561,32 euro in het voordeel van de elektrische wagen ten opzichte van de benzinewagen. Het contrast tussen de elektrische en de dieselwagen is minder groot, maar omvat toch nog een aanzienlijk verschil van 898,58 euro in het voordeel van de elektrische wagen.

Tabel 4.9: Jaarlijkse brandstof- en elektriciteitskosten inclusief btw voor de verschillende wagentypes

Type energiebron	Gem. prijs	Gem. verbruik	Kost/km	Gem. verplaatsing	Gem. tot. kostprijs
Benzine	€ 1,6992/l	0,0767 l/km	€ 0,1303	15.660 km	€ 2.040,95
Diesel	€ 1,4942/l	0,0589 l/km	€ 0,0880	15.660 km	€ 1.378,21
Elektriciteit	€ 0,1900/kWh	0,1612 kWh/km	€ 0,0306	15.660 km	€ 479,63

Bron: Eigen verwerking op basis van Statbel, FOD Economie, Milieurapport Vlaanderen en Mobimix.

Er wordt verwacht dat de gemiddelde elektriciteitsprijs eventueel nog kan worden gedrukt, op voorwaarde dat er privé-uitbaters van oplaadfaciliteiten op de markt komen. Zo is er in België reeds een dergelijk bedrijf actief op de markt, namelijk Blue Corner. Deze firma biedt het onbeperkt opladen van een wagen aan tegen een prijs van 150 euro per jaar.²⁴⁴ Eveneens moet er worden opgemerkt dat er accijnzen worden betaald op benzine en diesel. De overheid zal een deel van deze inkomsten verliezen bij de introductie van elektrische wagens. Dit verlies van inkomsten

²⁴³ Mobimix: platform ecologisch vlootbeheer, 2010, *Duurzaam vlootbeheer: Het wagenpark in België*. Opgevraagd op 25 november, 2011.

<http://www.mobimix.be/thema/duurzaam-vlootbeheer>

²⁴⁴ Blue Corner, 2011. Opgevraagd op 23 november, 2011.

<http://www.bluecorner.be/>

zal later in dit hoofdstuk nog worden besproken. Ter compensatie zou het mogelijk zijn dat er accijnzen op elektriciteit worden geheven in de toekomst. Hiermee wordt echter geen rekening gehouden in deze masterproef.

4.4.4 Aanschafkosten van de thuislaadinfrastructuur

Een elektrische wagen dient regelmatig te worden opgeladen. Herinner dat er verschillende snelheden bestaan waarmee een oplaadbeurt kan verlopen. Voor een thuislading wordt er aangenomen dat het met een trage snelheid kan verlopen. De wagen staat, over het algemeen, immers gedurende de nacht thuis in de garage. Aldus is er voldoende tijd voor een trage oplaadsnelheid. Momenteel zijn er wagens op de markt, waaronder de Renault Twizy, die kunnen worden opgeladen via een directe aansluiting op een standaard stopcontact.²⁴⁵ Voor de meeste elektrische wagens daarentegen is een intelligente en beveiligde oplaadeenheid vereist. Dergelijke eenheden zijn voorzien van een soort vergrendeling waartoe enkel de eigenaar toegang heeft. Daarnaast kan de oplaadkabel, die de wagen met de oplaadpaal verbindt, niet worden losgekoppeld zonder de toestemming van de voertuigeigenaar. Op deze manier kan gegarandeerd worden dat geen enkele andere persoon zonder toestemming de oplaadinfrastructuur gebruikt en zo gratis elektriciteit verkrijgt.²⁴⁶ In deze masterproef wordt verondersteld dat, wanneer men een elektrische wagen aanschaf, men ook een thuislaadinfrastructuur installeert.

De prijs van een thuislaadsysteem situeert zich momenteel rond de 1.000 euro.²⁴⁷ Zoals reeds eerder aangehaald, kan men eveneens genieten van een belastingvermindering op de aanschaf van de thuislaadinfrastructuur ter hoogte van veertig procent, weliswaar beperkt tot een bedrag van 250 euro.²⁴⁸ Vermits de gemiddelde prijs van de thuislaadinfrastructuur 1.000 euro bedraagt, zal de consument de volledige belastingvermindering van 250 euro kunnen vorderen. Dit komt erop neer dat de consument 750 euro van de investering zelf moet betalen. Vermits het gaat over een belastingvermindering zal de consument het geld eerst moeten voorschieten, waarna hij het in mindering kan brengen van de verschuldigde belastingen. Wederom, zoals bij de aanschaf van een elektrische wagen, gaat dit gepaard met wachtkosten. Ook hier worden deze wachtkosten buiten beschouwing gelaten en wordt het fiscaal voordeel gezien als een korting op de aankoop prijs van een thuislaadsysteem.

²⁴⁵ Renault, 2011, *Hoe laad ik mijn elektrische auto op?*. Opgevraagd op 23 november, 2011
<http://www.renault-ze.com/nl-nl/elektrisch-rijden/elektrisch-rijden/hoe-laad-ik-mijn-elektrische-auto-op-1021.html>

²⁴⁶ eNovates, 2011, *Oplaadsystemen*. Opgevraagd op 28 november, 2011
<http://www.enovates.com/index.php/nl/oplaadsystemen>

²⁴⁷ Buyckx, P., eNovates, 2011, *Telefonische gesprek*. Gecontacteerd op 29 november, 2011.

²⁴⁸ Vlaamse Overheid, 2011, *Belastingvermindering bij de aankoop van een elektrisch voertuig of installatie van een laadpaal*. Opgevraagd op 24 november, 2011
http://www.vlaanderen.be/servlet/Satellite?c=Solution_C&cid=1267507695761&context=1141721623065---1191211213991-1191211213991-1187251344078-1198314514243&p=1186804409590&pagename=Infolijn%2FView

4.4.5 Onderhoudskosten van de wagens

De onderhoudskosten omvatten alle kosten die jaarlijks worden uitgegeven aan het onderhoud van een wagen. Deze kosten kunnen in vier soorten worden opgedeeld. Hieronder vallen ten eerste de vaste inspectiekosten van een standaard nazicht. Voorbeelden hiervan zijn olieversing en de vervanging van bijbehorende filters. Tot de tweede groep behoort de vernieuwing van slijtageonderdelen, zoals remblokken en banden. Daarnaast zijn er onderdelen die moeten worden vervangen na een bepaalde tijd of na een bepaald aantal kilometer. Een voorbeeld hiervan is de distributieriem. Tot slot zijn er nog de onvoorziene reparaties die allerlei onderdelen kunnen omvatten, zoals bijvoorbeeld het stukgaan van de versnellingsbak.²⁴⁹

Vele kosten zijn gemeenschappelijk voor de elektrische en de conventionele wagen. Echter, een aantal kosten zullen niet van toepassing zijn bij de elektrische wagen. Er moet bijvoorbeeld geen olie worden ververst en eveneens geen distributieriem of filters worden vervangen. Bovendien zullen de remblokken minder snel moeten worden gewisseld, aangezien de elektrische wagen gebruikmaakt van het regeneratief remmen om energie te recupereren bij het vertragen en deze op te slaan in de batterij. Hierdoor worden de remmen minder intensief belast.²⁵⁰ Vermits een elektromotor uit minder roterende onderdelen bestaat dan een verbrandingsmotor, zal de slijtage minder snel gebeuren.²⁵¹ Omwille van deze redenen zullen de gemiddelde jaarlijkse onderhoudskosten van een elektrische wagen naar schatting tot dertig procent lager liggen dan deze van de conventionele tegenhanger.²⁵²

In tabel 4.10 worden de onderhoudskosten van de drie wagentypes vergeleken aan de hand van het Renault Fluence model. De onderhoudskosten voor de benzine- en dieselwagen werden bepaald met behulp van een onderhoudscontract dat werd afgesloten bij Renault. Hierbij werd uitgegaan van een looptijd van vijf jaar, waarbij het jaarlijks aantal afgelegde kilometer 16.000 bedraagt. De onderhoudskosten voor de elektrische wagen werden berekend aan de hand van een gewogen gemiddelde van het aanwezige aantal benzine- en dieselwagens in het huidige voertuigenpark. Momenteel bedraagt de verdeling veertig procent benzine- en zestig procent dieselwagens.²⁵³ Dit gewogen gemiddelde werd met dertig procent in mindering gebracht om te komen tot de onderhoudskosten van de elektrische wagen. Indien er een lineair verband tussen het aantal gereden kilometer en de onderhoudskosten wordt verondersteld, kunnen de onderhoudskosten per kilometer worden afgeleid.

²⁴⁹ De Koninklijke Nederlandse Toeristenbond (ANWB), 2011, *Onderhoud*. Opgevraagd op 26 november, 2011
<http://www.anwb.nl/auto/onderhoud-en-reparatie/zelf-onderhouden,/groot-onderhoud.html>

²⁵⁰ Sonnenberg, H. & Cannegieter, M., 2005, *Hybride vervoerssystemen Connexxion*, Enschede: Avante consultancy: p8. Opgevraagd op 30 november, 2011.
<http://www.utwente.nl/secr/wewi/onderzoeksrapporten/Rapporten/techniek,%20technologie%20en%20chemische%20analyse/gepubliceerde%20rapporten/2005.296.pdf>

²⁵¹ EnergiePortal, 2009, *kosten van elektrische auto*. Opgevraagd op 30 november, 2011.
<http://www.energieportal.nl/Newsflash/Newsflash/Kosten-van-elektrische-auto-5113.html>

²⁵² Energie- & milieu-informatiesysteem voor het Vlaams Gewest, 2009. Opgevraagd op 1 december, 2011.
<http://www.emis.vito.be/mvv-elektromotor-batterij>

²⁵³ FOD Economie, 2011, *Voertuigenpark*. Opgevraagd op 1 december, 2011.
http://statbel.fgov.be/nl/statistiek/cijfers/verkeer_vervoer/verkeer/voertuigenpark/

Tabel 4.10: Gemiddelde jaarlijkse onderhoudskosten inclusief btw

Motortype	Onderhoudskosten (16.000 km per jaar)	Onderhoudskosten per km
Benzine	€ 839,40	€ 0,0525
Diesel	€ 860,88	€ 0,0538
Elektrisch	€ 596,60	€ 0,0373

Bron: Eigen verwerking op basis Chaniotakis, Y., 2012, Renault, *Offerte Renault Maintenance Contract*. Opgevraagd op 6 februari, 2012.

4.4.6 Verzekeringskosten van de wagens

Indien men zich met de wagen op de openbare weg begeeft, is het wettelijk verplicht over een autoverzekering te beschikken die minstens de burgerlijke of burgerrechtelijke aansprakelijkheid vrijwaart. Een dergelijke verzekering dekt de schade berokkend aan andere personen indien men zelf een fout heeft begaan. Er wordt aldus enkel tussengekomen in de kosten voor het slachtoffer. Indien men de eigen kosten ook wil verzekeren, dan kan dat door het afsluiten van een aanvullende verzekering, namelijk een omniumverzekering. Deze bijkomende dekking is echter niet bij wet verplicht.²⁵⁴

Alvorens men verzekerd is tegen een bepaald risico, dient men een premie te betalen. De hoogte hiervan is afhankelijk van de verzekeringsmaatschappij, het wagentype en het profiel van de verzekerde. Het profiel heeft onder andere betrekking op de leeftijd, de woonplaats, de rijervaring en de rijgeschiedenis van de bestuurder. Bij deze laatste parameter wordt er gekeken naar het aantal ongevallen veroorzaakt door de verzekerde in het verleden en het aantal jaren men reeds ongevallenvrij is. Om de verschuldigde premie te bepalen werken verzekeringsmaatschappijen meestal met een bonus-malussysteem, al is dit principe niet verplicht. Hierbij wordt allereerst een basispremie en een bonus-malusgraad vastgelegd aan de hand van respectievelijk het wagentype en het profiel van de verzekerde. Bij Ethias komt de basispremie overeen met graad 14 op de bonus-malusschaal die loopt van 0 tot en met 22. Hierop daalt men één graad per verzekeringsjaar en stijgt men met vijf graden per schadegeval, zonder 0 en 22 te overschrijden. Afhankelijk van waar men terechtkomt op de schaal, zal men van een korting kunnen genieten of dient men een toeslag te betalen op de basispremie. Onder graad 14 krijgt men bij Ethias een korting en vanaf graad 15 wordt er een verhoging toegepast. Indien de schade werd veroorzaakt door een andere persoon, blijft de bonus-malusgraad vanzelfsprekend gelijk.²⁵⁵ Andere verzekeringsmaatschappijen passen vaak dezelfde techniek toe, maar gebruiken andere schaalverdelingen. Echter, het werkingsprincipe met het op- en afklimmen in de schaal blijft gelijk. Bij de verzekering van een

²⁵⁴ Portaal Belgium, 2010, *Verkeersbelasting en verzekering: verzekering*. Opgevraagd op 2 december, 2011. http://www.belgium.be/nl/mobiliteit/Voertuigen/verkeersbelasting_en_verzekering/verzekering/

²⁵⁵ Ethias, 2010. Opgevraagd op 2 december, 2011.

http://www.ethias.be/nl/prd/A2PR017/Particulieren/Verzekeren/Voertuigen/Auto/Detail/Loupe_Bonus-Malus.htm

identieke wagen in combinatie met eenzelfde bonus-malusgraad van de bestuurder, zullen verzekeren in principe dezelfde premie moeten betalen binnen een verzekeringsmaatschappij.²⁵⁶

Voor de vergelijking van de verzekeringskosten wordt er gebruikgemaakt van de verschillende uitvoeringstypes van de Renault Fluence. In tabel 4.11 worden de jaarlijkse kosten van de personenwagenverzekering, opgesteld door een verzekeringsagent van de KBC-groep, weergegeven. De jaarlijkse premie heeft betrekking op de verplichte aansprakelijkheidsverzekering, inclusief taksen en bijdragen, wanneer de wagen wordt gebruikt voor zowel privédoeleinden als woon-werkverkeer. Bij KBC wordt er een bonus-malusschaal van graad nul tot en met zeven gehanteerd, waarbij graad nul het meest voordelige tarief oplevert, namelijk vijftig procent van de startpremie bij graad zeven. Tenzij anders vermeld, start men in de hoogste graad. Vandaar dat deze premie wordt opgesteld in functie van graad zeven. Indien men geen schadegeval veroorzaakt gedurende een verzekeringsperiode daalt men met één graad, waardoor de premie verlaagt. Hierbij dient te worden opgemerkt dat het bedrag terugslaat op personen ouder dan 25 jaar. Indien men jonger is, zal een mogelijke toeslag worden aangerekend. De aanvullende omniumverzekering werd hier niet opgenomen, vermits deze niet wettelijk verplicht is.²⁵⁷

Tabel 4.11: Jaarlijkse verzekeringspremie voor de verplichte aansprakelijkheidsverzekering

Motortype	Verzekeringspremie inclusief taksen en bijdragen
Benzine	€ 774,74
Diesel	€ 774,74
Elektrisch	€ 742,64

Bron: Eigen verwerking op basis van Verheyen, E., 2012, *Premieberekening: KBC-Polis voor Uw Voertuig*. Opgevraagd op 3 december, 2011.

4.4.7 Belasting op de inverkeerstelling

De belasting op de inverkeerstelling, oftewel de BIV, is een eenmalige belasting die men dient te betalen bij het in verkeer brengen van een wagen op de openbare weg door één welbepaalde persoon. De BIV is dus ook van toepassing wanneer iemand een tweedehandswagen in het verkeer brengt. Vóór maart 2012 was het tarief afhankelijk van het vermogen van de wagen, dat werd uitgedrukt in fiscale paardenkracht (PK) en kilowatt (kW). Het aantal fiscale PK's werd berekend aan de hand van een formule op basis van de cilinderinhoud en het voertuiggewicht. Kortom, naarmate de wagen over een grotere cilinderinhoud en een hoger gewicht beschikte, liep het aantal fiscale PK's op.²⁵⁸ Indien een bepaalde wagen door toepassing van het fiscaal vermogen in een andere betalingscategorie terechtkwam dan door toepassing van het aantal kW, diende men het

²⁵⁶ Verheyen, E., 2012, KBC Verzekeringen, gesprek. Gecontacteerd op 8 februari, 2012.

²⁵⁷ Verheyen, E., 2012, KBC Verzekeringen, gesprek. Gecontacteerd op 8 februari, 2012.

²⁵⁸ Departement Leefmilieu, Natuur en Energie, 2011, *Verkeersbelasting*. Opgevraagd op 4 december, 2011. <http://www.lne.be/themas/milieu-en-mobiliteit/milieuvriendelijke-voertuigen/premies-belastingen-en-subsidies/verkeersbelasting>

hoogste bedrag te betalen. De ouderdom van de wagen werd eveneens gebruikt bij de tariefbepaling. Deze was vanzelfsprekend enkel van toepassing op tweedehandswagens.²⁵⁹ Vervolgens worden de voorwaarden van vóór maart 2012 toegepast op een praktijkvoorbeeld van een elektrische wagen, namelijk de Tesla Roadster.

Aangezien een elektromotor geen cilinders heeft zou de Tesla Roadster bij de toepassing van het aantal fiscale PK's in de goedkoopste categorie vallen. Dit kwam overeen met een bedrag van 61,50 euro. Indien er naar het vermogen op basis van kW wordt gekeken, lag de wagen in kwestie met 215 kW ruim in de hoogste klasse die startte vanaf 155 kW. Hier liep de BIV op tot een bedrag van 4.957 euro.^{260, 261} Tussen het laagste en het hoogste tarief bedroeg het verschil maar liefst 4.895,5 euro. Vermits er enkel een afzonderlijke reglementering bestond voor wagens die geheel of gedeeltelijk werden aangedreven door LPG of aardgas, behoorde de Tesla Roadster op basis van de vroegere reglementering thuis in de hoogste betalingscategorie. Echter, in de praktijk werd deze elektrische wagen in de laagste klasse van de BIV ondergebracht.²⁶² Dit voorbeeld illustreert dat er wel degelijk gebreken voorkwamen in het toenmalige systeem. Bovendien wilde Vlaams minister van innovatie, Ingrid Lieten, ter stimulatie van de aanschaf van een elektrische wagen de BIV en de verkeersbelasting op dergelijke wagens volledig afschaffen.²⁶³

Op één maart 2012 werd een vergroening van de BIV ingevoerd, met als doel de aanschaf van milieuvriendelijke wagens te stimuleren. Bijgevolg wordt sedertdien, voor de bepaling van de BIV, gekeken naar onder meer de CO₂-uitstoot, de uitstoot van fijn stof, de Euronorm en het brandstoftype van de wagen. De ouderdom van de wagen wordt ook nog steeds in rekening gebracht voor de toepassing van het BIV-tarief voor tweedehandswagens. Door de invoering van de vergroening zullen de gebreken omtrent de BIV voor elektrische wagens niet meer voorkomen. Elektrische en *plug-in* hybride wagens worden immers niet meer onderworpen aan de BIV. Voertuigen die geheel of gedeeltelijk rijden op basis van LPG of aardgas zijn nog steeds onderworpen aan een voordeliger tarief ten opzichte van benzine- en dieselwagens. Bij de berekening van de BIV wordt een minimum- en maximumbedrag van respectievelijk 40 en 10.000 euro gehanteerd. Beide bedragen worden jaarlijks geïndexeerd op basis van de consumptieprijsindex. De nieuwe berekeningswijze wordt, voor de inschrijving van nieuwe wagens, met een overgangsperiode van twee maanden ingevoerd. Gedurende deze tijd wordt de verschuldigde BIV op basis van zowel de oude als de nieuwe berekeningswijze bepaald en is het voordeligste tarief van toepassing. Vanaf één mei 2012 wordt enkel de nieuwe berekeningswijze gehanteerd voor nieuwe wagens. Daarnaast wordt de vergroening bij tweedehandswagens geleidelijk ingevoerd, zodat deze vanaf 2014 volledig van kracht is op natuurlijke personen. Voor

²⁵⁹ Belastingportaal Vlaanderen, 2009, *Belasting op de inverkeerstelling*. Opgevraagd op 4 december, 2011.
<http://belastingen.vlaanderen.be/nlapps/docs/default.asp?fid=106>

²⁶⁰ Touring, 2011, *Belasting op de inverkeerstelling*. Opgevraagd op 4 december, 2011.
<http://www.touring.be/nl/voorbereiden/auto-kopen/budget/belastingen/index.asp>

²⁶¹ Tesla Motors, 2011, *Roadster: Features and Specs*. Opgevraagd op 7 december, 2011.
<http://www.teslamotors.com/roadster/specs>

²⁶² Mobimix: platform ecologisch vlootbeheer, 2010, *Update: fiscaliteit elektrische voertuigen*. Opgevraagd op 7 december, 2011.
<http://www.mobimix.be/inhoud/2010/10/12/1970>

²⁶³ Muylaert, J., 2010, *Geen rijtaks en BIV op elektrische auto*, Het nieuwsblad. Opgevraagd op 8 december, 2011.
<http://www.nieuwsblad.be/article/detail.aspx?articleid=GRE31GIHE>

bedrijfswagens, die worden ingeschreven op naam van het bedrijf, blijft de oude regelgeving van toepassing.²⁶⁴

Bij gebrek aan gegevens omtrent de nieuwe regelgeving, wordt er gebruikgemaakt van data uit 2009 voor de gemiddelde BIV van benzine- en dieselwagens die werden betaald in datzelfde jaar. Dit vormt immers geen probleem aangezien er een vermoeden heerst dat het gemiddelde BIV-tarief niet sterk zal wijzigen door de budgetneutrale invoering van de nieuwe regelgeving.²⁶⁵ Het wordt namelijk goedkoper voor de milieuvriendelijkste wagens en duurder voor de meest vervuilende tegenhangers.²⁶⁶ De BIV-tarieven werden tussen 2009 en 2011 niet geïndexeerd, waardoor men de gevonden waarden ook niet moet corrigeren.^{267, 268} Hierbij wordt verondersteld dat de samenstelling van het voertuigenpark, met betrekking tot het fiscaal vermogen van de wagens, ongewijzigd is gebleven van 2009 tot nu. In tabel 4.12 worden de gemiddelde BIV-tarieven per motortype voorgesteld. Aangezien de elektrische wagen vanaf maart 2012 is vrijgesteld van BIV, zal de kost nul zijn.

Tabel 4.12: Gemiddelde BIV voor personenwagens per motortype
(op basis van gegevens van 2009)

Motortype	Gemiddelde BIV
Benzine	€ 405,30
Diesel	€ 510,50
Elektrisch	€ 0,00

Bron: Eigen verwerking op basis van Milieurapport Vlaanderen. Opgevraagd op 6 december, 2011.
http://www.milieurapport.be/Upload/Main/MiraData/MIRA-T/01_SECTOREN/01_06/TRAN_O&O_05.PDF

Ter volledigheid wordt opgemerkt dat er in Wallonië voor de berekening van de BIV, in tegenstelling tot in Vlaanderen, een bonus-malus systeem wordt toegepast op basis van de CO₂-uitstoot van een wagen. Op deze manier krijgt men als het ware een korting of een toeslag op de BIV. De toepassing werkt met schijven. Indien de CO₂-uitstoot minder bedraagt dan 146 g/km bij de aanschaf van een eerste wagen, zal er een bonus voorzien worden. Ligt de uitstoot hoger dan 196 g/km, kan men een malus verwachten. Als de CO₂-emissie zich bevindt tussen 146 en 194 g/km, wordt er geen bonus of malus toegekend. De overschakeling naar een andere wagen brengt een bonus met zich mee indien de gekochte wagen in een lagere CO₂-schijf valt. Wanneer men in

²⁶⁴ Belastingportaal Vlaanderen, 2009, *Vergroening BIV*. Opgevraagd op 3 maart, 2012.
<http://belastingen.vlaanderen.be/nlapps/docs/default.asp?fid=129>

²⁶⁵ Vlaams Parlement, 2011, *Commissievergadering van 4 oktober 2011 (nr. C10 – LEE1)*. Opgevraagd op 9 december, 2011.
http://docs.vlaamsparlament.be/docs/handelingen_commissies/2011-2012/c0m010lee1-04102011.pdf

²⁶⁶ Cipriani, F., 2011, *ACW-standpunt: de vergroening van de BIV*. Opgevraagd op 10 december, 2011.
http://www.acw.be/index.php?option=com_content&view=article&id=3439:acw-standpunt-de-vergroening-van-de-biv&catid=223:duurzame-ontwikkeling&Itemid=610

²⁶⁷ FOD Financiën, 2009, *Tarieven van de verkeersbelasting 2009-2010*: p4-7. Opgevraagd op 11 december, 2011.
<http://www.verzekeringenplevoets.be/documenten/verkeersbelasting.pdf>

²⁶⁸ FOD Financiën, 2011, *Tarieven van de verkeersbelasting 2011-2012*: p4-7. Opgevraagd op 11 december, 2011.
<http://koba.minfin.fgov.be/commande/pdf/folder-verkeersbelasting-2011-2012.pdf>

een hogere schijf terechtkomt, zal een malus worden toegepast en bij een gelijkblijvende schijf is er noch een bonus noch een malus voorzien.²⁶⁹

4.4.8 Verkeersbelasting

Voor de benutting van de openbare weg dient de bestuurder van een wagen jaarlijks een verkeersbelasting te betalen. De kost die hiermee gepaard gaat, is enkel afhankelijk van het aantal fiscale PK's van de wagen. Zoals bij de BIV werd aangehaald, wordt het fiscaal vermogen berekend aan de hand van de cilinderinhoud en het wagengewicht. Een elektrische wagen zal in de laagste categorie thuishoren vanwege het ontbreken van enige cilinders bij een elektromotor. Aangezien er geen gegevens ter beschikking zijn voor de gemiddelde verkeersbelasting op personenwagens aangaande het jaar 2012, wordt er gebruikgemaakt van informatie uit 2008. Deze bedragen uit 2008 dienen gecorrigeerd te worden vermits de tarieven van de verkeersbelasting jaarlijks geïndexeerd worden op basis van de consumptieprijzen.²⁷⁰ De tarieven zijn momenteel immers 5,3 procent hoger dan in 2008.^{271, 272} Daarom zullen de bedragen voor de gemiddelde verkeersbelasting uit 2008 met hetzelfde percentage worden aangepast. Bijkomend wordt er, zoals bij de BIV, aangenomen dat het fiscaal vermogen van het voertuigenpark tussen 2008 en de huidige situatie ongewijzigd is gebleven.

In tabel 4.13 wordt het huidige tarief met betrekking tot de elektrische wagen, alsook de aangepaste gemiddelde tarieven voor de benzine- en dieselwagen weergegeven. Hierbij dient te worden opgemerkt dat er in deze bedragen opdecimen ter hoogte van 10 procent zitten verrekend die toebehoren aan de gemeenten. Zij kunnen de hoogte van de aanvullende belasting echter niet zelf vastleggen. Kortom, de Vlaamse overheid int de verkeersbelasting en boekt een gedeelte van het bedrag dat toekomt aan de gemeenten over.²⁷³ In tegenstelling tot de vrijstelling van de BIV voor een elektrische wagen, is deze momenteel nog wel onderworpen aan de verkeersbelasting, weliswaar aan het laagste tarief. Tot slot kan nog worden vastgesteld dat wagens die rijden op LPG een aanvullende verkeersbelasting van 89,16; 148,68 of maximaal 208,20 euro moeten betalen, al naargelang het fiscaal vermogen van de wagen, daar ze bij de BIV kunnen profiteren van een eenmalig lager tarief.²⁷⁴

²⁶⁹ Departement Leefmilieu, Natuur en Energie, 2011, *Belasting op de inverkeerstelling*. Opgevraagd op 6 december, 2011.

<http://www.lne.be/themas/milieu-en-mobiliteit/milieuvriendelijke-voertuigen/premies-belastingen-en-subsidies/verkeersbelasting/biv>

²⁷⁰ Departement Leefmilieu, Natuur en Energie, 2011, *Jaarlijkse verkeersbelasting*. Opgevraagd op 6 december, 2011.

<http://www.lne.be/themas/milieu-en-mobiliteit/milieuvriendelijke-voertuigen/premies-belastingen-en-subsidies/verkeersbelasting/jaarlijkse-verkeersbelasting>

²⁷¹ FOD Financiën, 2011, *Tarieven van de verkeersbelasting 2011-2012*: p2. Opgevraagd op 7 december, 2011. <http://koba.minfin.fgov.be/commande/pdf/folder-verkeersbelasting-2011-2012.pdf>

²⁷² FOD Financiën, 2011, *Tarieven van de verkeersbelasting 2008-2009*: p2. Opgevraagd op 7 december, 2011. <http://www.vanmeenen.com/LPG-autogas-Vlaanderen/biv.pdf>

²⁷³ Matthijs, H., Naert, F., & Vuchelen, J., 2007, *Handboek Openbare Financiën, Deel 3: Hoofdstuk 4: De lokale besturen*, Antwerpen: Intersentia: p204-205.

²⁷⁴ FOD Financiën, 2011, *Tarieven van de verkeersbelasting 2011-2012*: p2. Opgevraagd op 7 december, 2011. <http://koba.minfin.fgov.be/commande/pdf/folder-verkeersbelasting-2011-2012.pdf>

Tabel 4.13: Gemiddelde verkeersbelasting voor personenwagens per motortype
(aangepaste gegevens van 2008 voor benzine- en dieselmotor)

Motortype	Gemiddelde verkeersbelasting
Benzine	€ 308,49
Diesel	€ 308,49
Elektrisch	€ 73,79

Bron: Eigen verwerking op basis van Milieurapport Vlaanderen en FOD Financiën. Opgevraagd op 7 december, 2011.

http://www.milieurapport.be/Upload/Main/MiraData/MIRA-T/01_SECTOREN/01_06/TRAN_O&O_05.PDF

<http://koba.minfin.fgov.be/commande/pdf/folder-verkeersbelasting-2011-2012.pdf>

4.4.9 **Opportunitetskost van de beperkte actieradius van elektrische wagens**

Het opladen van een elektrische wagen neemt beduidend meer tijd in beslag dan het tanken van een conventionele wagen. Immers, in het beste geval kan een lege batterij op een half uur voor tachtig procent worden opgeladen door gebruik te maken van een snellading.²⁷⁵ Herinner de laadcyclus van een lithium-ion batterij (3.2.1), waarbij de eerste tachtig procent kan worden opgeladen aan het maximale vermogen. De resterende twintig procent dient op een gecontroleerde wijze te verlopen, waardoor dit deel van het proces trager verloopt. Wordt de wagen thuis opgeladen via het standaard stopcontact, dan zal de totale laadtijd zes tot acht uur bedragen. Voor veel mensen kan dit tijdsaspect een grote rol spelen in hun keuze tussen een elektrische en een conventionele wagen.

De lange oplaadtijd kan verholpen worden door twee snellere methoden. Een eerste omvat de batterijwissel (3.2.4), waarbij een batterij op minder dan drie minuten kan worden vervangen. Dit stemt in zekere mate overeen met een tankbeurt van een conventionele wagen, maar vereist een hoog niveau van standaardisatie. Renault en Nissan zijn, in samenwerking met Better Place, op dit ogenblik al voorzien op een dergelijke batterijwissel. Op andere autoproducenten is het nog wachten of zij ook gebruik zullen maken van een dergelijk systeem. In België is er op dit ogenblik nog geen batterijwisselstation actief.²⁷⁶ Een andere mogelijke methode is de inductielading (3.2.3), waarbij de elektrische wagen tijdens het rijden kan worden opgeladen. In principe zou men met behulp van deze methode voortdurend kunnen blijven rijden zonder te moeten stoppen voor het opladen van de wagen. Dit vereist echter een zeer grote investering in de weginfrastructuur.²⁷⁷ Op basis van de huidige situatie ziet het er aldus niet naar uit dat één van beide oplossingen snel en tevens in grote mate zal worden geïmplementeerd.

²⁷⁵ eNovates, 2011, *Voertuigen en aandrijvingen*. Opgevraagd op 19 oktober, 2011.

<http://www.enovates.com/index.php/nl/mnuemobility/mnutechnology>

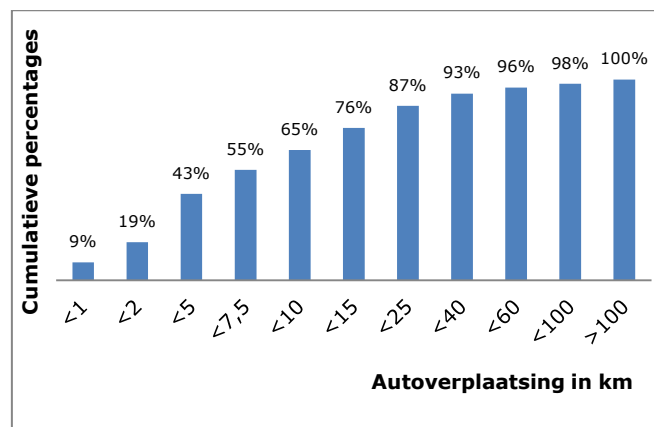
²⁷⁶ Better Place, 2011, *Battery switch stations*. Opgevraagd op 7 december, 2011.

<http://www.betterplace.com/the-solution-switch-stations>

²⁷⁷ Giancoli, D. C., 1999, *Natuurkunde voor Wetenschap en Techniek*, Elektrostatica en Magnetisme (M. van Vreumingen, Vertaling). Schoonhoven: Academic Service. (Oorspronkelijk verschenen in het Engels in 1993): p324-327.

Bijgevolg zullen de elektrische wagens in de nabije toekomst worden opgeladen met behulp van laadpalen die worden aangesloten op het elektriciteitsnet. Dit brengt een aanzienlijke laadtijd met zich mee. Echter, indien mensen over een elektrische wagen beschikken, wordt er aangenomen dat ze proactief zullen reageren op het feit dat het opladen langer duurt dan een traditionele tankbeurt. Ze zullen met andere woorden hun gedrag aanpassen aan de situatie en onder andere de wagen bijladen op ieder moment dat hij stilstaat, zodat het oplaadniveau van de batterij zo hoog mogelijk blijft. De vereiste hierbij is wel dat er voldoende publieke oplaadpunten ter beschikking moeten worden gesteld. Een dergelijke ingesteldheid maakt het mogelijk om alle verplaatsingen, die weliswaar binnen de autonomie van de wagen vallen, te doen zonder hierbij enige tijd te verliezen met het wachten voor het opladen. Op huidig ogenblik bedraagt de gemiddelde autonomie ongeveer 150 kilometer.²⁷⁸ Figuur 4.6 toont de cumulatieve verdeling van de dagelijkse verplaatsingen met personenwagens in België. Hieruit blijkt dat een dergelijke autonomie zeker voldoende is voor 98 procent van de verplaatsingen, aangezien in deze gevallen minder dan honderd kilometer wordt afgelegd. Echter, voor de overige twee procent van de verplaatsingen is het mogelijk dat bestuurders een grotere afstand moeten afleggen, die de elektrische wagen niet kan overbruggen. Daardoor zijn ze verplicht een tussenstop te maken voor het opladen van de batterij en zullen ze beduidend meer tijd verliezen dan bij een gewone tankbeurt. Ondanks het feit dat slechts twee procent van de verplaatsingen zich boven de honderd kilometer bevindt, nemen ze wel vijftien procent van de totaal afgelegde weg in beslag.²⁷⁹

Figuur 4.6: Cumulatieve verdeling van autoverplaatsingen



Bron: Eigen verwerking op basis van Bond Beter Leefmilieu, 2010, *Uitdaging voor elektrische mobiliteit*, Brussel: p27. Opgevraagd op 30 oktober, 2011.
http://www.bondbeterleefmilieu.be/downloads ftp/beleid/100909_elektrisch_mobiel_2020_rapport.pdf

Omwille van voorgaande redenering moet er enkel rekening worden gehouden met de verloren tijd van een tussenstop die uitsluitend dient voor het opladen van de wagen. De opportuniteitskost die gepaard gaat met het tijdsverlies door het opladen van een elektrische wagen bedraagt 19,85 euro

²⁷⁸ Febiac, 2011, *Elektrische voertuigen*, Brussel: p8. Opgevraagd op 10 oktober, 2011.
http://www.febiac.be/documents_febiac/publications/2010/infospecialnllr.pdf

²⁷⁹ Bond Beter Leefmilieu, 2010, *Uitdaging voor elektrische mobiliteit*, Brussel: p27. Opgevraagd op 30 oktober, 2011.
http://www.bondbeterleefmilieu.be/downloads ftp/beleid/100909_elektrisch_mobiel_2020_rapport.pdf

per uur.²⁸⁰ Vermits er nog geen studies zijn uitgevoerd in Vlaanderen met betrekking tot dit tijdsverlies, kan de grootte van de opportuniteitskost niet worden bepaald.

4.4.10 Samenvatting private kosten en baten van de elektrische wagen

Alle voorgaande private kosten betreffende de verschillende wagentypes worden samengevat in tabel 4.14. Deze kosten kunnen worden opgesplitst in eenmalige en jaarlijkse categorieën. In kolom twee tot en met vier van onderstaande tabel worden de kosten per wagentype getoond. Daarnaast worden de netto kosten van de overschakeling van een conventionele wagen, respectievelijk de benzine- en de dieselwagen, naar een elektrische wagen weergegeven. Immers, bij een dergelijke overschakeling komen de vermeden kosten van de conventionele wagen overeen met de baten van de elektrische wagen. Kortom, een positief getal brengt dus een extra kost met zich mee, terwijl een negatief getal een baat vertoont bij de overschakeling van een conventionele naar een elektrische wagen. Hierbij dient te worden opgemerkt dat de opportuniteitskost van de beperkte actieradius niet wordt opgenomen, aangezien hieromtrent geen concrete gegevens beschikbaar zijn. Vermits de totale private kosten afhangen van het al dan niet bekomen van een belastingvermindering en het leasen of kopen van een batterij, zal er op basis van onderstaande tabel geen eenduidige totale netto kost of baat van de elektrische wagen kunnen worden weergegeven omtrent de eenmalige en jaarlijkse kosten. In het volgende hoofdstuk zullen een aantal scenario's worden opgesteld en verschillende sensitiviteitsanalyses worden uitgevoerd om zo te komen tot de netto kost of baat van een elektrische wagen in verschillende omstandigheden.

Tabel 4.14: Private kosten van de elektrische ten opzichte van de conventionele wagen

	Benzine	Diesel	Elektrisch	Elektrisch- Benzine	Elektrisch- Diesel
Eenmalige kosten					
Aanschaf wagen					
Excl. belastingvermindering	€ 19.800,00	€ 22.050,00	€ 26.620,00	€ 6.820,00	€ 4.570,00
Incl. belastingvermindering	€ 19.800,00	€ 22.050,00	€ 18.634,00	€ -1.166,00	€ -3.416,00
Aanschaf thuislaadinfrastructuur					
Excl. belastingvermindering			€ 1.000,00	€ 1.000,00	€ 1.000,00
Incl. belastingvermindering			€ 750,00	€ 750,00	€ 750,00
Aanschafkosten batterij (kopen)					
Excl. belastingvermindering			€ 25.300,00	€ 25.300,00	€ 25.300,00
Incl. belastingvermindering			€ 24.096,00	€ 24.096,00	€ 24.096,00
Belasting op de inverkeerstelling	€ 405,30	€ 510,30		€ -405,30	€ -510,30
Jaarlijkse kosten (15.660 km/jaar)					
Aanschaf batterij (leasen)			€ 1.541,00	€ 1.541,00	€ 1.541,00
Brandstof- en elektriciteit	€ 2.040,95	€ 1.378,21	€ 479,63	€ -1.561,32	€ -898,58
Onderhoud	€ 822,15	€ 842,51	€ 584,12	€ -238,03	€ -258,39
Verzekering	€ 774,74	€ 774,74	€ 742,64	€ -32,10	€ -32,10
Verkeersbelasting	€ 308,49	€ 308,49	€ 73,79	€ -234,70	€ -234,70

Bron: Eigen verwerking.

²⁸⁰ Vlaamse Overheid, 2008, *Standaardtarief – burgers – Update 2008*, Opgevraagd op 29 maart, 2012. http://www.bestuurszaken.be/sites/bz.vlaanderen.be/files/Standaardtarief_burgers_update2008.pdf

4.5 Overheidskosten en -baten van de elektrische wagen

De invoering van de elektrische wagen brengt niet alleen private kosten en vermeden externe kosten met zich mee. Immers, het hele proces moet worden gereguleerd door de overheid, hetgeen gepaard zal gaan met directe effecten, zoals reguleringskosten en welvaartseffecten. De reguleringskosten kunnen op hun beurt worden onderverdeeld in kosten veroorzaakt tijdens de voorbereidingsfase enerzijds en tijdens de uitvoerings- en handhavingsfase anderzijds. Met betrekking tot de welvaartseffecten kunnen zich zowel kosten als baten voordoen. Daarnaast kunnen zich mogelijk ook indirecte effecten manifesteren, waaronder macro-economische effecten en welvaartseffecten in afgeleide sectoren. Deze indirecte effecten worden niet besproken in kader van deze masterproef, aangezien ons dit te ver zou leiden.

4.5.1 Reguleringskosten

Gedurende de voorbereidingsfase, dit is de periode die voorafgaat aan de totstandkoming van de eigenlijke regelgeving omtrent de elektrische wagen, zijn er vier soorten reguleringskosten te onderscheiden, namelijk informatiekosten, kosten van draagvlakcreatie, planningskosten en wetgevingskosten. In wat volgt zullen deze kosten kwalitatief worden besproken aan de hand van de huidige situatie, waarbij een belastingvermindering wordt toegekend op de aanschaf van een elektrische wagen en de installatie van een thuislaadinfrastructuur.

Ten eerste ontstaan er informatiekosten tijdens de voorbereidingsfase. Hieronder behoren de kosten die de overheid maakt met betrekking tot het bekomen van inlichtingen omtrent een bepaalde problematiek, zoals luchtvervuiling en de gevolgen ervan voor het milieu en de volksgezondheid. Voorgaande onderwerpen zijn reeds uitvoerig onderzocht geweest. De informatie hieromtrent kan aldus via geringe inspanningen worden verkregen. Eveneens moet er informatie worden gezocht aangaande mogelijke oplossingen, waaronder de elektrische wagen, die kunnen bijdragen tot de reductie van het probleem. Deze informatie betreft onder meer de milieu- en gezondheidseffecten, de technische werking en de aanschafwaarde van dergelijke wagens. Proeftuinplatformen vormen een geschikte bron van informatie omtrent zulke onderwerpen. Zoals in hoofdstuk drie werd aangehaald, zijn er momenteel vijf proeftuinplatformen betreffende de elektrische wagen, waarvan het gezamenlijke investeringsbudget 16,25 miljoen euro bedraagt. Verder is het eveneens mogelijk dat de overheid gaat kijken naar de toegepaste regelgeving in andere landen, oftewel aan benchmarking gaat doen.

Daarnaast kunnen er zich kosten van draagvlakcreatie voordoen tijdens de voorbereidingsfase. Dit zijn kosten die gemaakt worden ter ondersteuning van een bepaalde doelstelling, zoals het verbeteren van de luchtkwaliteit. Bestuurlijk overleg en het instellen van een *taskforce* of een

gespecialiseerde commissie zijn instrumenten met het oog op draagvlakcreatie.²⁸¹ Een sensibiliserings- of informatiecampagne omtrent een bepaalde problematiek kunnen mogelijke kanalen zijn voor het creëren van een draagvlak onder de burgers. Op deze manier kan de overheid de burgers ervan bewust maken dat ingrijpen noodzakelijk is. Bovendien is het langs deze weg ook mogelijk om de effecten van een bepaalde oplossing, zoals de elektrische wagen, naar voren te brengen. De kosten die gepaard gaan met draagvlakcreatie zullen nochtans een beperkt deel uitmaken van de totale reguleringskost.

Ten derde maken eveneens planningskosten deel uit van de voorbereidingsfase. Er moeten immers personen samenkomen in parlementaire zittingen en plenaire vergaderingen om te bespreken op welke manier men een bepaalde doelstelling wil realiseren. Indien men beslist om meer elektrische wagens in het verkeer te krijgen, moet men bepalen welke instrumenten hiervoor zullen worden aangewend. In de huidige regelgeving heeft men gekozen voor het toekennen van een fiscaal voordeel op de aanschafwaarde van de elektrische wagen en de thuislaadinfrastructuur.

Tot slot zijn er tijdens de voorbereidingsfase nog wetgevingskosten die gepaard gaan met het opstellen van wetten omtrent de gekozen oplossing. Hier werd aldus geopteerd voor een fiscaal voordeel op de aanschaf van een elektrische wagen en een thuislaadinfrastructuur. Meer bepaald moeten deze wetten dan de hoogte van de bedragen omvatten en de voorwaarden waaraan consumenten moeten voldoen alvorens ze in aanmerking komen voor deze belastingvermindering. Verder houden de wetgevingskosten ook de honoraria van juristen in. Zij zijn immers belast met het opstellen van de wetteksten omtrent de regelgeving. Deze kosten zullen echter beperkt zijn.

Naast de voorbereidingsfase bestaat er ook een tweede fase, namelijk de uitvoerings- en handhavingsfase. Tot de eerste categorie behoren de opstartkosten en de operationele kosten. Deze twee kostensoorten zullen de grootste uitgaven van de overheid opeisen, aangezien het gaat om een belastingvermindering ter stimulatie van de elektrische wagen. Daarnaast behoren de handhavingskosten tot de tweede categorie. Deze laatste kostencategorie zal beperkt blijven vermits er geen verplichtingen verbonden zijn aan de aanschaf van een elektrische wagen. Vandaar zullen deze kosten buiten beschouwing worden gelaten.

Allereerst zijn er de opstartkosten die behoren tot de uitvoeringsfase. In deze stap is een zeer omvangrijke investering vereist alvorens een grootschalige introductie van elektrische wagens mogelijk wordt, namelijk de implementatie van een *Smart Grid*. Een dergelijke investering is noodzakelijk voor een overbelasting van het elektriciteitsnet tegen te gaan. Echter, dit slim netwerk is niet enkel noodzakelijk vanwege de elektrische wagen. Volgens de Vlaamse Instelling voor Technologisch Onderzoek (VITO) is het omvormen van het huidige elektriciteitsnet onvermijdbaar indien men hernieuwbare energiebronnen, zoals zonnepanelen en windmolens, grootscheeps wil implementeren in het huidige energienet. Dit is vereist vanwege het variabele

²⁸¹ Baarsma, B., Janssen, K., Groot, I., & ter Beek, H., 2007, *Selectie sturingsinstrumenten*, Amsterdam: p46-48. Opgevraagd op 9 december, 2011.
http://www.seo.nl/uploads/media/967_Selectie_sturingsinstrumenten.pdf

karakter van wind en zon.²⁸² Het voordeel van de elektrische wagens zou zijn dat het teveel aan opgewekte energie bij veel wind en zon kan worden opgeslagen in de batterijen van de wagens. Bij periodes van minder gunstige weersomstandigheden kan dan een gedeelte van de opgeslagen energie worden teruggegeven aan het net. Naar verluidt bedraagt de ontwikkeling van een Vlaams *Smart Grid* 4,5 miljard euro. Het omvat aldus een grootse investering.²⁸³ Hiernaast behoren ook nog de kosten voor de eventuele aanschaf van servers voor gegevensopslag van de burgers, die gebruik hebben gemaakt van de belastingvermindering en dergelijke, tot de opstartkosten.

De uitvoeringsfase gaat, naast de opstartkosten, ook gepaard met operationele kosten en opbrengsten. In wat volgt worden deze verder uitgewerkt, waarbij de cijfers telkens kunnen worden teruggevonden in tabel 4.16. Deze cijfers gaan uit van de huidige wetgeving omtrent de elektrische wagen.

Concreet omvatten de operationele kosten de verloren opbrengsten door het toekennen van een belastingvermindering ter hoogte van dertig procent op de aanschafwaarde van elektrische wagens. Deze vermindering is echter beperkt tot een bedrag van 9.190 euro in aanslagjaar 2012. Vermits het merendeel van de elektrische wagens inclusief batterij meer kost dan 30.633 euro, het bedrag tot waar de vermindering effectief is, wordt er in deze masterproef aangenomen dat het maximaal fiscaal voordeel steeds wordt toegekend bij aanschaf van een elektrische wagen inclusief batterij. Hierbij dient te worden opgemerkt dat het leasen van een batterij kan leiden tot een beperkt lagere belastingvermindering dan het maximale bedrag van 9.190 euro. Immers, het fiscaal voordeel is dan enkel van toepassing op de elektrische wagen exclusief batterij. In dergelijk geval bedraagt de belastingvermindering voor de elektrische Renault Fluence 7.986 euro. Eveneens wordt er een belastingvermindering toegekend op de aanschaf van een thuislaadinfrastructuur ter hoogte van veertig procent, weliswaar beperkt tot een bedrag van 250 euro. Ook hier zal het maximum bedrag worden aangenomen omdat huidige prijzen omtrent thuislaadsystemen zich situeren rond de 1.000 euro.²⁸⁴ Daarnaast zijn elektrische wagens vrijgesteld van de belasting op de inverkeerstelling (BIV) en wordt slechts het minimale tarief van de verkeersbelasting toegepast. Deze gemiddelde inkomensverliezen voor de overheid kunnen worden afgeleid aan de hand van tabellen 4.12 en 4.13 door een gewogen gemiddelde te nemen van de huidige samenstelling van het voertuigenpark (40 procent benzine- en 60 procent dieselwagens). Eveneens kan, door gebruik te maken van dit gewogen gemiddelde, het verlies aan btw op het verschil in onderhoudskosten uit tabel 4.10 worden bepaald. Het jaarlijks verlies voor de overheid komt overeen met 43,43 euro. Bovendien loopt de overheid, vanwege de overschakeling op elektrische wagens, accijnzen op de verkoop van conventionele brandstoffen mis. Deze accijnzen bedroegen in 2011 gemiddeld 0,6136 en 0,4219 euro per liter voor respectievelijk benzine en diesel.²⁸⁵ Verdisconteerd naar 2012 zullen deze accijnzen per liter brandstof respectievelijk 0,6381 en 0,4388 euro bedragen. De verloren

²⁸² Schaeffer, G. J., 2011, *Panelgesprek elektrische mobiliteit*: Universiteit Hasselt. Bijgewoond op 8 november, 2011.

²⁸³ Vlaams Parlement, 2011, stuk 444 Nr. 2: *Voorstel van resolutie betreffende de bevordering van elektrische voertuigen die rijden op groene stroom in Vlaanderen*: p10. Opgevraagd op 29 oktober, 2011.
<http://docs.vlaamsparlement.be/docs/stukken/2009-2010/q444-2.pdf>

²⁸⁴ Buyckx, P., eNovates, 2011, *Telefonische gesprek*. Gecontacteerd op 29 november, 2011.

²⁸⁵ Petrolfed, 2011. Opgevraagd op 10 december, 2011.
http://www.petrolfed.be/dutch/docs/Evolutie_accijnzen_petroleumproducten_sinds_1971.01.01.xls

overheidsopbrengst aan accijnzen kan worden berekend indien er rekening wordt gehouden met het gemiddelde verbruik van conventionele wagens, het gemiddeld aantal gereden kilometer per jaar (zie tabel 4.9) en de verdeling van het wagenpark naar brandstofsoort. Op eenzelfde wijze kan het verlies aan btw op brandstoffen worden afgeleid. Het btw-tarief op brandstoffen bedraagt 21 procent. In 2011 bedroeg de gemiddelde btw-opbrengst per liter brandstof 0,2835 en 0,2494 euro voor respectievelijk benzine en diesel. Verdisconteerd met vier procent bedragen deze waarden in 2012 respectievelijk 0,2948 en 0,2594 euro.²⁸⁶ Tot slot kan worden opgemerkt dat het verlies aan btw op het verschil van de verzekeringskosten nihil is en bijgevolg buiten beschouwing wordt gelaten.

Naast operationele kosten gaat de elektrische wagen voor de overheid ook gepaard met operationele opbrengsten, waaronder de btw op het elektriciteitsverbruik van de wagen. In tabel 4.9 kan men de elektriciteitsprijs per kWh inclusief btw, in termen van 2012, aflezen. Het btw-tarief op elektriciteit bedraagt eveneens 21 procent. Hieruit volgt dat het absolute bedrag aan btw overeenstemt met 0,0330 euro per kWh. Indien er rekening wordt gehouden met het verbruik van de elektrische wagen en het aantal gereden kilometer, kan het jaarlijks bedrag aan btw-opbrengsten tengevolge van het elektriciteitsverbruik worden afgeleid. Daarnaast behoren ook de btw-opbrengsten bij de aanschaf van een elektrische wagen tot de operationele opbrengsten. Deze zijn groter dan bij een conventionele wagen vanwege de hogere aanschafprijs. Hierbij bedraagt het btw-tarief wederom 21 procent. Indien er rekening wordt gehouden met de verschillende Renault Fluence modellen kan er een schatting gemaakt worden van deze bijkomende opbrengst. De prijzen inclusief btw van de verschillende modellen zijn terug te vinden in tabel 4.15. Hieruit kan dan de verschuldigde btw worden afgeleid. Er dient te worden opgemerkt dat de elektrische wagen exclusief batterij wordt opgenomen in onderstaande tabel. Voor de berekening van het verschil in btw op de aanschafprijs tussen de elektrische en de conventionele wagen dient er geen rekening te worden gehouden met de verdeling van het voertuigenpark naar brandstofsoort, maar wel met de verdeling van aanschaf naar brandstofsoort. In 2010 waren benzine- en dieselwagens goed voor 99,3 procent van de totale aanschaf van wagens. Indien de overige 0,7 procent andere wagens buiten beschouwing wordt gelaten, kan er worden besloten dat de benzine- en dieselwagen een aandeel hebben van respectievelijk 23,5 en 76,5 procent in de aanschaf van nieuwe wagens.²⁸⁷

²⁸⁶ FOD Economie, 2011, *Gemiddeld officieel tarief aardolieproducten laatste 8 jaar*. Opgevraagd op 11 december, 2011.

http://statbel.fgov.be/nl/statistieken/cijfers/energie/prijzen/gemid_8/

²⁸⁷ Febiac, 2011, *Datadigest 2011: Evolutie van de inschrijvingen van nieuwe wagens per brandstofsoort*. Opgevraagd op 12 december, 2011.

<http://www.febiac.be/public/statistics.aspx?FID=23&lang=NL>

Tabel 4.15: Aanschafkosten en btw van verschillende wagentypes

Type motor	Aanschaf zonder fiscale tegemoetkoming incl. btw	Btw (21%)
Benzine	€ 19.800,00	€ 3.436,36
Diesel	€ 22.050,00	€ 3.826,86
Elektrisch excl. batterij	€ 26.620,00	€ 4.620,00

Bron: Eigen verwerking op basis van Renault, 2011. Opgevraagd op 12 december, 2011.
<http://www.renault.be/nl/>

Een andere operationele opbrengst is de btw op de aanschaf van de batterij voor de elektrische wagen. Herinner dat men een batterij kan kopen of leasen. De verschuldigde btw zal hier aldus afhankelijk van zijn. In tabel 4.7 kunnen de kosten inclusief btw, die gepaard gaan met de aanschaf van een batterij, worden teruggevonden. Voor het kopen van een batterij wordt een interval van 22.000 tot 28.600 euro weergegeven. Hier zal echter de gemiddelde kostprijs, namelijk 25.300 euro, worden gehanteerd voor verdere berekeningen. Het leasen brengt een jaarlijkse kost van 1.541 euro met zich mee. Uit deze laatste twee bedragen kan de te betalen btw, bij een tarief van 21 procent, worden afgeleid.

Cijfers per elektrische wagen omtrent voorgaande operationele kosten en opbrengsten voor de overheid worden samengevat in tabel 4.16. Hierbij kan worden opgemerkt dat een aantal kosten en opbrengsten eenmalig zijn, terwijl andere worden uitgedrukt in jaarlijkse termen. Speciale aandacht dient uit te gaan naar de btw op aanschaf van een batterij, aangezien men hier een keuze moet maken tussen het kopen of leasen. Ze kunnen zich immers niet tegelijkertijd voordoen. Uit tabel 4.16 kan worden besloten dat een elektrische wagen voor de overheid gepaard gaat met veel verloren opbrengsten, dewelke als kosten kunnen worden beschouwd, terwijl er slechts een beperkt aantal bijkomende opbrengsten voor de overheid zijn.

Aan de hand van tabel 4.16 kan vervolgens de netto overheidskost worden bepaald. Hierbij dient wel rekening te worden gehouden met twee scenario's, namelijk het kopen en het leasen van de batterij. Verder moet er een onderscheid gemaakt worden tussen de eenmalige en jaarlijkse netto kosten voor de overheid. Deze opsplitsing wordt weergegeven in tabel 4.17. Hierbij dient te worden opgemerkt dat bijvoorbeeld de btw op federaal niveau wordt geïnd, terwijl het toekennen van een belastingvermindering tot de gewestelijke bevoegdheden behoort. Doorheen de masterproef zal echter geen onderscheid worden gemaakt tussen de verschillende overheidsniveaus voor de bepaling van de overheidskosten en -opbrengsten.

Tabel 4.16: Operationele kosten en opbrengsten voor de overheid per elektrische wagen

Operationele kosten voor de overheid per elektrische wagen	
Belastingvermindering op wagen	
• Kopen van een batterij	€ 9.190,00
• Leasen van een batterij	€ 7.986,00
Belastingvermindering op thuislaadinfrastructuur	€ 250,00
Verlies van belasting op de inverkeerstelling	€ 468,42
Verlies van verkeersbelasting (jaarlijks)	€ 234,70
Verlies van accijnzen op brandstoffen (jaarlijks)	€ 549,42
Verlies van btw op brandstoffen (jaarlijks)	€ 285,19
Verlies van btw op onderhoudskosten (jaarlijks)	€ 43,43
Operationele opbrengsten voor de overheid per elektrische wagen	
Bijkomende btw op aanschafprijs in vergelijking met de conventionele wagen	€ 884,91
Btw op elektriciteitsverbruik (jaarlijks)	€ 83,30
Btw op aanschaf batterij:	
• Kopen	€ 4.390,91
• Leasen (jaarlijks)	€ 267,45

Bron: Eigen verwerking.

Tabel 4.17: Operationele netto kosten voor de overheid per elektrische wagen

Operationele netto kosten voor de overheid per elektrische wagen	
Batterij kopen	
• Eenmalige kosten	€ 4.632,60
• Jaarlijks kosten	€ 1.029,44
Batterij leasen	
• Eenmalig kosten	€ 7.819,51
• Jaarlijks kosten	€ 761,99

Bron: Eigen verwerking.

4.5.2 Welvaartseffecten

Welvaartseffecten die het gevolg zijn van de regelgeving omtrent elektrische wagens kunnen worden opgesplitst in welvaartskosten en -baten. De welvaartskosten zijn de bijkomende externe kosten, zoals vervuilingskosten bij de elektriciteitsopwekking, ten gevolge van de invoering van de elektrische wagen. Welvaartsbaten daarentegen zijn de vermeden externe kosten, waartoe de uitstoot van de vervangen conventionele wagen behoort. Het welvaartseffect is het verschil tussen de vermeden en de bijkomende externe kosten. De verschillende externe schadekosten werden reeds uitvoerig besproken in paragraaf 4.3. De grootte van het totale welvaartseffect hangt af van het aantal conventionele wagens die vervangen worden door elektrische exemplaren.

4.6 Samenvatting kosten en baten

Kosten en baten die gepaard gaan met de vervanging van de conventionele door de elektrische wagen worden samengevat in figuur 4.7. Hierbij dient te worden opgemerkt dat er geen indicatie is voor de afzonderlijke externe schadekost van de benzine- en dieselpductie. Daarnaast is er in Vlaanderen nog geen uitgebreide studie uitgevoerd naar de vermeden geluidshinder door de elektrische wagen.²⁸⁸ Voor verdere berekeningen wordt er voor de externe kosten en baten aldus enkel rekening gehouden met de vermeden uitstoot van conventionele wagens en de bijkomende uitstoot door de toenemende elektriciteitsproductie. Afgezien van de opportunitetskost van de beperkte actieradius voor elektrische wagens worden private kosten en baten als geheel in overweging genomen voor verdere berekeningen. Daarnaast worden enkel de operationele overheidskosten opgenomen, aangezien deze kosten het meest afhankelijk zijn van het gevoerde beleid aangaande de elektrische wagen. De overige overheidskosten hebben meestal betrekking op eenmalige investeringen. In het volgende hoofdstuk zullen verschillende scenario's worden overwogen met betrekking tot de kosten en baten van de elektrische wagen in vergelijking met de conventionele wagens. Bovendien worden hieromtrent enkele sensitiviteitsanalyses uitgevoerd.

Figuur 4.7: Kosten en baten van de elektrische wagen

Kosten	Baten
• Externe kosten • Uitstoot van elektriciteitsproductie • Private kosten • Meerprijs voor aanschafkost van de wagen • Batterijkosten • Thuislaadinfrastructuur • Opportunitetskost van de beperkte actieradius • Overheidskosten • Reguleringskosten	• Externe baten • Vermeden uitstoot van conventionele wagens • Vermeden uitstoot van brandstofproductie • Vermeden geluidshinder • Private baten • Belastingvermindering op aanschaf van een elektrische wagen en oplaadinfrastructuur • Vermeden kosten van verbruik • Vermeden onderhoudskosten • Vermeden verzekeringskosten • Vermeden belasting op de inverkeerstelling • Vermeden verkeersbelasting

Bron: Eigen verwerking.

²⁸⁸ Delhay, E., 2011, Transport & Mobility Leuven, *E-mail*. Gecontacteerd op 14 november, 2011.

Hoofdstuk V: Bepaling van de optimale belastingvermindering

In het vijfde hoofdstuk worden verschillende scenario's uitgewerkt met betrekking tot de kosten en baten die resulteren uit de overschakeling van de conventionele naar de elektrische wagen. De resultaten van de scenario's worden onderzocht door alle kosten van de benzine-, de diesel- en de elektrische wagen, verspreid over tien jaar, in overweging te nemen. De kosten van ieder wagentype worden steeds uitgedrukt in de actuele waarde door te verdisconteren aan de gemiddelde rentevoet van de voorbije laatste zes jaar op lineaire obligaties met een looptijd van tien jaar. Deze rentevoet bedraagt vier procent.²⁸⁹ Vervolgens worden de kosten van de verschillende wagentypes tegen elkaar afgewogen. Zodoende kan er worden besloten welk wagentype de laagste kosten met zich meebrengt onder de verschillende scenario's. Het verschil in kosten kan gezien worden als de netto baat of kost die gepaard gaat met de overschakeling van de conventionele naar de elektrische wagen, vermits de vermeden kosten van de conventionele wagen overeenkomen met de baten van de elektrische wagen.

In wat volgt zullen allereerst de private kosten van de verschillende wagentypes worden besproken. Vervolgens worden de externe kosten mee in overweging genomen, waarna de overheidskosten zullen worden behandeld. Aan het eind van dit hoofdstuk zal met behulp van deze drie kostensoorten worden getracht de optimale belastingvermindering op de aanschaf van een elektrische wagen af te leiden.

5.1 Private kosten van de elektrische wagen

5.1.1 Berekening van de private kosten

Alvorens te starten met de kwantitatieve bespreking van de private kosten die gepaard gaan met een wagen, dient eerst te worden verduidelijkt welke wagentypes in overweging worden genomen en welke parameters zullen worden gehanteerd voor de berekening van deze private kosten.

Bij de verschillende wagentypes wordt de elektrische wagen steeds vergeleken met de benzine- en de dieselwagen. Echter, bij de elektrische variant moet er een onderscheid worden gemaakt tussen het kopen en het leasen van de batterij. Daarnaast wordt er voor beide alternatieven een onderscheid gemaakt tussen het al dan niet verkrijgen van een belastingvermindering op de aanschaf van een elektrische wagen en een thuislaadinfrastructuur. Kortom, er zijn in totaal vier alternatieven voor de elektrische wagen. De verschillende wagentypes die in overweging worden genomen zijn weergegeven in tabel 5.1.

²⁸⁹ De Tijd, 2011, *Gemiddelde rente OLO 10 jaar*. Opgevraagd op 30 november, 2011.
<http://grafieken.tijd.be/510138581>

Tabel 5.1: Wagentypes voor de vergelijking van de kostensoorten

Wagentypes	
Benzinewagen	
Dieselmotor	
Elektrische wagen	• <u>Zonder</u> fiscaal voordeel en batterij <u>kopen</u> • <u>Met</u> fiscaal voordeel en batterij <u>kopen</u> • <u>Zonder</u> fiscaal voordeel en batterij <u>leasen</u> • <u>Met</u> fiscaal voordeel en batterij <u>leasen</u>

Bron: Eigen verwerking.

Voor de berekening van de private kosten dienen eveneens een aantal parameters omtrent de verschillende wagentypes te worden vastgelegd. Alle benodigde standaardparameters zijn reeds bepaald bij de bespreking van de private kosten in hoofdstuk vier en zijn opgenomen in tabel 5.2. Naast een aantal algemene parameters wordt er een opsplitsing gemaakt tussen de parameters voor de benzine-, de diesel- en de elektrische wagen. Hierbij moet worden opgemerkt dat de standaardparameters voor de elektrische wagen exclusief belastingvermindering zijn. De parameters inclusief belastingvermindering kunnen worden berekend aan de hand van de algemene parameters en deze van de elektrische wagen exclusief belastingvermindering. Bovendien moet er bij deze berekening een onderscheid worden gemaakt tussen het leasen en het kopen van de batterij. Wanneer de batterij wordt geleased, kan er immers geen belastingvermindering verkregen worden op de aanschaf van de batterij. Indien de batterij daarentegen wordt aangekocht in combinatie met de elektrische wagen, is er wel een fiscaal voordeel van dertig procent van toepassing op de totale aankoopprijs, zolang dit voordeel het maximale bedrag van 9.190 euro niet overschrijdt. Omwille van deze reden wordt de belastingvermindering in onderstaande tabel eerst toegepast op de wagen exclusief batterij, zodoende het fiscaal voordeel op de wagen exclusief batterij hetzelfde bedraagt bij het kopen en het leasen van de batterij. Deze werkwijze maakt het vergelijken van de verschillende alternatieven eenvoudiger. Het gedeelte van de maximale belastingvermindering dat hierna eventueel nog overblijft, kan worden overgeheveld naar de batterijkost op voorwaarde dat deze wordt aangekocht. Daarnaast kent de overheid eveneens een fiscaal voordeel van veertig procent toe op de aanschaf van een thuislaadinfrastructuur ter hoogte van maximaal 250 euro. In deze masterproef wordt aangenomen dat, wanneer de overheid ter stimulatie een belastingvermindering toekent, zowel het fiscaal voordeel op de elektrische wagen als op de thuislaadinfrastructuur wordt toegepast. Indien geen belastingvermindering wordt verleend, zal de consument alle kosten hieromtrent zelf moeten financieren.

Tabel 5.2: Standaardparameters voor de berekening van de private kosten

Algemene parameters	
Aantal gereden kilometer per jaar	15.660
Discontovoet	4%
Belastingvermindering op aanschaf elektrische wagen	30%
Maximale belastingvermindering op aanschaf elektrische wagen	€ 9.190,00
Belastingvermindering op aanschaf laadpaal	40%
Maximale belastingvermindering op aanschaf laadpaal	€ 250,00
Parameters benzynewagen	
Aanschaf wagen	€ 19.800,00
Verbruik wagen (l/km)	0,0767
Benzineprijs (€/l)	€ 1,6992
Onderhoudskost (€/km)	€ 0,0525
Verzekeringspremie (jaarlijks)	€ 774,74
Belasting op de inverkeerstelling	€ 405,30
Verkeersbelasting (jaarlijks)	€ 308,49
Parameters elektrische wagen excl. belastingvermindering	
Aanschaf wagen excl. batterij	€ 26.620,00
Verbruik wagen (kWh/km)	0,1612
Elektriciteitsprijs (€/kWh)	€ 0,1900
Onderhoudskost (€/km)	€ 0,0373
Verzekeringspremie (jaarlijks)	€ 742,64
Belasting op de inverkeerstelling	€ 0,00
Verkeersbelasting (jaarlijks)	€ 73,79
Aanschaf oplaadpaal	€ 1.000,00
Parameter batterij kopen	
Aanschaf batterij (kopen)	€ 25.300,00
Elektrische wagen incl. belastingvermindering	
Belastingvermindering op wagen excl. batterij	€ 7.986,00
Belastingvermindering op batterij bij aankoop	€ 1.204,00
Belastingvermindering op oplaadpaal	€ 250,00
Aanschaf wagen excl. batterij met belastingvermindering	€ 18.634,00
Aanschaf batterij (kopen) incl. belastingvermindering	€ 24.096,00
Aanschaf oplaadpaal incl. belastingvermindering	€ 750,00
Parameters dieselwagen	
Aanschaf wagen	€ 22.050,00
Verbruik wagen (l/km)	0,0589
Dieselprijs (€/l)	€ 1,4942
Onderhoudskost (€/km)	€ 0,0538
Verzekeringspremie (jaarlijks)	€ 774,74
Belasting op de inverkeerstelling	€ 510,30
Verkeersbelasting (jaarlijks)	€ 308,49
Parameter batterij leasen	
Aanschaf batterij (leasen) (€/km)	€ 0,0984
Elektrische wagen incl. belastingvermindering	
Belastingvermindering op wagen excl. batterij	€ 7.986,00
Geen belastingvermindering bij het leasen van een batterij	€ 0,00
Belastingvermindering op oplaadpaal	€ 250,00
Aanschaf wagen excl. batterij met belastingvermindering	€ 18.634,00
Aanschaf batterij (leasen) (kost/jaar)	€ 1.540,94
Aanschaf oplaadpaal incl. belastingvermindering	€ 750,00

Bron: Eigen verwerking.

Op basis van de parameters in voorgaande tabel kunnen de private kosten die gepaard gaan met de verschillende wagentypes worden afgeleid. In tabel 5.3 worden alle private kosten weergegeven die in overweging zullen worden genomen voor de berekening van de totale private kosten verspreid over tien jaar. Bij deze tabel dienen een aantal opmerkingen te worden aangehaald. Ten eerste hebben de aanschafkosten van de batterij en de thuislaadinfrastructuur enkel betrekking op de elektrische wagen, terwijl de overige kosten van toepassing zijn op ieder wagentype. Weliswaar geldt er een vrijstelling van de belasting op de inverkeerstelling (BIV) voor elektrische wagens. Ten tweede wordt de eventuele belastingvermindering op de elektrische wagen en de thuislaadinfrastructuur gezien als een directe vermindering op de aanschafwaarde, derhalve de berekeningen te vereenvoudigen. Verder is het vanzelfsprekend dat de aanschaf van de wagens, het kopen van een batterij, de aanschaf van een thuislaadinfrastructuur en de BIV eenmalige kosten zijn. De overige kosten daarentegen zijn jaarlijkse kosten en moeten bijgevolg verdisconteerd worden voor het bekomen van de actuele waarde. Tot slot dient te worden opgemerkt dat de verbruiks- en de onderhoudskosten afhankelijk zijn van het jaarlijks aantal gereden kilometer. Hierbij wordt een lineair verband verondersteld. Bovendien zijn de verbruikskosten ook nog afhankelijk van de energieprijzen.

Tabel 5.3: Private kostensoorten

Private kosten	
Aanschaf wagen	
Aanschaf batterij	
	• Kopen • Leasen
Aanschaf thuislaadinfrastructuur	
Verbruik	
Onderhoud	
Verzekering	
Belasting op de inverkeerstelling (BIV)	
Verkeersbelasting	

Bron: Eigen verwerking.

Aan de hand van de standaardparameters uit tabel 5.2 en private kostencategorieën uit tabel 5.3 kunnen de totaal verdisconteerde private kosten van de verschillende wagentypes worden berekend. Deze berekeningen hebben betrekking op een termijn van tien jaar en worden eenmalig geïllustreerd in tabel 5.4. Hierbij wordt allereerst de totaal verdisconteerde private kost van elk wagentype uit tabel 5.1 bepaald. Voor deze berekening wordt verondersteld dat de eenmalige kosten, die gepaard gaan met de aanschaf van een wagen, optreden op het einde van het jaar dat voorafgaat aan datgene waarin het gebruik van de wagen start. De jaarlijkse kosten hebben dan betrekking op de jaren waarin de wagen effectief wordt gebruikt. Daarna worden in tabel 5.5 de totaal verdisconteerde private kosten van de elektrische wagenvarianten afgewogen tegen deze van zowel de benzine- als de dieselwagen.

Tabel 5.4: Verdisconteerde private kosten in euro van verschillende wagentypes gespreid over tien jaar op basis van standaardparameters

Standaardparameters											
Benzinewagen											
Jaar	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Aanschaf wagen	19.800										
Brandstofverbruik		2.041	2.041	2.041	2.041	2.041	2.041	2.041	2.041	2.041	2.041
Onderhoud		822	822	822	822	822	822	822	822	822	822
Verzekering		775	775	775	775	775	775	775	775	775	775
BIV	405										
Verkeersbelasting		308	308	308	308	308	308	308	308	308	308
Totaal	20.205	3.946	3.946	3.946	3.946	3.946	3.946	3.946	3.946	3.946	3.946
Verdisconteerde waarde	20.205	3.795	3.649	3.508	3.373	3.244	3.119	2.999	2.884	2.773	2.666
Totaal verdisconteerde waarde	52.214										

Dieselwagen											
Jaar	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Aanschaf wagen	22.050										
Brandstofverbruik		1.378	1.378	1.378	1.378	1.378	1.378	1.378	1.378	1.378	1.378
Onderhoud		843	843	843	843	843	843	843	843	843	843
Verzekering		775	775	775	775	775	775	775	775	775	775
BIV	510										
Verkeersbelasting		308	308	308	308	308	308	308	308	308	308
Totaal	22.560	3.304	3.304	3.304	3.304	3.304	3.304	3.304	3.304	3.304	3.304
Verdisconteerde waarde	22.560	3.177	3.055	2.937	2.824	2.716	2.611	2.511	2.414	2.321	2.232
Totaal verdisconteerde waarde	49.358										

Elektrische wagen <u>zonder</u> fiscaal voordeel en batterij <u>kopen</u>											
Jaar	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Aanschaf wagen	26.620										
Aanschaf batterij (kopen)	25.300										
Aanschaf oplaadpaal	1.000										
Elektriciteitsverbruik		480	480	480	480	480	480	480	480	480	480
Onderhoud		584	584	584	584	584	584	584	584	584	584
Verzekering		743	743	743	743	743	743	743	743	743	743
BIV	0										
Verkeersbelasting		74	74	74	74	74	74	74	74	74	74
Totaal	52.920	1.880	1.880	1.880	1.880	1.880	1.880	1.880	1.880	1.880	1.880
Verdisconteerde waarde	52.920	1.808	1.738	1.671	1.607	1.545	1.486	1.429	1.374	1.321	1.270
Totaal verdisconteerde waarde	68.170										

Elektrische wagen <u>met</u> fiscaal voordeel en batterij <u>kopen</u>											
Jaar	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Aanschaf wagen	18.634										
Aanschaf batterij (kopen)	24.096										
Aanschaf oplaadpaal	750										
Elektriciteitsverbruik		480	480	480	480	480	480	480	480	480	480
Onderhoud		584	584	584	584	584	584	584	584	584	584
Verzekering		743	743	743	743	743	743	743	743	743	743
BIV	0										
Verkeersbelasting		74	74	74	74	74	74	74	74	74	74
Totaal	43.480	1.880	1.880	1.880	1.880	1.880	1.880	1.880	1.880	1.880	1.880
Verdisconteerde waarde	43.480	1.808	1.738	1.671	1.607	1.545	1.486	1.429	1.374	1.321	1.270
Totaal verdisconteerde waarde	58.730										

Elektrische wagen <u>zonder</u> fiscaal voordeel en batterij <u>leasen</u>											
Jaar	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Aanschaf wagen	26.620										
Aanschaf batterij (leasen)		1.541	1.541	1.541	1.541	1.541	1.541	1.541	1.541	1.541	1.541
Aanschaf oplaadpaal	1.000										
Elektriciteitsverbruik		480	480	480	480	480	480	480	480	480	480
Onderhoud		584	584	584	584	584	584	584	584	584	584
Verzekering		743	743	743	743	743	743	743	743	743	743
BIV	0										
Verkeersbelasting		74	74	74	74	74	74	74	74	74	74
Totaal	27.620	3.421	3.421	3.421	3.421	3.421	3.421	3.421	3.421	3.421	3.421
Verdisconteerde waarde	27.620	3.290	3.163	3.041	2.924	2.812	2.704	2.600	2.500	2.404	2.311
Totaal verdisconteerde waarde	55.368										

Elektrische wagen <u>met</u> fiscaal voordeel en batterij <u>leasen</u>											
Jaar	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Aanschaf wagen	18.634										
Aanschaf batterij (leasen)		1.541	1.541	1.541	1.541	1.541	1.541	1.541	1.541	1.541	1.541
Aanschaf oplaadpaal	750										
Elektriciteitsverbruik		480	480	480	480	480	480	480	480	480	480
Onderhoud		584	584	584	584	584	584	584	584	584	584
Verzekering		743	743	743	743	743	743	743	743	743	743
BIV	0										
Verkeersbelasting		74	74	74	74	74	74	74	74	74	74
Totaal	19.384	3.421	3.421	3.421	3.421	3.421	3.421	3.421	3.421	3.421	3.421
Verdisconteerde waarde	19.384	3.290	3.163	3.041	2.924	2.812	2.704	2.600	2.500	2.404	2.311
Totaal verdisconteerde waarde	47.132										

Bron: Eigen verwerking.

Tabel 5.5: Vergelijking verdisconteerde private kosten in euro van verschillende wagentypes gespreid over tien jaar op basis van standaardparameters

Vergelijking van de verschillende alternatieven omtrent totaal verdisconteerde waarden (negatieve waarden in het voordeel van de elektrische wagen)			
Minderprijs benzynewagen ten opzichte van:		Minderprijs dieselwagen ten opzichte van:	
• Elektrische wagen zonder fiscaal voordeel en batterij kopen:	€ 15.956,42	• Elektrische wagen zonder fiscaal voordeel en batterij kopen:	€ 18.811,68
• Elektrische wagen met fiscaal voordeel en batterij kopen:	€ 6.516,42	• Elektrische wagen met fiscaal voordeel en batterij kopen:	€ 9.371,68
• Elektrische wagen zonder fiscaal voordeel en batterij leasen:	€ 3.154,86	• Elektrische wagen zonder fiscaal voordeel en batterij leasen:	€ 6.010,11
• Elektrische wagen met fiscaal voordeel en batterij leasen:	€ -5.081,14	• Elektrische wagen met fiscaal voordeel en batterij leasen:	€ -2.225,89

Bron: Eigen verwerking.

Bij de analyse van de private kosten van ieder afzonderlijk wagentype, kan er een onderscheid worden gemaakt tussen de eenmalige en de jaarlijkse kosten. Hieruit kan men besluiten dat enkel wanneer er een belastingvermindering wordt toegekend en de batterij wordt geleased, de eenmalige kosten van de elektrische wagen minder bedragen dan deze van de conventionele wagens. In de overige situaties zijn de conventionele wagens telkens in het voordeel betreffende de eenmalige kosten. Deze kosten zijn aldus sterk afhankelijk van twee condities, namelijk het kopen of het leasen van de batterij enerzijds en het al dan niet toekennen van een belastingvermindering op de aanschaf van de elektrische wagen en de thuislaadinfrastructuur anderzijds. De laagste eenmalige kosten voor de elektrische wagen ontstaan bijgevolg wanneer zowel de batterij wordt geleased alsook een fiscaal voordeel wordt verleend door de overheid. Ter vergelijking, de eenmalige kosten liggen bij de benzynewagen lager dan bij de dieseluitvoering. Ten aanzien van de elektrische wagen dient te worden opgemerkt dat er geen belasting op de inverterstelling is verschuldigd.

Wanneer de jaarlijkse kosten worden vergeleken, blijken deze van de benzynewagen hoger te zijn dan bij de overige alternatieven. Ze bedragen immers net geen 4.000 euro. Daarnaast vertoont de dieselwagen lagere jaarlijkse kosten dan de elektrische wagen indien de batterij wordt geleased en hogere indien de batterij wordt gekocht. De aankoop van een batterij brengt dan ook zeer hoge eenmalige kosten met zich mee, terwijl het leasen hoge jaarlijkse kosten veroorzaakt. Echter, de verdisconteerde waarde van het leasen over tien jaar is lager dan de aanschafkost die gepaard gaat met het kopen van een batterij. Afgezien van de mogelijke jaarlijkse leasekosten, die ontbreken bij de conventionele wagens, liggen alle jaarlijkse kosten voor de elektrische wagen lager ten opzichte van de conventionele wagens. Het grootste verschil bij de jaarlijkse kosten dat, naast de mogelijke leasekosten, kan worden opgemerkt zijn de verbruikskosten van de verschillende wagentypes. Deze bedragen beduidend minder bij de elektrische wagen dan bij de conventionele tegenhangers. Bijkomend ligt de jaarlijkse verkeersbelasting, in tegenstelling tot bij de conventionele wagens, gevoelig lager voor de elektrische wagen.

Verder kunnen ook de totaal verdisconteerde private kosten worden vergeleken. Zoals vermeld in bovenstaande tabel zijn de negatieve waarden, die worden bekomen tijdens de vergelijking van de verschillende alternatieven, in het voordeel van de elektrische wagen. Met andere woorden, de vermeden kosten van de conventionele wagen, oftewel de baten van de elektrische tegenhanger, zijn groter dan de kosten van de elektrische wagen wanneer er een negatieve waarde wordt bekomen. Uitgaande van de standaardparameters en verspreid over een termijn van tien jaar kan aldus besloten worden dat de elektrische wagen inclusief fiscaal voordeel en waarbij de batterij wordt geleased voordeliger blijkt uit te vallen dan beide conventionele wagens. Dit voordeel is ten opzichte van de benzinewagen ruim tweemaal groter dan bij de dieselwagen. Hieruit volgt dat de dieselwagen lagere kosten kent in vergelijking met de benzinewagen. Bovenstaande tabel laat eveneens blijken dat de totale belastingvermindering op de aanschaf van de elektrische wagen en de thuislaadinfrastructuur minstens gelijk moet zijn aan 3.154,86 en 6.010,11 euro alvorens de verdisconteerde private kosten van de elektrische wagen met een geleasede batterij gelijk zijn aan deze van respectievelijk de benzine- en de dieselwagen. Wanneer de consument de batterij zelf aankoopt in combinatie met de wagen, blijkt de elektrische wagen in geen enkel geval voordeliger te zijn dan de conventionele varianten. Indien er geen fiscaal voordeel wordt verleend en de batterij van de elektrische wagen zelf wordt aangekocht, zal de actuele meerprijs over tien jaar bijna 16.000 euro hoger liggen ten opzichte van de benzinewagen. In vergelijking met de dieselwagen loopt dit saldo zelfs op tot bijna 19.000 euro.

Echter, er bestaat geen zekerheid omtrent de standaardparameters, aangezien deze slechts betrekking hebben op gemiddelde waarden. Vandaar is het aangewezen een aantal partiële sensitiviteitsanalyses uit te voeren. Hierbij neemt één bepaalde parameter verschillende waarden aan, terwijl de overige parameters constant blijven. Op deze manier is het mogelijk om na te gaan wat de invloed van een bepaalde parameter is op de totaal verdisconteerde private kosten van de verschillende wagentypes.

5.1.2 Partielle sensitiviteitsanalyses

Het uitvoeren van partiële sensitiviteitsanalyses is vooral interessant voor parameters waarvan de waarden onzeker zijn en een grote invloed hebben op de totaal verdisconteerde kosten van de verschillende wagentypes.²⁹⁰ In wat volgt zullen daarom sensitiviteitsanalyses worden toegepast op het aantal afgelegde kilometer per jaar, de batterijkosten, de aanschafkost van de elektrische wagen, de energieprijzen en de belastingvermindering op de aanschaf van een elektrische wagen. Bij de verschillende sensitiviteitsanalyses wordt er steeds gebruikgemaakt van een grafiek waarop de totaal verdisconteerde kosten over tien jaar de afhankelijke variabele is, terwijl er gevarieerd wordt met een bepaalde parameter die de onafhankelijke variabele vertegenwoordigt. De sensitiviteitsanalyses worden uitgevoerd voor het bepalen van een *break-even* punt. In dit punt is men onverschillig tussen twee alternatieven, vermits de totaal verdisconteerde private kosten

²⁹⁰ Boardman, A. E., Greenberg, D. H., Vining, A. R., & Weimer, D. L., 2011, *Cost-Benefit Analysis: Concepts and Practice, Part 2: Chapter 7 Dealing with Uncertainty: Sensitivity Analysis*, Boston: Pearson Education: p177-178.

identiek zijn. Daarnaast kan in elke situatie worden afgeleid hoeveel de minimale belastingvermindering moet bedragen opdat de elektrische wagen voordeliger wordt dan de conventionele wagens. Cijfermatige onderbouwingen omtrent de verschillende sensitiviteitsanalyses van de private kosten zijn terug te vinden in bijlage A.

5.1.2.1 Aantal gereden kilometer per jaar

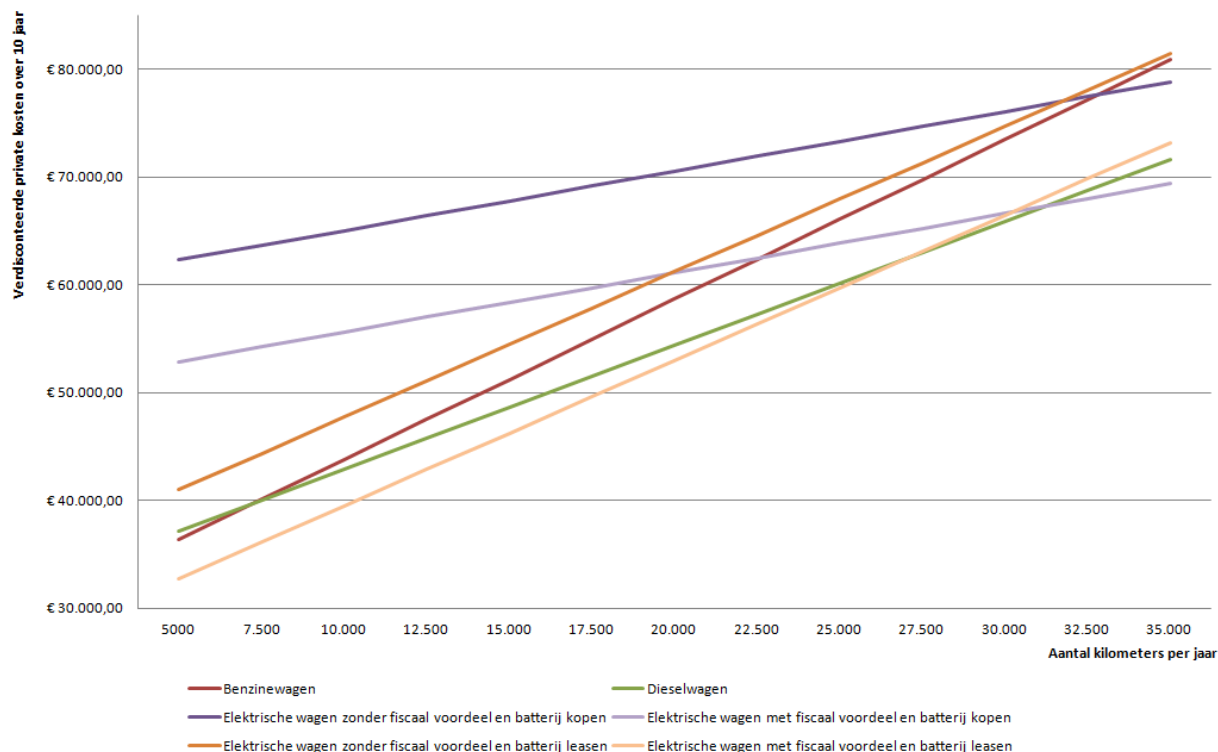
Het aantal gereden kilometer per jaar is van sterke invloed op de totaal verdisconteerde private kosten van de verschillende wagentypes. Deze bepaalt immers de hoogte van de verbruiks- en onderhoudskosten, alsook de eventuele leasekost van de batterij. Omwille van deze reden wordt in figuur 5.1 gevarieerd met het aantal jaarlijks gereden kilometer, teneinde de invloed ervan op de verdisconteerde private kosten van de verschillende wagentypes grafisch voor te stellen.

In onderstaande figuur lijkt het erop dat een elektrische wagen zowel met als zonder fiscaal voordeel waarvan de batterij wordt aangekocht voordeliger wordt ten opzichte van de overige alternatieven naarmate er meer kilometer per jaar wordt gereden. Echter, bij deze veronderstelling moet worden gewezen op het feit dat er abstractie werd gemaakt van de batterijlevensduur. Vermits deze ongeveer 160.000 kilometer bedraagt, zou de batterij, ingeval er jaarlijks meer dan 16.000 kilometer wordt afgelegd, binnen een periode van minder dan tien jaar moeten worden vervangen. Bijgevolg zouden de rechten in het punt van 16.000 en 32.000 kilometer per jaar een sprong kennen ter hoogte van de verdisconteerde kost voor de aanschaf van een batterij. Zodoende zullen de kosten bij het kopen van de batterij voor beide alternatieven, namelijk met of zonder fiscaal voordeel, steeds hoger liggen dan bij de overige vier opties. Hieruit kan worden afgeleid dat het kostenverschil tussen het leasen en het kopen van een batterij groeit in het voordeel van het eerste alternatief naarmate er jaarlijks meer kilometer wordt afgelegd.

De richtingscoëfficiënt van de twee rechten bij het leasen van de batterij zijn veel groter dan bij het kopen van een batterij. Dit wordt veroorzaakt door de jaarlijkse leasekost die ontbreekt bij het kopen van de batterij. Het snijpunt met de y-as daarentegen ligt gevoelig lager bij het leasen omwille van het feit dat de hoge aankoopkosten van een batterij kunnen worden vermeden. In het geval de batterij wordt geleased zonder fiscaal voordeel, zullen de kosten altijd hoger liggen in vergelijking met de dieselwagen, want zowel het snijpunt met de y-as als de richtingscoëfficiënt bedragen minder bij de dieselwagen. Echter, na ruim 39.000 kilometer per jaar blijkt de elektrische wagen in dit geval voordeliger uit te komen dan de benzinewagen. Indien er wel een fiscaal voordeel wordt verleend op de elektrische wagen en de batterij wordt geleased, zal de elektrische wagen altijd voordeliger zijn dan de benzinewagen. De dieselwagen daarentegen kent een lagere richtingscoëfficiënt en wordt bijgevolg voordeliger naarmate er meer kilometer per jaar wordt afgelegd. In dit geval zal de dieselwagen na een kleine 27.000 jaarlijks gereden kilometer lagere verdisconteerde kosten met zich meebrengen dan de elektrische wagen inclusief fiscaal voordeel en een geleasede batterij.

Wanneer de benzine- en de dieselwagen worden vergeleken, kan er worden vastgesteld dat de dieselwagen na slechts 7.078 kilometer per jaar lagere verdisconteerde kosten over tien jaar kent.

Figuur 5.1: Sensitiviteit van het aantal gereden kilometer per jaar op de totaal verdisconteerde private kosten



Bron: Eigen verwerking.

5.1.2.2 Batterijkost

De batterijkost weegt zeer zwaar door op de totale kosten van de elektrische wagen. De gemiddelde prijs van een batterij zonder fiscaal voordeel bedraagt immers 25.300 euro. Dat is zelfs meer dan de aankoopprijs van de benzine- en de dieselwagen. Een verandering in de batterijkost zal bijgevolg een grote invloed hebben op de totaal verdisconteerde private kosten van de elektrische wagen. Bovendien wordt er aangenomen dat de batterijkosten voor elektrische wagens in de toekomst enkel nog zullen dalen.²⁹¹ Vandaar is het belangrijk om na te gaan welke impact een dergelijke prijsdaling teweegbrengt op de kosten van de elektrische wagen. In figuur 5.2 wordt deze impact voor de verschillende alternatieven weergegeven.

Allereerst dient te worden opgemerkt dat een daling van de batterijkost van de elektrische wagen niet van invloed is op de totaal verdisconteerde kosten van de benzine- en de dieselwagen. Deze kosten blijven derhalve constant, waardoor de dieselwagen altijd lagere kosten met zich meebrengt dan de benzinewagen. Verder wordt ook aangenomen dat een procentuele daling van de

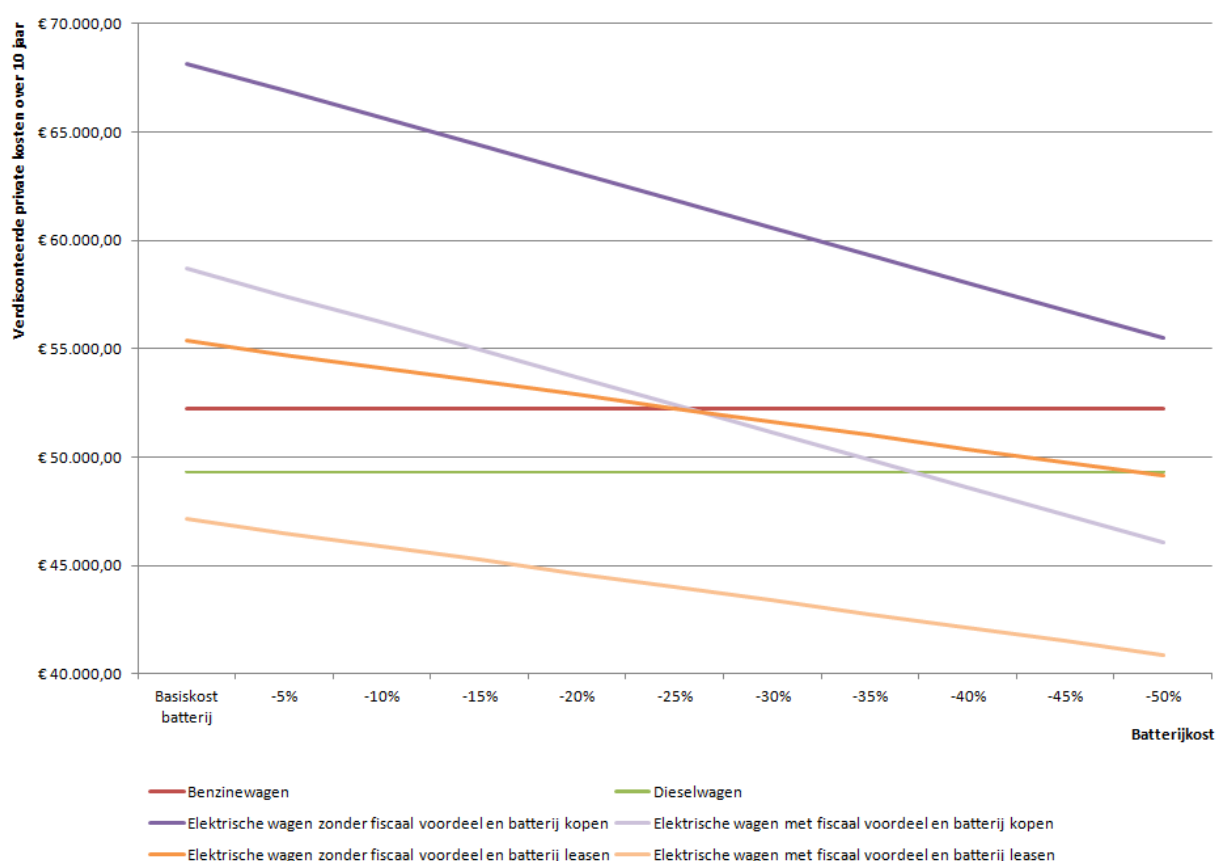
²⁹¹ Mobimix: platform ecologisch vlootbeheer, 2010, *Analisten verwachten grote daling batterijprijs EV's*. Opgevraagd op 11 februari, 2012. <http://www.mobimix.be/inhoud/2010/9/3/1897>

aanschaffkosten van een batterij eenzelfde relatieve daling in de leasekosten van de batterij tot gevolg heeft. Echter, in absolute termen bedraagt de richtingscoëfficiënt, ingeval de batterij wordt aangekocht, dubbel zoveel ten opzichte van de twee leasealternatieven. De oorzaak hiervan is te wijten aan het feit dat, in absolute termen, de aankoopprijs van een batterij (25.300 euro) ongeveer het dubbel bedraagt van de verdisconteerde leasekosten verspreid over tien jaar (12.498 euro). Aldus, eenzelfde procentuele vermindering zal een dubbel zo groot effect hebben op de aanschaffkost van een batterij dan op de leasekosten. Kortom, de totaal verdisconteerde kosten zullen bij een procentuele daling van de batterijkosten sterker dalen indien de batterij wordt aangekocht dan wanneer ze wordt geleased, zoals blijkt uit figuur 5.2.

Ingeval de batterij wordt aangekocht en er geen fiscaal voordeel van toepassing is op de elektrische wagen, zal een dergelijke wagen slechts voordeliger worden in vergelijking met de benzine- en de dieselwagen vanaf een daling van de batterijkosten met respectievelijk 63 en 74 procent. Indien er daarentegen wel een belastingvermindering wordt verleend, zal de elektrische wagen een kleinere daling van de batterijkosten vereisen om voordeliger uit te vallen dan de conventionele wagens. Immers, opdat de elektrische wagen lagere verdisconteerde kosten vertoont dan de benzine- en de dieselwagen, is een daling van de batterijkosten van respectievelijk minstens 26 en 37 procent noodzakelijk.

Daarnaast kan de batterij van de elektrische wagen ook worden geleased. Wanneer hierbij geen fiscaal voordeel wordt toegekend, is er een daling van de leasekost aangaande de batterij vereist van 25 en 48 procent vooraleer de totaal verdisconteerde kosten van respectievelijk de benzine- en de dieselwagen gelijk zijn aan deze van de elektrische tegenhanger. Indien er wel een belastingvermindering wordt verleend, zal de elektrische wagen onder de huidige leasekost reeds voordeliger zijn dan beide conventionele wagens. Met andere woorden, in dit geval dient de leasekost niet meer te dalen. Deze mag zelfs nog stijgen alvorens de conventionele wagens voordeliger worden ten opzichte van de elektrische variant. Zolang de stijging van de leasekost zich onder de 41 en 18 de procent bevindt, zal de elektrische wagen steeds gunstiger uitvallen dan respectievelijk de benzine- en de dieselwagen. Echter, zoals reeds werd aangehaald, zal een stijging van de batterijkosten, en dus ook de leasekosten, zich hoogstwaarschijnlijk niet voordoen.

Figuur 5.2: Sensitiviteit van de batterijkost op de totaal verdisconteerde private kosten



Bron: Eigen verwerking.

5.1.2.3 Aanschafkost van de elektrische wagen

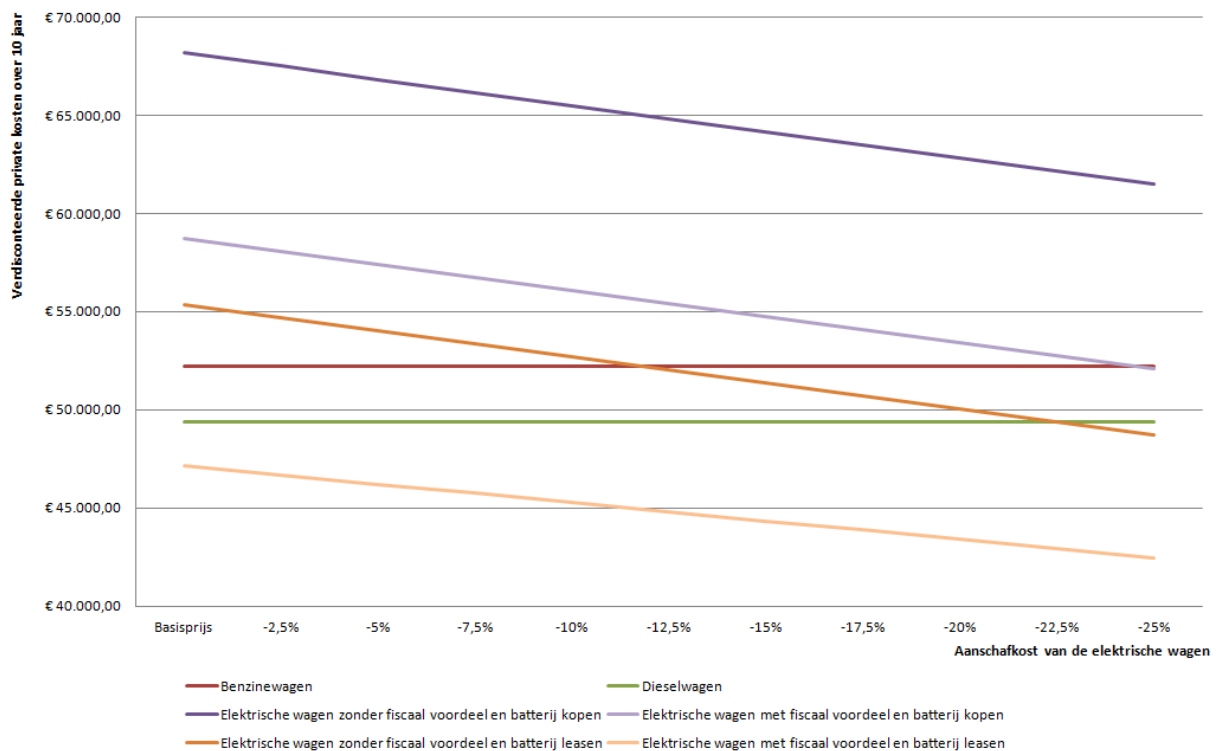
Het valt te verwachten dat, wanneer een grootschalige introductie van de elektrische wagen aanbreekt, de prijzen van dergelijke wagens zullen dalen ten gevolge van schaalvoordelen en leereffecten. Vermits de invloed van de batterijkost daarnet is behandeld, wordt er enkel rekening gehouden met de aanschafkost van de elektrische wagen exclusief batterij. In figuur 5.3 wordt de invloed van deze aanschafkost op de totaal verdisconteerde private kosten over tien jaar geschetst. Momenteel bedraagt de basisprijs van de elektrische wagen exclusief batterij 26.620 euro. Logischerwijs zullen de kosten van de conventionele wagens niet wijzigen, aangezien de prijsdaling enkel effect heeft op de elektrische varianten.

Indien de batterij van de elektrische wagen wordt aangekocht en de overheid geen fiscaal voordeel toekent, zal een daling van de aanschafkost van de elektrische wagen ter hoogte van 60 en 71 procent noodzakelijk zijn alvorens de verdisconteerde kosten van de elektrische wagen minder bedragen dan deze van respectievelijk de benzine- en de dieselwagen. Een dergelijke prijsvermindering zal hoogstwaarschijnlijk nooit voorkomen en bijgevolg zullen de conventionele wagens voordeliger zijn in vergelijking met de elektrische variant. Ingeval er wel een belastingvermindering wordt toegestaan, zal de reductie in de aanschafprijs vanzelfsprekend lager moeten zijn voordat het *break-even* punt ten aanzien van de conventionele wagens wordt bereikt.

Teneinde dit punt te bereiken, zal in deze omstandigheden immers een daling van de aanschafkosten, inzake de elektrische wagen exclusief batterij, vereist zijn van 24 procent in geval van de benzinewagen en van 35 procent in geval van de dieselwagen.

Zonder de verlening van een belastingvermindering door de overheid zal de elektrische wagen, in het geval de batterij wordt geleased, lagere verdisconteerde kosten met zich meebrengen dan de benzine- en de dieselwagen indien er een prijsreductie van respectievelijk minstens 12 en 23 procent plaatsvindt op de aanschafkost van de elektrische wagen. Ingeval er wel een fiscaal voordeel wordt voorzien, zullen de totaal verdisconteerde kosten van de elektrische wagen, onder de toepassing van de standaard aanschafkost, minder bedragen dan deze van de conventionele wagens. Bijgevolg zal de aanschafkost van de elektrische wagen nog kunnen stijgen alvorens de conventionele wagens voordeliger uitvallen over een periode van tien jaar. Deze stijging van de aanschafkost, inzake de elektrische wagen exclusief batterij, mag oplopen tot 27 en 12 procent vooraleer respectievelijk de benzine- en de dieselwagen lagere verdisconteerde kosten over tien jaar met zich meebrengen.

Figuur 5.3: Sensitiviteit van de aanschafkost van de elektrische wagen op de totaal verdisconteerde private kosten



Bron: Eigen verwerking.

5.1.2.4 Energieprijzen

Aangezien het brandstof- en elektriciteitsverbruik een groot onderdeel van de jaarlijkse kosten uitmaken, is het verantwoord om een sensitiviteitsanalyse uit te voeren aangaande de

energieprijzen. Figuur 5.4 illustreert de invloed van de energieprijzen, met alle andere parameters constant, op de totaal verdisconteerde private kosten over tien jaar. In onderstaande figuur wordt verondersteld dat zowel de benzine-, de diesel-, alsook de elektriciteitsprijs op eenzelfde relatieve wijze fluctueren. Met andere woorden, wanneer de conventionele brandstofprijzen met vijf procent stijgen (dalen), neemt de elektriciteitsprijs met hetzelfde percentage toe (af).

In figuur 5.4 kan worden vastgesteld dat de richtingscoëfficiënten van alle rechten van de elektrische varianten gelijk zijn. Dit is te wijten aan het feit dat de verandering van de elektriciteitsprijs op elk van de varianten eenzelfde invloed heeft. Weliswaar verschillen de totaal verdisconteerde kosten. Dit wordt veroorzaakt door het leasen of het kopen van de batterij en door het al dan niet toekennen van een belastingvermindering vanwege de overheid. De richtingscoëfficiënten van zowel de benzine- als de dieselwagen zijn groter dan deze van de elektrische varianten. Dit brengt met zich mee dat, bij een stijging (daling) van de energieprijzen, de totaal verdisconteerde kosten van de conventionele wagens sterker stijgen (dalen) dan bij de elektrische wagen.

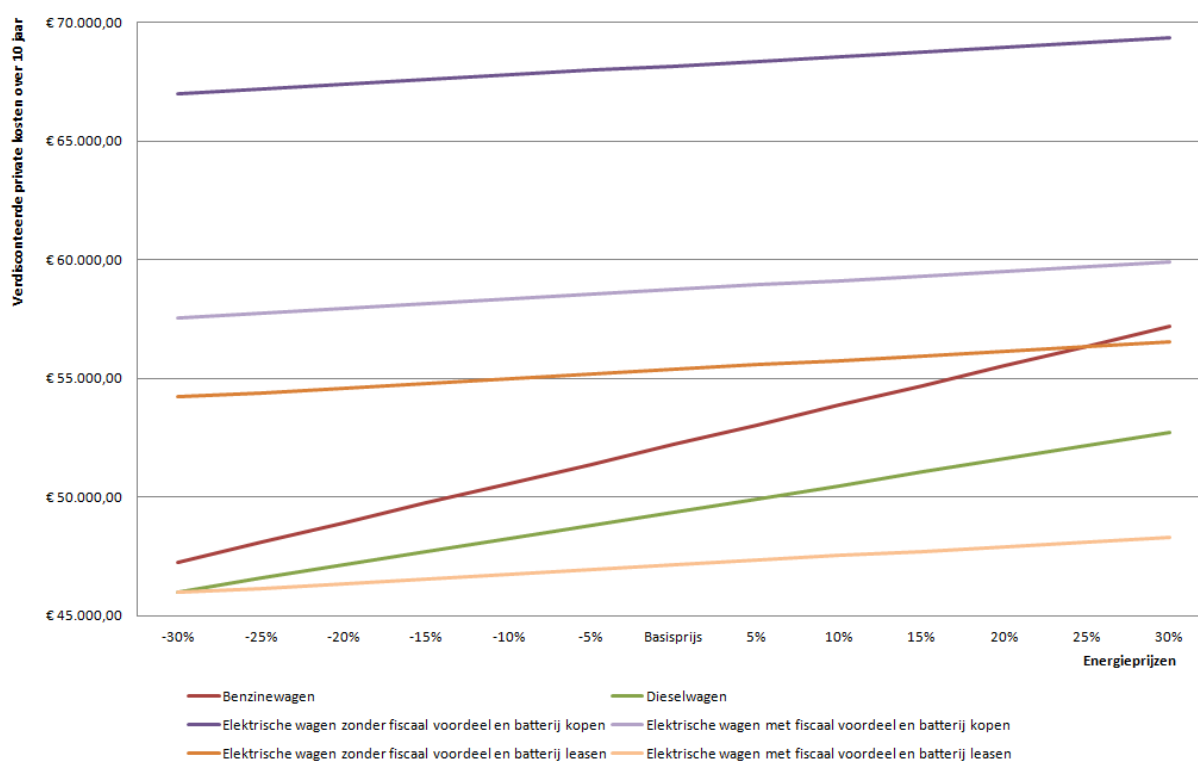
Het is weinig waarschijnlijk dat, omwille van een verandering in de energieprijzen, de elektrische wagen, waarvan de batterij wordt gekocht, lagere verdisconteerde kosten met zich meebrengt dan de conventionele wagens. Immers, in dit geval is er een stijging van 51 en 129 procent vereist alvorens de elektrische wagen inclusief belastingvermindering voordeliger wordt dan respectievelijk de benzine- en de dieselwagen. Indien er geen fiscaal voordeel wordt toegekend lopen deze percentages zelfs op tot respectievelijk 126 en 258 procent.

Indien de energieprijzen enkel zouden stijgen ten opzichte van het basisbedrag, is het leasen van de batterij bij een elektrische wagen, waarop de overheid een belastingvermindering toekent, altijd voordeliger dan de conventionele wagens. Wanneer er echter een daling van 40 en 31 procent wordt gerealiseerd, zal respectievelijk de benzine- en de dieselwagen lagere verdisconteerde kosten met zich meebrengen. Zonder het fiscaal voordeel zal de elektrische wagen, ingeval de batterij wordt geleased, slechts voordeliger uitvallen ten opzichte van de benzine- en de dieselwagen bij een stijging van de energieprijzen met respectievelijk 25 en 80 procent.

Daarnaast kan eveneens worden vastgesteld dat de benzine- en de dieselprijs een daling moeten kennen van 53 procent alvorens de benzinewagen voordeliger wordt dan de dieselwagen. Het verschil in de grootte van de richtingscoëfficiënt tussen beide alternatieven is afhankelijk van zowel het verschil in het verbruik van de wagen als het verschil in de brandstofprijzen. Deze waarden liggen beide hoger in geval van de benzinewagen.

Uit voorgaande kan besloten worden dat een kleine tot matige verandering van de energieprijzen, namelijk binnen de range van -31 tot +25 procent, geen grote invloed heeft op de rangschikking van de verschillende wagentypes met betrekking tot de verdisconteerde private kosten over tien jaar.

Figuur 5.4: Sensitiviteit van de energieprijzen op de totaal verdisconteerde private kosten



Bron: Eigen verwerking.

5.1.2.5 Belastingvermindering op de aanschaf van een elektrische wagen

De belastingvermindering, oftewel het fiscaal voordeel, heeft, zoals reeds is gebleken uit vorige sensitiviteitsanalyses, een grote invloed op de totaal verdisconteerde kosten van de elektrische wagen. In de huidige wetgeving is er een belastingvermindering ter hoogte van dertig procent op de aanschafwaarde van de elektrische wagen voorzien, op voorwaarde dat het bedrag van 9.190 euro niet wordt overschreden. Daarnaast verleent de overheid eveneens een fiscaal voordeel van veertig procent op de aanschaf van een thuislaadinfrastructuur, weliswaar beperkt tot een bedrag van 250 euro.²⁹² Zoals reeds werd aangehaald in de inleiding van dit hoofdstuk, wordt er aangenomen dat, wanneer de overheid ter stimulatie een belastingvermindering toekent, zowel het fiscaal voordeel op de elektrische wagen als op de thuislaadinfrastructuur wordt toegepast. Zodoende zal het fiscaal voordeel op de thuislaadinfrastructuur steeds van toepassing zijn wanneer er een belastingvermindering wordt toegekend door de overheid, ook al bedraagt deze belastingvermindering op de aanschaf van een elektrische wagen nul procent. Indien geen fiscaal voordeel wordt verleend, zal de consument alle kosten hieromtrent zelf moeten financieren. Bij deze sensitiviteitsanalyse wordt er enkel rekening gehouden met de verandering in de

²⁹² Vlaamse Overheid, 2011, *Belastingvermindering bij de aankoop van een elektrisch voertuig of installatie van een laadpaal*. Opgevraagd op 20 november, 2011.
http://www.vlaanderen.be/servlet/Satellite?c=Solution_C&cid=1267507695761&context=1141721623065---1191211213991-1191211213991-1187251344078-1198314514243&p=1186804409590&pagename=Infolijn%2FView

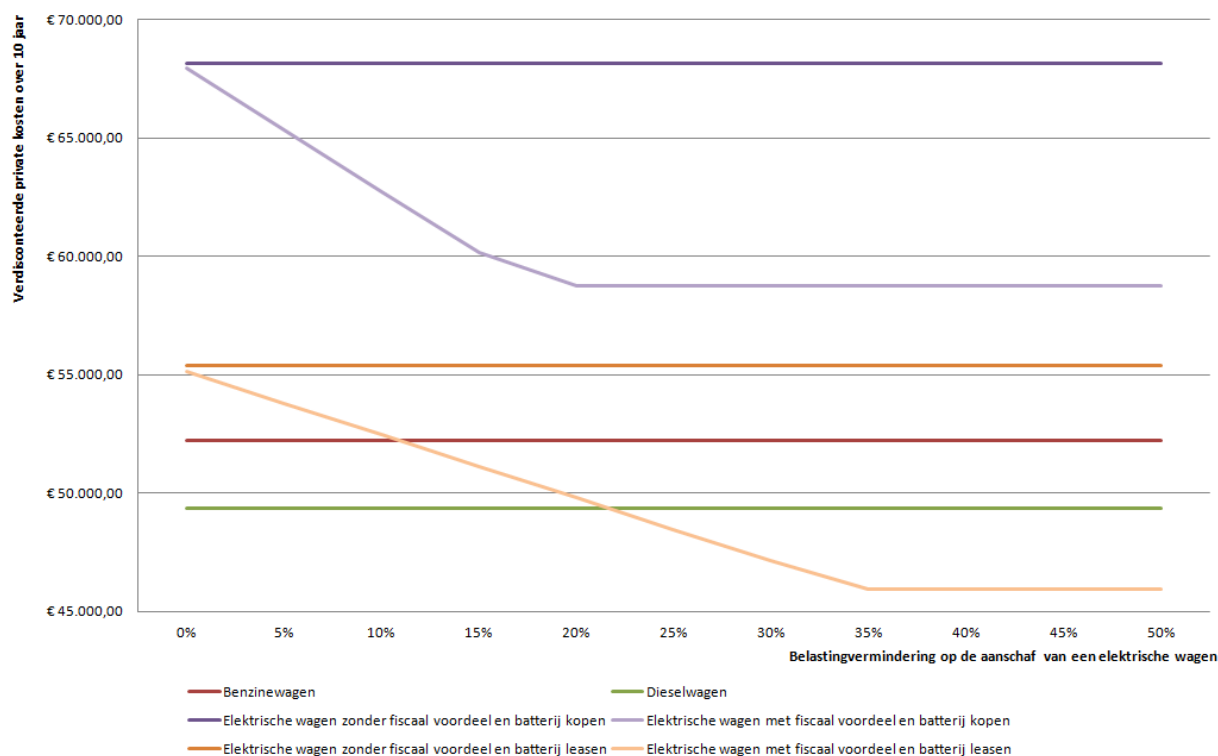
belastingvermindering op de aanschaf van de elektrische wagen, en niet op de aanschaf van de thuislaadinfrastructuur.

In eerste instantie wordt er, in geval van een belastingvermindering, rekening gehouden met het oorspronkelijke maximale bedrag van 9.190 euro bij de aanschaf van een elektrische wagen, terwijl er gevarieerd wordt met het percentage van het fiscaal voordeel. Deze situatie wordt grafisch weergegeven in figuur 5.5. Hierbij kan worden vastgesteld dat het fiscaal voordeel niet van toepassing is op de conventionele wagens en deze bijgevolg gelijkblijvende totaal verdisconteerde private kosten zullen hebben.

Indien de elektrische wagen inclusief batterij wordt gekocht onder de verlening van een fiscaal voordeel, weliswaar van nul procent op de aanschaf van de wagen zelf, zal de verdisconteerde kost 250 euro lager liggen dan wanneer er geen belastingvermindering wordt toegekend. Dit verschil is te verklaren doordat er wel een belastingvermindering op de aanschaf van een thuislaadinfrastructuur geldt bij een fiscaal voordeel van nul procent op de aanschafwaarde van de wagen. Verder kan er worden opgemerkt dat, zelfs wanneer de maximale belastingvermindering van 9.190 euro wordt toegekend, het kopen van de batterij met een fiscaal voordeel altijd hogere kosten met zich meebrengt ten opzichte van de conventionele wagens. Daar de totale aanschafkost van de elektrische wagen inclusief batterij 51.920 euro bedraagt, zal het maximale fiscaal voordeel van 9.109 euro reeds worden bereikt bij een belastingvermindering van 17,7 procent.

Wanneer de batterij daarentegen wordt geleased en de overheid een fiscaal voordeel toekent, wordt de elektrische wagen wel voordeliger in vergelijking met de conventionele wagens naarmate de procentuele belastingvermindering toeneemt. De elektrische wagen kan voordeliger uitvallen dan de conventionele wagens alvorens het maximale bedrag van 9.190 euro is bereikt. Dit is te wijten aan het feit dat het fiscaal voordeel niet van toepassing is op de leasekosten van de batterij, maar enkel op de aanschaf van de wagen exclusief batterij. In figuur 5.5 kan worden vastgesteld dat, bij een belastingvermindering op de aanschaf van een elektrische wagen ter hoogte van 11 en 22 procent, de verdisconteerde kosten van een elektrische wagen onder deze van respectievelijk de benzine- en de dieselwagen duiken. Dit vindt plaats zonder het maximale bedrag van 9.190 euro bij de belastingvermindering te overschrijden. Immers, het maximumbedrag wordt pas bereikt indien een fiscaal voordeel van 34,5 procent wordt verleend.

Figuur 5.5: Sensitiviteit van de belastingvermindering op de aanschaf van een elektrische wagen (beperkt tot een maximaal bedrag van 9.190 euro) op de totaal verdisconteerde private kosten

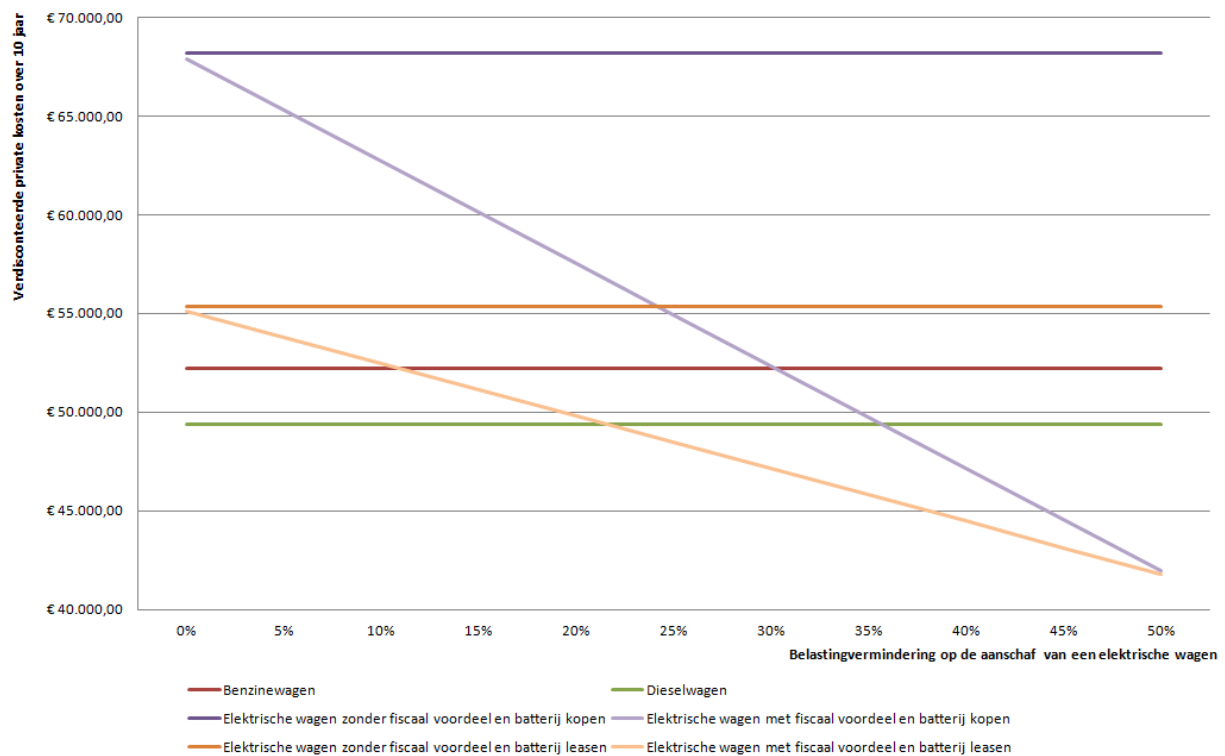


Bron: Eigen verwerking.

Daarnaast kan ook worden afgezien van het maximaal bedrag bij de belastingvermindering op de aanschaf van een elektrische wagen. Dergelijke situatie wordt voorgesteld in figuur 5.6. Onder deze omstandigheden zal de elektrische wagen bij de aankoop van een batterij wel voordeliger worden ten opzichte van de conventionele wagens, weliswaar bij een hogere absolute belastingvermindering dan 9.190 euro. Bij een elektrische wagen met een gekochte batterij zal er, naast de belastingvermindering op de thuislaadinfrastructuur, een fiscaal voordeel van 30,25 en 35,75 procent op de aankoopprijs vereist zijn om de verdisconteerde kosten van respectievelijk de benzine- en de dieselwagen te evenaren. Dit zal overeenstemmen met een absolute belastingvermindering van respectievelijk 15.706 en 18.561 euro.

Wanneer de batterij wordt geleased, blijft de rechte dalen aangezien er geen maximumbedrag van toepassing is. Nochtans verandert er niets ten opzichte van de analyse waarbij rekening werd gehouden met de maximale belastingvermindering. Bijkomend kan in onderstaande figuur worden bevonden dat de richtingscoëfficiënt in absolute termen bij het aankopen van de batterij groter is dan bij het leasen van de batterij, waardoor de absolute kost sneller daalt. Dit vloeit voort uit het feit dat de belastingvermindering bij de aankoop van de batterij wordt toegepast op de totale aanschafkost van de wagen inclusief batterij (51.920 euro), terwijl bij de leasing het fiscaal voordeel enkel wordt toegepast op de aanschafkost van de wagen exclusief batterij (26.620 euro). Bij een belastingvermindering van om en bij de vijftig procent zal het kopen van een batterij lagere verdisconteerde kosten met zich meebrengen dan het leasen over tien jaar.

Figuur 5.6: Sensitiviteit van de belastingvermindering op de aanschaf van een elektrische wagen (zonder beperking tot een maximaal bedrag) op de totaal verdisconteerde private kosten



Bron: Eigen verwerking.

5.2 Maatschappelijke kosten van de elektrische wagen

5.2.1 Berekening van de maatschappelijke kosten

De maatschappelijke kosten omvatten zowel de private kosten als de externe kosten voor de maatschappij. Zoals reeds werd aangehaald in hoofdstuk vier, zullen enkel de kosten met betrekking tot de uitstoot van conventionele wagens en de uitstoot van de bijkomende elektriciteitsproductie voor de elektrische wagen als externe kosten in rekening worden gebracht. De externe schadekosten aangaande de winning van conventionele brandstoffen en geluidshinder van de verschillende wagentypes worden aldus buiten beschouwing gelaten. Voor de berekening van de totaal verdisconteerde maatschappelijke kosten geldt een identieke werkwijze als bij de private kosten. Er wordt eveneens een verdisconteerde kost over tien jaar per wagentype bepaald. Hierbij wordt gebruikgemaakt van dezelfde wagentypes als bij de analyse van de private kosten, namelijk de zes types uit tabel 5.1. Naast de verschillende parameters voor de berekening van de private kosten in tabel 5.2, worden er een aantal externe maatschappelijke parameters gehanteerd. De kwantitatieve gegevens hieromtrent worden weergegeven in tabel 5.6.

Tabel 5.6: Parameters voor de berekening van de externe maatschappelijke kosten

Externe maatschappelijke parameters	
Uitstoot van conventionele personenwagens	
• Totale schadekost	€ 595.291.731,70
• Gem. schadekost per wagen	€ 114,64
• Gem. schadekost per km	€ 0,00732076
Uitstoot van elektriciteitsproductie	
• Totale schadekost	€ 534.559.002,86
• Gem. schadekost per wagen	€ 14,79
• Gem. schadekost per km	€ 0,0009447

Bron: Eigen verwerking.

De totaal verdisconteerde maatschappelijke kosten, inclusief externe kosten, van de zes wagentypes kunnen wederom op basis van de verschillende parameters worden berekend en vergeleken. Deze berekening wordt andermaal geïllustreerd in tabel 5.7. Hierbij wordt er een onderscheid gemaakt tussen de private en de externe kosten. In vergelijking met tabel 5.4 zijn de private kosten identiek voor de verschillende wagentypes. Het enige verschil situeert zich dan ook bij de externe schadekosten van de wagens, dewelke niet zijn opgenomen in tabel 5.4. Deze schadekosten hebben enkel betrekking op de jaarlijkse kosten, met als gevolg dat de eenmalige kosten onveranderd zijn gebleven ten opzichte van tabel 5.4. In onderstaande tabel wordt er bij de conventionele wagens een gemiddelde jaarlijkse schadekost opgenomen ten aanzien van de uitstoot van dergelijke wagens. Deze externe schadekost, ter hoogte van 114,64 euro, werd berekend aan de hand van de gemiddelde uitstootkost per kilometer en het gemiddeld aantal jaarlijks afgelegde kilometer. Verdisconteerd over een periode van tien jaar bedraagt deze externe schadekost 929,83 euro. Een elektrische wagen daarentegen stoot geen schadelijke stoffen uit tijdens het rijden, maar heeft als gevolg dat bijkomende elektriciteit dient te worden opgewekt. Dit gaat eveneens gepaard met externe schadekosten. De gemiddelde schadekost voor het opwekken van de elektriciteit, die wordt verbruikt door de elektrische wagen, werd op eenzelfde wijze berekend als deze van de uitstoot van conventionele wagens. Weliswaar bedraagt deze schadekost slechts 14,79 euro per jaar, wat een verdisconteerde schadekost van 119,96 euro over tien jaar met zich meebrengt. Wanneer de jaarlijkse schadekosten van de conventionele en de elektrische wagens worden vergeleken, kan worden vastgesteld dat dit een verschil van 99,85 euro op jaarbasis met zich meebrengt in het voordeel van de elektrische wagen. Na de bepaling van de verdisconteerde maatschappelijke kosten per wagentype doorheen de tijd, wordt hiervan in tabel 5.8 een kostenvergelijking gemaakt tussen de elektrische wagenvarianten en de conventionele wagens.

Tabel 5.7: Verdisconteerde maatschappelijke kosten in euro van verschillende wagentypes gespreid over tien jaar aan de hand van standaardparameters

Standaardparameters (inclusief externe kosten)											
Benzinewagen											
Jaar	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Private kosten											
Aanschaf wagen	19.800										
Brandstofverbruik		2.041	2.041	2.041	2.041	2.041	2.041	2.041	2.041	2.041	2.041
Onderhoud		822	822	822	822	822	822	822	822	822	822
Verzekering		775	775	775	775	775	775	775	775	775	775
BIV	405										
Verkeersbelasting		308	308	308	308	308	308	308	308	308	308
Externe kosten											
Uitstoot wagen		115	115	115	115	115	115	115	115	115	115
Totaal	20.205	4.061	4.061	4.061	4.061	4.061	4.061	4.061	4.061	4.061	4.061
Verdisconteerde waarde	20.205	3.905	3.755	3.610	3.471	3.338	3.209	3.086	2.967	2.853	2.743
Totaal verdisconteerde waarde	53.143										

Dieselwagen											
Jaar	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Private kosten											
Aanschaf wagen	22.050										
Brandstofverbruik		1.378	1.378	1.378	1.378	1.378	1.378	1.378	1.378	1.378	1.378
Onderhoud		843	843	843	843	843	843	843	843	843	843
Verzekering		775	775	775	775	775	775	775	775	775	775
BIV	510										
Verkeersbelasting		308	308	308	308	308	308	308	308	308	308
Externe kosten											
Uitstoot wagen		115	115	115	115	115	115	115	115	115	115
Totaal	22.560	3.419	3.419	3.419	3.419	3.419	3.419	3.419	3.419	3.419	3.419
Verdisconteerde waarde	22.560	3.287	3.161	3.039	2.922	2.810	2.702	2.598	2.498	2.402	2.309
Totaal verdisconteerde waarde	50.288										

Elektrische wagen <u>zonder</u> fiscaal voordeel en <u>batterij kopen</u>											
Jaar	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Private kosten											
Aanschaf wagen	26.620										
Aanschaf batterij (kopen)	25.300										
Aanschaf oplaadpaal	1.000										
Elektriciteitsverbruik		480	480	480	480	480	480	480	480	480	480
Onderhoud		584	584	584	584	584	584	584	584	584	584
Verzekering		743	743	743	743	743	743	743	743	743	743
BIV	0										
Verkeersbelasting		74	74	74	74	74	74	74	74	74	74
Externe kosten											
Uitstoot elektriciteitsproductie		15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
Totaal	52.920	1.895	1.895	1.895	1.895	1.895	1.895	1.895	1.895	1.895	1.895
Verdisconteerde waarde	52.920	1.822	1.752	1.685	1.620	1.558	1.498	1.440	1.385	1.331	1.280
Totaal verdisconteerde waarde	68.290										

Elektrische wagen <u>met</u> fiscaal voordeel en batterij <u>kopen</u>											
Jaar	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Private kosten											
Aanschaf wagen	18.634										
Aanschaf batterij (kopen)	24.096										
Aanschaf oplaadpaal	750										
Elektriciteitsverbruik		480	480	480	480	480	480	480	480	480	480
Onderhoud		584	584	584	584	584	584	584	584	584	584
Verzekering		743	743	743	743	743	743	743	743	743	743
BIV	0										
Verkeersbelasting		74	74	74	74	74	74	74	74	74	74
Externe kosten											
Uitstoot elektriciteitsproductie		15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
Totaal	43.480	1.895	1.895	1.895	1.895	1.895	1.895	1.895	1.895	1.895	1.895
Verdisconteerde waarde	43.480	1.822	1.752	1.685	1.620	1.558	1.498	1.440	1.385	1.331	1.280
Totaal verdisconteerde waarde	58.850										

Elektrische wagen <u>zonder</u> fiscaal voordeel en batterij <u>leasen</u>											
Jaar	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Private kosten											
Aanschaf wagen	26.620										
Aanschaf batterij (leasen)		1.541	1.541	1.541	1.541	1.541	1.541	1.541	1.541	1.541	1.541
Aanschaf oplaadpaal	1.000										
Elektriciteitsverbruik		480	480	480	480	480	480	480	480	480	480
Onderhoud		584	584	584	584	584	584	584	584	584	584
Verzekering		743	743	743	743	743	743	743	743	743	743
BIV	0										
Verkeersbelasting		74	74	74	74	74	74	74	74	74	74
Externe kosten											
Uitstoot elektriciteitsproductie		15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
Totaal	27.620	3.436	3.436	3.436	3.436	3.436	3.436	3.436	3.436	3.436	3.436
Verdisconteerde waarde	27.620	3.304	3.177	3.055	2.937	2.824	2.715	2.611	2.511	2.414	2.321
Totaal verdisconteerde waarde	55.488										

Elektrische wagen <u>met</u> fiscaal voordeel en batterij <u>leasen</u>											
Jaar	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Private kosten											
Aanschaf wagen	18.634										
Aanschaf batterij (leasen)		1.541	1.541	1.541	1.541	1.541	1.541	1.541	1.541	1.541	1.541
Aanschaf oplaadpaal	750										
Elektriciteitsverbruik		480	480	480	480	480	480	480	480	480	480
Onderhoud		584	584	584	584	584	584	584	584	584	584
Verzekering		743	743	743	743	743	743	743	743	743	743
BIV	0										
Verkeersbelasting		74	74	74	74	74	74	74	74	74	74
Externe kosten											
Uitstoot elektriciteitsproductie		15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
Totaal	19.384	3.436	3.436	3.436	3.436	3.436	3.436	3.436	3.436	3.436	3.436
Verdisconteerde waarde	19.384	3.304	3.177	3.055	2.937	2.824	2.715	2.611	2.511	2.414	2.321
Totaal verdisconteerde waarde	47.252										

Bron: Eigen verwerking.

Tabel 5.8: Vergelijking verdisconteerde maatschappelijke kosten in euro van verschillende wagentypes gespreid over tien jaar aan de hand van standaardparameters

Vergelijking van de verschillende alternatieven omtrent totaal verdisconteerde waarden (negatieve waarden in het voordeel van de elektrische wagen)			
Minderprijs benzinewagen ten opzichte van:		Minderprijs dieselwagen ten opzichte van:	
• Elektrische wagen zonder fiscaal voordeel en batterij kopen:	€ 15.146,56	• Elektrische wagen zonder fiscaal voordeel en batterij kopen:	€ 18.001,81
• Elektrische wagen met fiscaal voordeel en batterij kopen:	€ 5.706,56	• Elektrische wagen met fiscaal voordeel en batterij kopen:	€ 8.561,81
• Elektrische wagen zonder fiscaal voordeel en batterij leasen:	€ 2.344,99	• Elektrische wagen zonder fiscaal voordeel en batterij leasen:	€ 5.200,25
• Elektrische wagen met fiscaal voordeel en batterij leasen:	€ -5.891,01	• Elektrische wagen met fiscaal voordeel en batterij leasen:	€ -3.035,75

Bron: Eigen verwerking.

Uit tabel 5.7 kan worden besloten dat de impact van de externe schadekosten op de totale maatschappelijke kosten beperkt blijft. Immers, de overschakeling van de conventionele naar de elektrische wagen zal jaarlijks een externe baat van 114,64 euro en een externe kost van 14,79 euro met zich meebrengen. Kortom, de jaarlijkse netto externe baat van de overschakeling van de conventionele naar de elektrische wagen bedraagt slechts 99,85 euro. De verdisconteerde waarde hiervan, over een termijn van tien jaar, komt neer op 809,87 euro. Dit is bijgevolg ook tevens het verschil ten opzicht van tabel 5.4 omtrent de vergelijking van de verschillende alternatieven. Immers, de elektrische wagenvarianten worden elk van hen, over een periode van tien jaar, maatschappelijk gezien 809,87 euro voordeliger dan de conventionele wagens, in vergelijking met de situatie waarin enkel rekening wordt gehouden met de private kosten.

Inzake de maatschappelijke kosten kunnen er opnieuw partiële sensitiviteitsanalyses worden uitgevoerd met betrekking tot bepaalde parameters. Op deze manier is het mogelijk om na te gaan welk effect de externe kosten hebben op de verschillende scenario's van de zes wagentypes.

5.2.2 Partiele sensitiviteitsanalyses

Er wordt opnieuw gekozen voor een sensitiviteitsanalyse omtrent het aantal afgelegde kilometer per jaar, de batterijkosten, de aanschafkost van de elektrische wagen, de energieprijzen en de belastingvermindering op de aanschaf van een elektrische wagen. Net zoals bij de private kosten wordt er gekeken naar de invloed van een bepaalde parameter op de verdisconteerde maatschappelijke kosten over tien jaar. De cijfermatige onderbouwingen en bijhorende grafieken worden enkel opgenomen in bijlage B, aangezien het basisidee hetzelfde is als bij de private kosten. Aansluitend worden daarom enkel de veranderingen ten opzichte van de private kosten in het kort aangehaald. Daarnaast wordt er ook een sensitiviteitsanalyse uitgevoerd betreffende de invloed van de externe kosten.

5.2.2.1 Aantal gereden kilometer per jaar

Het aantal jaarlijks afgelegde kilometer is van invloed op de externe kosten van de uitstoot met betrekking tot zowel de conventionele wagens als de bijkomende elektriciteitsproductie voor de elektrische wagen. Echter, de kilometerafhankelijke externe kosten van de conventionele wagens wegen zwaarder door. Naarmate er jaarlijks meer kilometer wordt afgelegd, zal het verschil tussen beide externe schadekosten aldus groter worden.

Indien de batterij van de elektrische wagen wordt aangekocht, geldt dezelfde redenering als bij de private kosten. Hoe meer kilometer er jaarlijks wordt afgelegd, hoe sneller de batterij dient te worden vervangen. Bijgevolg zullen de verdisconteerde maatschappelijke kosten aangaande de elektrische wagen, met of zonder fiscaal voordeel, altijd hoger liggen dan bij de overige alternatieven.

Wanneer de overheid geen fiscaal voordeel toekent op de elektrische wagen met een geleasede batterij, zullen de verdisconteerde maatschappelijke kosten van de dieselwagen zich altijd onder deze van de elektrische wagen bevinden. In vergelijking met de benzinewagen, wordt de elektrische wagen maatschappelijk voordeliger vanaf ruim 28.000 kilometer per jaar. Indien er wel een belastingvermindering wordt verleend, zullen de verdisconteerde maatschappelijke kosten van de elektrische wagen altijd minder bedragen dan deze van de benzinewagen. De verdisconteerde maatschappelijke kosten van de dieselwagen daarentegen dalen onder deze van de elektrische wagen na ruim 36.000 kilometer per jaar.

5.2.2.2 Batterijkost

De verandering van de batterijkost heeft, in tegenstelling tot het aantal gereden kilometer, geen impact op de grootte van de externe schadekosten. Bijgevolg zullen de rechten van de verschillende alternatieven enkel een evenwijdige verschuiving kennen ten opzichte van figuur 5.2. De rechten van de elektrische varianten zullen stijgen met 119,96 euro, namelijk de verdisconteerde externe kosten voor het opwekken van bijkomende elektriciteit. Daarnaast zullen de rechten van de conventionele wagens een evenwijdige verplaatsing kennen ter hoogte van 929,83 euro. Dit stemt overeen met de verdisconteerde externe kosten van de uitstoot van dergelijke wagens. Deze verschuivingen zijn eveneens van toepassing voor de volgende drie sensitiviteitsanalyses, aangezien geen van deze variërende parameters een invloed hebben op de externe schadekosten.

Het kopen van een batterij bij een elektrische wagen, zonder de toekenning van een belastingvermindering, zal lagere verdisconteerde maatschappelijke kosten met zich meebrengen dan de benzine- en de dieselwagen wanneer de batterijkost afneemt met respectievelijk 60 en 71 procent. Indien er wel een fiscaal voordeel van toepassing is, zijn er verminderingen van respectievelijk 23 en 34 procent betreffende de batterijkost vereist.

Ingeval de batterij van een elektrische wagen wordt geleased en er geen belastingvermindering geldt, zal de leasekost met 19 en 42 procent moeten dalen alvorens de elektrische wagen, over een termijn van 10 jaar, maatschappelijk voordeliger wordt ten opzichte van respectievelijk de benzine- en de dieselwagen. Onder de verlening van een fiscaal voordeel daarentegen zal de leasekost nog mogen stijgen alvorens de maatschappelijke kosten van de conventionele wagens minder bedragen dan deze van de elektrische variant. Zolang de stijging van de leasekost zich onder 47 en 24 procent bevindt, zal de elektrische wagen vanuit maatschappelijk oogpunt steeds gunstiger uitvallen dan respectievelijk de benzine- en de dieselwagen.

5.2.2.3 Aanschafkost van de elektrische wagen

Wanneer er geen fiscaal voordeel van toepassing is, behoeft de aanschafprijs van de elektrische wagen een reductie van 57 en 68 procent vooraleer een dergelijke wagen met een gekochte batterij maatschappelijk voordeliger wordt dan respectievelijk de benzine- en de dieselwagen. Bij de verlening van een belastingvermindering is er in dit geval een daling van respectievelijk 21 en 32 procent vereist voor het bereiken van de *break-even* punten.

Op voorwaarde dat de batterij van de elektrische wagen wordt geleased en de overheid geen fiscaal voordeel toekent, zal de aanschafkost van de elektrische wagen met 9 en 20 procent moeten dalen alvorens de maatschappelijke kosten van een dergelijke wagen onder deze van respectievelijk de benzine- en de dieselwagen duiken. Mits gebruikmaking van een belastingvermindering en een geleasede batterij, zal de elektrische variant, maatschappelijk gezien, steeds voordeliger zijn dan de benzine- en de dieselwagen indien de aanschafkost van de elektrische wagen niet meer stijgt dan respectievelijk 32 en 16 procent.

5.2.2.4 Energieprijzen

Voor de elektrische wagen zonder fiscaal voordeel met een gekochte batterij zal een stijging van de energieprijzen met 120 en 247 procent nodig zijn om de verdisconteerde maatschappelijke kosten te laten dalen onder deze van respectievelijk de benzine- en de dieselwagen. Wanneer er wel een belastingvermindering wordt toegekend, nemen deze percentages af tot respectievelijk 45 en 117 procent.

Als de batterij van de elektrische wagen wordt geleased en er geen fiscaal voordeel wordt verleend, zullen de energieprijzen moeten stijgen met 19 en 71 procent vooraleer de elektrische wagen maatschappelijk voordeliger wordt dan respectievelijk de benzine- en de dieselwagen. Echter, indien de overheid wel een belastingvermindering toekent, zal een stijging van de energieprijzen in het voordeel van de elektrische wagen zijn. Vanuit maatschappelijk oogpunt zullen de benzine- en de dieselwagen voordeliger worden in vergelijking met de elektrische variant wanneer zich een daling van de energieprijzen van respectievelijk minstens 47 en 42 procent voordoet.

5.2.2.5 Belastingvermindering op de aanschaf van een elektrische wagen

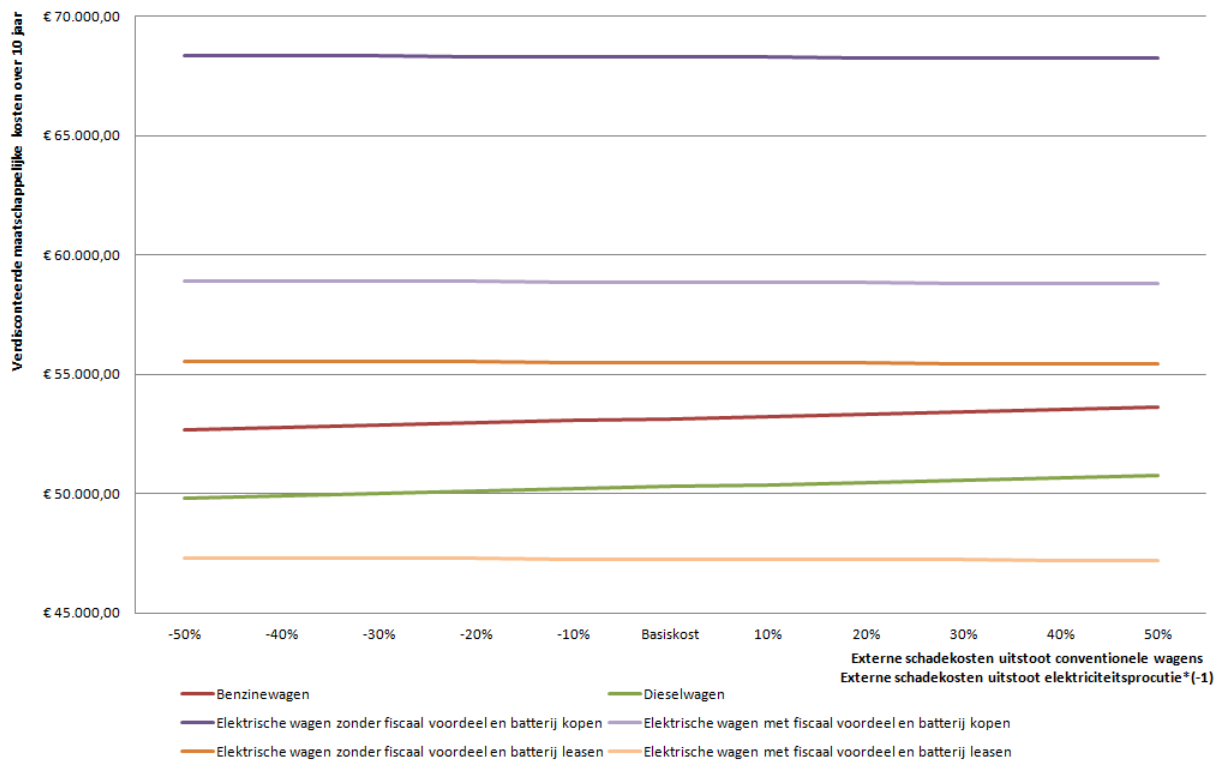
Bij de sensitiviteit van de belastingvermindering wordt er enkel nog gekeken naar de situatie zonder maximumbedrag. Indien de batterij van de elektrische wagen wordt aangekocht, is er naast de belastingvermindering op de thuislaadinfrastructuur ook een fiscaal voordeel vereist op de wagen voor het bereiken van de *break-even* punten ten aanzien van de benzine- en de dieselwagen. Dit fiscaal voordeel bedraagt respectievelijk 29 en 34 procent op de aanschafkost van de elektrische wagen.

De elektrische wagen met een geleasede batterij vereist, bovenop de belastingvermindering op de thuislaadinfrastructuur, een fiscaal voordeel van 8 en 19 procent op de aanschafkost van de wagen om de verdisconteerde maatschappelijke kosten van respectievelijk de benzine- en de dieselwagen te evenaren.

5.2.2.6 Externe kosten

Uit voorgaande sensitiviteitsanalyses kan worden besloten dat het in rekening brengen van de externe kosten weinig effect heeft ten opzichte van de analyses met betrekking tot de private kosten. Enkel bij de sensitiviteit van het jaarlijks aantal gereden kilometer hebben de externe kosten een relatief grote invloed. Dit is te wijten aan het feit dat de externe schadekosten, en dus ook de totaal verdisconteerde maatschappelijke kosten, afhankelijk zijn van het jaarlijks aantal gereden kilometer. Indien deze parameter constant blijft, zal de impact van de externe kosten aldus gering zijn. Dit besluit omtrent de externe kosten wordt bevestigd in figuur 5.7. Immers, een gelijktijdige onder- en overschatting, ter hoogte van 50 procent, van de externe kosten omtrent de uitstoot van respectievelijk de conventionele wagen en de bijkomende elektriciteitsproductie (en vice versa), zal een geringe invloed hebben op de verdisconteerde maatschappelijke kosten. Bij een gelijktijdige onder- of overschatting van beide externe kosten zal de impact nog kleiner zijn, aangezien ze elkaar dan gedeeltelijk compenseren.

Figuur 5.7: Sensitiviteit van de externe kosten op de totaal verdisconteerde maatschappelijke kosten



Bron: Eigen verwerking.

5.3 Overheidskosten van de elektrische wagen

De overheidskosten werden reeds uitvoerig besproken in hoofdstuk vier. Met betrekking tot deze kosten zal in wat volgt enkel worden onderzocht hoeveel de operationele kosten en opbrengsten voor de overheid doorheen de tijd bedragen. Immers, de overige kostensoorten die reeds werden besproken in het vierde hoofdstuk, zoals opstartkosten die gepaard gaan met de implementatie van een *Smart Grid*, omvatten meestal eenmalige kosten. Vandaar zullen deze laatste niet meer worden opgenomen. De analyse zal betrekking hebben op een periode van vijf jaar, vermits de elektrische wagen onder Vlaamse bevoegdheid valt en de overeenkomstige legislatuurperiode zich uitstrekt over eenzelfde termijn.²⁹³ Allereerst zullen de operationele kosten en opbrengsten van de overheid op basis van de huidige wetgeving worden besproken. Daarna wordt er getracht de optimale belastingvermindering op de aanschaf van een elektrische wagen te bepalen, alsook de invloed hiervan op de overheidskosten. Hierbij kan wel worden opgemerkt dat er, zoals in hoofdstuk vier, geen onderscheid wordt gemaakt tussen de verschillende overheidsniveaus voor de bepaling van de overheidskosten.

²⁹³ Vlaams Parlement, 2010, *Parlementaire begrippenlijst*. Opgevraagd op 15 februari, 2012.
<http://www.vlaamsparlement.be/vp/informatie/begrippenlijst/legislatuur.html>

5.3.1 Huidige wetgeving

De operationele kosten en opbrengsten per elektrische wagen, uitgaande van de huidige wetgeving, werden samengevat in tabel 4.16 en 4.17. Op basis van deze gegevens kan de verdisconteerde operationele netto overheidskost per elektrische wagen gedurende een periode van vijf jaar worden afgeleid. Het bepalen van de totale verdisconteerde kosten vereist bijkomende informatie over het aantal gekochte elektrische wagens. In hoofdstuk drie werd reeds aangehaald dat de International Consultancy Group (ICG) hieromtrent voorspellingen heeft gemaakt. Deze werden grafisch weergegeven in figuur 3.5. De consultancygroep verwacht dat de elektrische wagen in 2013 één procent zal uitmaken van de nieuw verkochte wagens. Volgens de ICG zal dit aandeel oplopen tot zeven procent tegen 2020. Tijdens de periode 2007-2010 werden er in Vlaanderen jaarlijks gemiddeld 274.199 nieuwe personenwagens ingeschreven.²⁹⁴ Wanneer er wordt aangenomen dat deze hoeveelheid constant blijft doorheen de tijd, kan het jaarlijks aantal gekochte elektrische wagens worden voorspeld. Indien het aandeel elektrische wagens in de jaarlijkse wagenverkoop één procent bedraagt, zal het absoluut aantal overeenkomen met 2.742.

In tabel 5.9 worden de verdisconteerde operationele netto overheidskosten, die gepaard gaan met de overschakeling van de conventionele naar de elektrische wagen, over vijf jaar bepaald. Deze berekening gaat uit van de huidige wetgeving omtrent de elektrische wagen en steunt op een aandeel van één procent elektrische wagens in de totale wagenverkoop. In onderstaande tabel dient een onderscheid te worden gemaakt tussen het kopen en het leasen van een batterij bij de elektrische wagen, aangezien deze twee alternatieven een verschillende overheidskost met zich meebrengen. Immers, wanneer de batterij wordt geleased zal de belastingvermindering enkel van toepassing zijn op de wagen exclusief batterij. Echter, het fiscaal voordeel bij de aankoop van een wagen inclusief batterij is van toepassing op de totale aanschafprijs. Daarnaast leiden beide alternatieven ook tot verschillende opbrengsten voor de overheid. Op de aankoop van een batterij is namelijk eenmalig btw verschuldigd, terwijl het leasen een jaarlijkse btw-opbrengst voor de overheid oplevert.

De berekening in onderstaande tabel wordt op eenzelfde wijze uitgevoerd als bij de private en de maatschappelijke kosten. Er wordt dus aangenomen dat de eenmalige overheidskosten en -opbrengsten optreden op het einde van het jaar dat voorafgaat aan het jaar waarin het gebruik van de wagen start. Vermits het jaarlijks aantal gekochte elektrische wagens verondersteld wordt constant te blijven doorheen de tijd, zullen de eenmalige overheidskosten en -opbrengsten die hiermee gepaard gaan eveneens constant blijven. Daarnaast ontstaan er jaarlijkse kosten en opbrengsten voor de overheid bij het effectief gebruik van de wagen. Deze blijven niet constant doorheen de jaren, vermits ze betrekking hebben op het gecumuleerd aantal elektrische wagens die verkocht worden in Vlaanderen.

²⁹⁴ Febiac, 2011, *Datadigest 2011: Inschrijvingen van nieuwe voertuigen per provincie en gewest*. Opgevraagd op 15 februari, 2012.
<http://www.febiac.be/public/statistics.aspx?FID=23&lang=NL>

Tabel 5.9: Verdisconteerde operationele netto overheidskosten bij de overschakeling van de conventionele naar de elektrische wagen, in euro

Batterij kopen						
Jaar	0	1	2	3	4	5
Operationele kosten						
Belastingvermindering op wagen	25.198.888	25.198.888	25.198.888	25.198.888	25.198.888	
Belastingvermindering op thuislaadinfrastructuur	685.498	685.498	685.498	685.498	685.498	
Verlies van belasting op de inverkeerstelling	1.284.403	1.284.403	1.284.403	1.284.403	1.284.403	
Verlies van verkeersbelasting (jaarlijks)		643.545	1.287.090	1.930.635	2.574.180	3.217.725
Verlies van accijnzen op brandstoffen (jaarlijks)		1.506.504	3.013.008	4.519.512	6.026.017	7.532.521
Verlies van btw op brandstoffen (jaarlijks)		781.988	1.563.976	2.345.964	3.127.953	3.909.941
Verlies van btw op onderhoudskosten (jaarlijks)		119.085	238.169	357.254	476.339	595.423
Operationele opbrengsten						
Bijkomende btw op aanschafprijs in vergelijking met de conventionele wagen	2.426.414	2.426.414	2.426.414	2.426.414	2.426.414	
Btw op aanschaf batterij	12.039.831	12.039.831	12.039.831	12.039.831	12.039.831	
Btw op elektriciteitsverbruik (jaarlijks)		228.408	456.816	685.223	913.631	1.142.039
Netto operationele kosten	12.702.543	15.525.257	18.347.971	21.170.685	23.993.400	14.113.571
Verdisconteerde waarde	12.702.543	14.928.132	16.963.731	18.820.662	20.509.659	11.600.327
Totaal verdisconteerde waarde	95.525.053					

Batterij leasen						
Jaar	0	1	2	3	4	5
Operationele kosten						
Belastingvermindering op wagen	21.897.532	21.897.532	21.897.532	21.897.532	21.897.532	
Belastingvermindering op thuislaadinfrastructuur	685.498	685.498	685.498	685.498	685.498	
Verlies van belasting op de inverkeerstelling	1.284.403	1.284.403	1.284.403	1.284.403	1.284.403	
Verlies van verkeersbelasting (jaarlijks)		643.545	1.287.090	1.930.635	2.574.180	3.217.725
Verlies van accijnzen op brandstoffen (jaarlijks)		1.506.504	3.013.008	4.519.512	6.026.017	7.532.521
Verlies van btw op brandstoffen (jaarlijks)		781.988	1.563.976	2.345.964	3.127.953	3.909.941
Verlies van btw op onderhoudskosten (jaarlijks)		119.085	238.169	357.254	476.339	595.423
Operationele opbrengsten						
Bijkomende btw op aanschafprijs in vergelijking met de conventionele wagen	2.426.414	2.426.414	2.426.414	2.426.414	2.426.414	
Btw op leasen batterij (jaarlijks)		733.345	1.466.690	2.200.036	2.933.381	3.666.726
Btw op elektriciteitsverbruik (jaarlijks)		228.408	456.816	685.223	913.631	1.142.039
Netto operationele kosten	21.441.018	23.530.387	25.619.756	27.709.125	29.798.494	10.446.845
Verdisconteerde waarde	21.441.018	22.625.372	23.686.905	24.633.311	25.471.878	8.586.545
Totaal verdisconteerde waarde	126.445.029					

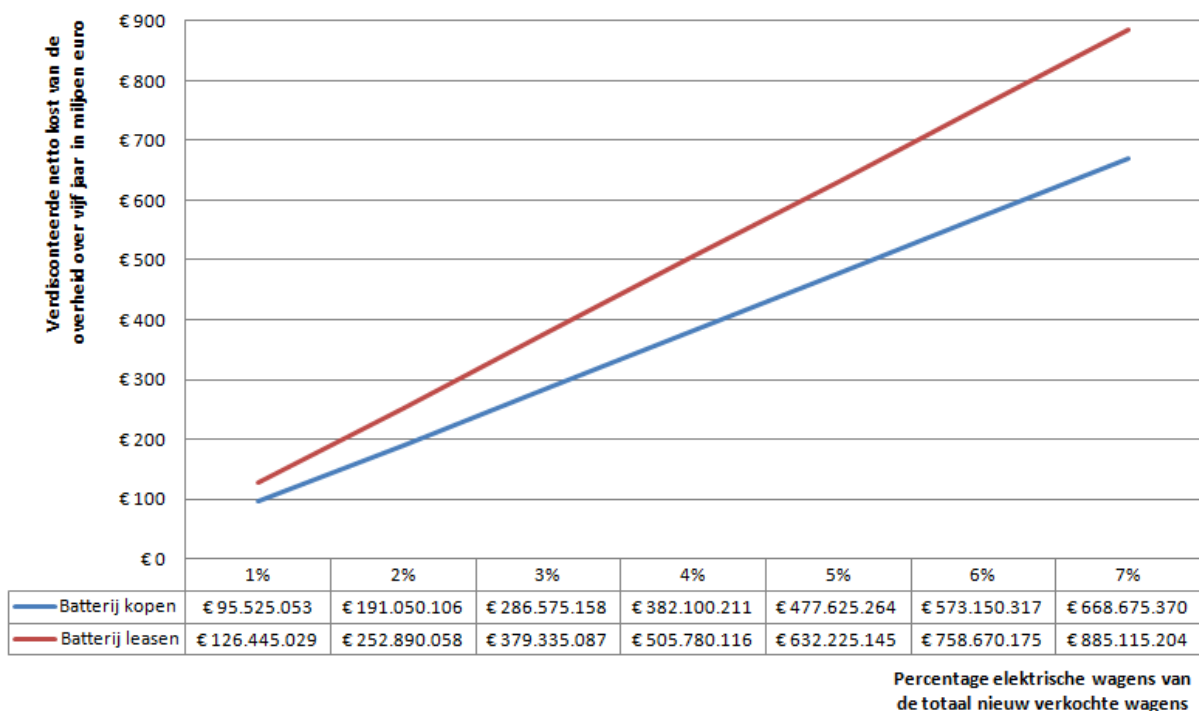
Bron: Eigen verwerking.

Een dergelijke berekening kan herhaald worden voor verschillende percentages met betrekking tot het aandeel elektrische wagens in de totale wagenverkoop. Het is aannemelijk dit percentage te laten variëren van één tot zeven procent, aangezien dit overeenstemt met de voorspellingen van de ICG. Deze resultaten worden weergegeven in figuur 5.8. Hieruit kan besloten worden dat, vanuit overheidsstandpunt, het voordeliger is om enkel een belastingvermindering toe te kennen wanneer een elektrische wagen inclusief batterij wordt aangekocht. Gezien de huidige wetgeving

brengt dit immers minder kosten met zich mee over een periode van vijf jaar ten opzichte van een belastingvermindering ingeval de batterij wordt geleased. Nochtans bedraagt een fiscaal voordeel op de wagen inclusief batterij (9.190 euro) meer dan op de wagen met een geleasede batterij (7.986 euro). Echter, dit verschil wordt gecompenseerd door de btw-opbrengst die de overheid verkrijgt uit de aankoop van de batterij.

Bij deze berekeningen dient te worden opgemerkt dat een aantal overheidskosten en -opbrengsten afhankelijk zijn van het aantal afgelegde kilometer per jaar. Echter, de impact van deze parameter zal beperkt zijn, aangezien de voornaamste kosten en opbrengsten voor de overheid onafhankelijk zijn van het aantal afgelegde kilometer. Bovendien steunt de berekening niet op één elektrische wagen, maar op het aantal jaarlijks verkochte elektrische wagens. Ten gevolge van de wet van de grote getallen zal, gemiddeld genomen, het werkelijk aantal gereden kilometer per jaar niet sterk afwijken van het verwachte jaarlijks gemiddelde van 15.660 kilometer.

Figuur 5.8: Sensitiviteit van het percentage elektrische wagens van de totaal nieuw verkochte wagens op de verdisconteerde netto overheidskost over vijf jaar op basis van huidige wetgeving



Bron: Eigen verwerking.

5.3.2 Optimale belastingvermindering

In deze paragraaf wordt getracht de optimale belastingvermindering op de aanschaf van een elektrische wagen te bepalen. Aangezien een consument enkel rekening houdt met de private kosten, moet er voor het bepalen van de optimale belastingvermindering enkel rekening worden gehouden met de private kosten omtrent de aanschaf van een wagen, en dus niet met de maatschappelijke kosten.

Indien er wordt gekeken naar de private kosten, blijkt de elektrische wagen met een geleasede batterij steeds voordeliger uit te vallen dan de variant met een gekochte batterij. Bovendien kan uit figuur 5.5 op basis van de huidige wetgeving worden afgeleid dat, wanneer een belastingvermindering wordt toegekend op de aankoop van een wagen inclusief batterij, de private kosten van de conventionele wagens over een periode van tien jaar beduidend lager liggen. Immers, de maximale belastingvermindering is in dit geval niet voldoende om de private kosten van de elektrische wagen te laten dalen onder deze van de conventionele wagens. Indien de batterij daarentegen wordt geleased, is er een belastingvermindering van 10,91 en 21,64 procent op de aanschaf van een elektrische wagen vereist, alvorens de verdisconteerde kosten dalen onder deze van respectievelijk de benzine- en de dieselwagen. De absolute bedragen van dit fiscaal voordeel komen overeen met respectievelijk 2.904,86 en 5.760,11 euro. Bijgevolg zal de overheid een belastingvermindering van minstens 5.760,11 euro moeten toekennen vooraleer de consument geprikkeld wordt een elektrische wagen met een geleasede batterij te verkiezen boven een conventionele wagen. Indien het fiscaal voordeel minder bedraagt, zal de consument veeleer geneigd zijn om een dieselwagen te kopen. De totale optimale belastingvermindering, inclusief fiscaal voordeel op de thuislaadinfrastructuur (250 euro), bedraagt dan 6.010,11 euro.

Voor de berekening van de optimale belastingvermindering dienen de verdisconteerde private kosten van de elektrische wagen altijd te worden vergeleken met deze van de conventionele wagen die de laagste verdisconteerde private kosten met zich meebrengt. Een rationele consument zal immers altijd kiezen voor het meest voordelige alternatief. Dit zal hoogstwaarschijnlijk de dieselwagen zijn, aangezien deze in vrijwel iedere situatie voordeliger is dan de benzinewagen. Een van de weinige situaties waarbij de benzinewagen lagere kosten over tien jaar oplevert in vergelijking met de dieselwagen, doet zich voor indien minder dan 7.078 kilometer per jaar worden afgelegd.

Indien het optimale fiscaal voordeel op de elektrische wagen met een geleasede batterij wordt toegekend, zal dit een daling van de overheidskosten teweegbrengen ten opzichte van de huidige wetgeving. In vergelijking met het kopen van de batterij onder de huidige wetgeving daarentegen ligt de verdisconteerde operationele netto overheidskost bij de toekenning van de optimale belastingvermindering op de elektrische wagen met een geleasede batterij beperkt hoger. Dit wordt grafisch geïllustreerd in figuur 5.9. Echter, zoals reeds werd aangehaald, zou de maximale belastingvermindering op de aankoop van een elektrische wagen inclusief batterij (9.190 euro) nog moeten stijgen voordat de consument wordt geprikkeld om de elektrische wagen te verkiezen boven de conventionele. Er zou immers een fiscaal voordeel van 18.811 euro vereist zijn alvorens de private kosten van de elektrische wagen met een gekochte batterij minder bedragen dan deze van zowel de benzine- als de dieselwagen. Dit zou een sterke negatieve invloed hebben op de operationele netto overheidskosten, waardoor het voor de overheid voordeliger is om enkel een optimale belastingvermindering toe te kennen wanneer de batterij wordt geleased. Nochtans is dit in strijd met de bevindingen onder de huidige wetgeving, waarbij is gebleken dat het toekennen van een belastingvermindering op een wagen inclusief batterij lagere verdisconteerde overheidskosten met zich meebrengt dan op een wagen met een geleasede batterij. Echter, het

fiscaal voordeel zal in dit geval zijn doel niet bereiken, aangezien de private kosten van de elektrische wagen deze van de conventionele wagens nog steeds overstijgen.

Figuur 5.9: Vergelijking van de huidige wetgeving met de optimale belastingvermindering omtrent de sensitiviteit van het percentage elektrische wagens van de totaal nieuw verkochte wagens op de verdisconteerde netto overheidskost over vijf jaar



Bron: Eigen verwerking.

Bijkomend dient te worden opgemerkt dat de optimale belastingvermindering mogelijk nog kan dalen wanneer bijvoorbeeld de leasekost van de batterij en/of de aanschafprijs van de elektrische wagen afneemt. Dit wordt verduidelijkt aan de hand van een voorbeeld. Uit figuur 5.2 kan worden afgeleid dat, ingeval de leasekost van een batterij met twintig procent daalt (ceteris paribus), de optimale belastingvermindering dan 3.510,43 euro bedraagt. Dit bedrag is inclusief fiscaal voordeel op de thuislaadinfrastructuur (250 euro). Bijgevolg bedraagt de optimale belastingvermindering op de aanschaf van een elektrische wagen 3.260,43 euro. Een reductie van tien procent op de aankoopprijs van een elektrische wagen exclusief batterij (ceteris paribus), zal in figuur 5.3 de optimale belastingvermindering op de aanschaf van een dergelijke wagen doen dalen tot 3.098,11 euro. Dit bedrag is exclusief de toekenning van een fiscaal voordeel op de thuislaadinfrastructuur. Indien er een afname van zowel de batterijleasekost als de aanschafkost van de elektrische wagen ter hoogte van respectievelijk twintig en tien procent plaatsvindt (ceteris paribus), zal geen fiscaal voordeel meer vereist zijn. Immers, gespreid over tien jaar zal de elektrische wagen dan 2.006,83 euro voordeliger zijn in vergelijking met de dieselwagen. Daarnaast kan worden opgemerkt dat, als de energieprijzen in de toekomst eenzelfde relatieve stijging kennen (ceteris paribus), is dit in het voordeel van de elektrische wagen en kan de optimale belastingvermindering eveneens dalen.

De optimale belastingvermindering werd in voorgaande afgeleid aan de hand van de standaardparameters voor de verschillende wagentypes. Hieromtrent bestaat evenwel geen zekerheid, aangezien deze enkel betrekking hebben op gemiddelde waarden. Teneinde de onzekerheid te reduceren is het mogelijk, zoals reeds werd gedaan, sensitiviteitsanalyses uit te voeren. Echter, hierbij kan slechts één specifieke situatie per keer worden geanalyseerd. Dit probleem kan worden verholpen met behulp van Monte Carlo simulaties. Voor de uitvoering van deze simulaties werd in deze masterproef beroep gedaan op het programma Crystal Ball van Oracle.

5.3.3 Monte Carlo simulaties

Bij een Monte Carlo simulatie kan voor iedere parameter, die van invloed is op het eindresultaat, een kansverdeling worden opgesteld. Vervolgens kunnen meerdere deeltesten worden uitgevoerd, waarbij telkens een willekeurige waarde uit de kansverdeling van iedere parameter wordt getrokken. Op basis van deze waarden wordt er voor iedere deeltest een specifiek resultaat bekomen. Zodoende bekomt men een kansverdeling voor het gezochte resultaat. Hierbij is het belangrijk om een groot aantal deeltesten uit te voeren, opdat de betrouwbaarheid van de uitkomst voldoende groot is.

Aan de hand van de standaardparameters uit tabel 5.2 kan een Monte Carlo simulatie worden uitgevoerd voor het bepalen van de optimale belastingvermindering op de aanschaf van een elektrische wagen. Hiervoor zal men, over een tienjarige periode, de verdisconteerde private kosten van de conventionele wagens moeten vergelijken met deze van de elektrische wagen, weliswaar met een geleasede batterij en zonder de toekenning van een fiscaal voordeel. Er wordt enkel rekening gehouden met een geleasede batterij, aangezien reeds werd aangetoond dat bij de toekenning van de optimale belastingvermindering in dit geval de private en de overheidskosten lager zijn dan bij een gekochte batterij. Bijgevolg moeten er twee Monte Carlo simulaties worden uitgevoerd, namelijk voor de vergelijking van de elektrische wagen ten opzichte van zowel de benzine- als de dieselwagen. Bij de simulatie worden de kosten van de elektrische wagen in mindering gebracht met deze van de desbetreffende conventionele wagen. Wanneer er een positieve waarde wordt bekomen, zal deze waarde overeenkomen met de vereiste optimale totale belastingvermindering. Dit bedrag weerspiegelt dan de som van het fiscaal voordeel op de aanschaf van de elektrische wagen en de thuislaadinfrastructuur. Indien uit de simulatie een negatieve waarde voortvloeit, zal de elektrische wagen zonder belastingvermindering reeds voordeliger zijn dan de conventionele wagen.

Alvorens over te gaan tot de bespreking van de resultaten, dienen de assumpties met betrekking tot de verschillende parameters te worden vermeld. Er wordt gekozen om in de Monte Carlo simulatie dezelfde parameters op te nemen als in de partiële sensitiviteitsanalyses. Deze zijn het aantal afgelegde kilometer per jaar, de batterijkosten, de aanschafkost van de elektrische wagen en de energieprijzen. Elk van deze parameters krijgt een kansverdeling toegekend, terwijl de

overige parameters constant zullen blijven tijdens de simulaties. Aan de vier opgenomen parameters werd telkens een driehoekskansverdeling toegewezen. Dit is een verdeling waarbij er een minimum, een gemiddelde en een maximum wordt opgegeven. De gemiddelde waarde heeft een grotere kans om getrokken te worden dan de uiterste waarden. De oppervlakte onder deze verdelingscurve is één.

De kansverdeling van het jaarlijks aantal afgelegde kilometer heeft een gemiddelde dat overeenstemt met de standaardwaarde van 15.660 kilometer. Verder komt het minimum en het maximum overeen met respectievelijk 15 procent minder en 15 procent meer dan het gemiddelde. Op deze manier wordt er gecontroleerd voor het feit dat het werkelijk gemiddeld aantal afgelegde kilometer kan afwijken van de verwachte waarde (15.660 kilometer). Daarnaast wordt vermoed dat de prijzen van zowel de batterij als de elektrische wagen in de nabije toekomst zullen dalen. Vandaar wordt er voor beide parameters een driehoeksverdeling gekozen waarbij de maximale prijs samenvalt met de gemiddelde prijs. Voor de batterij bedraagt de gemiddelde, en dus ook de maximale, leasekost 0,0984 euro per kilometer, terwijl de gemiddelde en tevens de maximale aanschafkost van een elektrische wagen oploopt tot 26.620 euro. De minima van de verdelingen aangaande de kost van de batterij en de elektrische wagen komen overeen met een reductie van respectievelijk 25 en 10 procent op de gemiddelde waarden. Dergelijke prijsverminderingen zijn aannemelijk vermits er voor de batterijkosten zelfs sterkere dalingen worden voorspeld op korte termijn, zoals reeds werd afgeleid uit figuur 3.1. Voor de elektrische wagen kan worden aangenomen dat deze nog in zijn kinderschoenen staat. Een stijgende vraag naar elektrische wagens zal, omwille van leerprocessen en schaalvoordelen, waarschijnlijk leiden tot een prijsdaling. Tot slot worden er ook kansverdelingen opgenomen voor de energieprijzen. Hier wordt geopteerd voor eenzelfde verdeling als bij het aantal jaarlijks afgelegde kilometer, waarbij het minimum en maximum respectievelijk 15 procent minder en 15 procent meer bedraagt dan het gemiddelde. De gemiddelde waarden voor de benzine-, de diesel- en de elektriciteitsprijzen komen overeen met de standaardparameters uit tabel 5.2. Hierbij kan worden opgemerkt dat er een verband bestaat tussen de verschillende energieprijzen. Indien er wordt gekeken over een periode van acht jaar (2000-2007), kan er worden vastgesteld dat de correlatie tussen de benzine- en de dieselprijs 0,99 bedraagt. Daarnaast is de elektriciteitsprijs eveneens gecorreleerd met zowel de benzine- als de dieselprijs. Deze waarden komen overeen met respectievelijk 0,82 en 0,80.^{295, 296} De grootte van de correlaties tonen aan dat het verband tussen de benzine- en de dieselprijs zeer sterk is. De relaties van de benzine- en de dieselprijs met de elektriciteitsprijs zijn minder uitgesproken, maar nog altijd hoog. Teneinde een vertekend beeld te vermijden, moeten deze correlaties in rekening worden gebracht bij de Monte Carlo simulaties. Immers, indien een hoge benzineprijs wordt getrokken, is het aannemelijk dat er ook een hoge diesel- en elektriciteitsprijs wordt genomen.

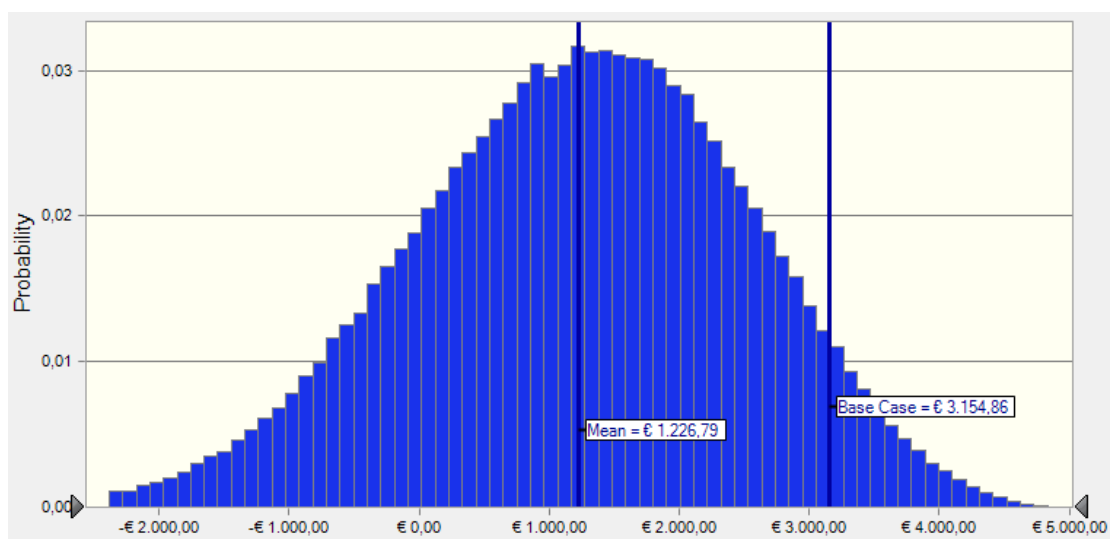
De Monte Carlo simulaties van de verdisconteerde private kosten met betrekking tot de elektrische wagen ten opzichte van zowel de benzine- als de dieselwagen werden gelijktijdig uitgevoerd opdat

²⁹⁵ FOD Economie, 2012, *De energiemarkt in 2008*: p50. Opgevraagd op 25 februari, 2012.
http://statbel.fgov.be/nl/binaries/energiemarkt_2008_tcm325-112137.pdf

²⁹⁶ Belgische Petroleum Federatie (BPF), 2012, *Evolutie van de maximumprijzen van brandstoffen in België: Jaarlijkse gemiddelden*. Opgevraagd op 25 februari, 2012.
http://www.petrolfed.be/dutch/cijfers/evolutie_maximumprijzen.htm

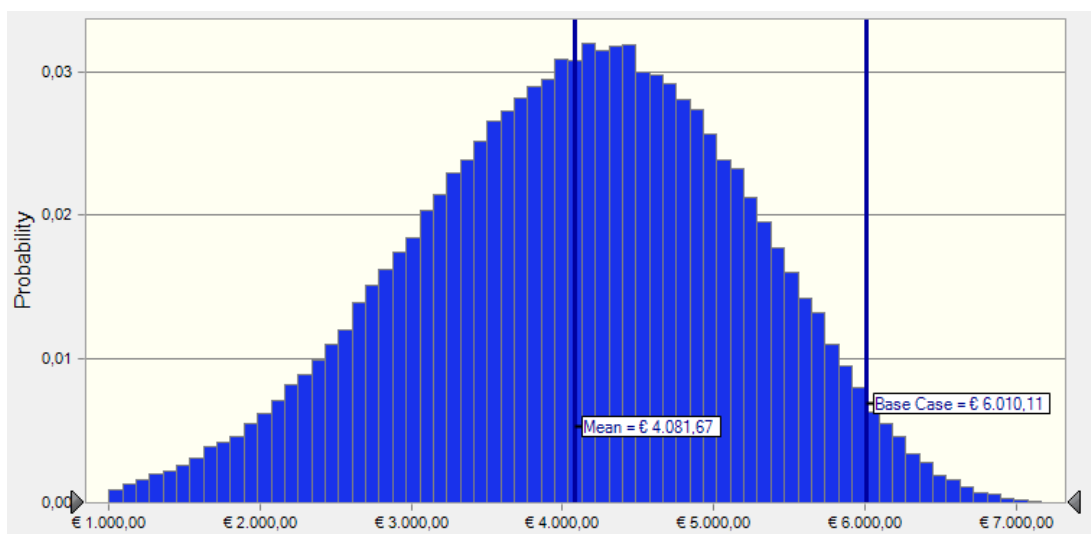
de parameters van de elektrische wagen in beide simulaties dezelfde waarden zouden aannemen. Er werden 200.000 deeltesten per simulatie uitgevoerd teneinde de betrouwbaarheid van het bekomen resultaat te garanderen. De kansverdelingen van de vereiste belastingvermindering op de elektrische wagen in vergelijking met de benzine- en de dieselwagen worden getoond in respectievelijk figuur 5.10 en 5.11. In deze figuren wordt de belastingvermindering, die vereist is om de private kosten van een elektrische wagen onder deze van de conventionele wagen te laten dalen, getoond op de x-as. Negatieve waarden komen overeen met gebeurtenissen waarbij de elektrische wagen reeds voordeliger is dan de conventionele. De kans op het voorkomen van een bepaald resultaat bij het uitvoeren van de deeltesten wordt weergegeven op de y-as.

Figuur 5.10: Kansverdeling van de vereiste belastingvermindering op de elektrische wagen ten opzichte van de benzinewagen



Bron: Eigen verwerking.

Figuur 5.11: Kansverdeling van de vereiste belastingvermindering op de elektrische wagen ten opzichte van de dieselwagen



Bron: Eigen verwerking.

Uit bovenstaande figuren kan worden afgeleid dat, zoals reeds werd aangetoond, over het algemeen de dieselwagen voordeliger zal uitvallen dan de benzinewagen. Vandaar wordt enkel gekeken naar figuur 5.11 voor het bepalen van de optimale belastingvermindering op de elektrische wagen. Immers, indien het fiscaal voordeel wordt berekend op basis van figuur 5.10, zal de dieselwagen nog steeds voordeliger zijn dan de elektrische tegenhanger. Bijgevolg zal de consument eerder geneigd zijn om zich een dieselwagen aan te schaffen. Zodoende zal er enkel worden gefocust op de belangrijkste karakteristieken van figuur 5.10, nadat de resultaten van figuur 5.11 worden besproken.

In figuur 5.11 wordt de optimale totale belastingvermindering, oftewel de som van het fiscaal voordeel op de elektrische wagen en de thuislaadinfrastructuur, berekend op basis van de standaardparameters. Deze optimale belastingvermindering wordt aangegeven met *Base Case* (6.010,11 euro). Bij de Monte Carlo simulatie wordt in elke deelttest een willekeurige waarde uit de kansverdeling van de vier parameters getrokken. Op deze manier worden er resultaten gegenereerd tussen de -510,03 en de 7.631,39 euro. In slechts 0,005 procent van de gevallen wordt er een negatief resultaat bekomen en is de elektrische wagen zonder belastingvermindering voordeliger dan de dieselwagen. De mediaan, oftewel de middelste waarneming uit de verdeling, bedraagt 4.138,41 euro. Het gemiddelde komt overeen met 4.081,67 euro. Vermits het gemiddelde niet sterk afwijkt van de mediaan, wordt een symmetrische verdeling bekomen. Dit kan ook worden afgeleid uit de scheefheid (*skewness*) van de verdeling. De kurtosis toont aan dat de verdeling een sterkere piek vertoont in vergelijking met de normale verdeling. De standaardafwijking geeft een indicatie van de spreiding van een verdeling en bedraagt hier 1.101,15 euro. Dit betekent dat ongeveer 68 procent van de deelttesten zich binnen deze afstand van het gemiddelde bevinden, vermits de verdeling symmetrisch is.²⁹⁷ Voorgaande eigenschappen van figuur 5.11 worden samengevat in tabel 5.10.

Tabel 5.10: Statistische gegevens van figuur 5.11

	Statistic	Forecast values
►	Trials	200.000
	Base Case	€ 6.010,11
	Mean	€ 4.081,67
	Median	€ 4.138,41
	Mode	---
	Standard Deviation	€ 1.101,15
	Variance	€ 1.212.529,75
	Skewness	-0,2472
	Kurtosis	2,80
	Coeff. of Variability	0,2698
	Minimum	-€ 510,03
	Maximum	€ 7.631,39
	Mean Std. Error	€ 2,46

Bron: Eigen verwerking.

²⁹⁷ McClave, J. T., Benson, P. G., & Sincich T., 2005, *Statistiek: Een inleiding voor het hoger onderwijs*, Betekenis van de standaardafwijking (Smitt, P., Vertaling). Amsterdam: Pearson Education. (Oorspronkelijk verschenen in het Engels in 1993): p49.

De Monte Carlo simulatie uit figuur 5.10 heeft een gemiddelde van 1.226,76 euro, terwijl de *Base Case*, die werd opgesteld aan de hand van de standaardparameters, 3.154,86 euro bedraagt. Aldus, indien een totale belastingvermindering op de elektrische wagen van 1.226,76 euro wordt verleend, zal deze wagen over een periode van tien jaar, gemiddeld genomen, voordeliger uitvallen dan de benzinewagen. Verder bedraagt de mediaan 1.276,98 euro. Ook hier kan worden besloten dat de verdeling symmetrisch is. De standaardafwijking van deze verdeling komt overeen met 1.288,42 euro. Andere statistische gegevens van deze verdeling zijn terug te vinden in bijlage C.

Uit voorgaande kan aldus worden besloten dat, gemiddeld genomen, een totale belastingvermindering van 4.081,67 euro volstaat om de consument te prikkelen een elektrische wagen te kiezen boven zowel de benzine- als de dieselwagen. Dit bedrag is beduidend lager dan de optimale belastingvermindering die werd bekomen aan de hand van de standaardparameters, dewelke enkel betrekking hebben op gemiddelde waarden. Indien de overheid een grotere zekerheid wil omtrent de stimulans van de elektrische wagen, zal ze een hogere belastingvermindering moeten verlenen. In figuur 5.11 komt het negentigste percentiel overeen met 5.475,36 euro. De overige percentielen van de verdelingen uit figuur 5.10 en 5.11 zijn eveneens terug te vinden in bijlage C. Indien de overheid een totale belastingvermindering van 5.475,36 euro op de elektrische wagen toekent, zullen de verdisconteerde private kosten van de elektrische wagen, met negentig procent zekerheid, dalen onder deze van de conventionele wagens. Deze belastingvermindering kan dan uitgesplitst worden in een fiscaal voordeel van 250 en 5.225,36 euro op respectievelijk de thuislaadinfrastructuur en de elektrische wagen. Indien een dergelijke belastingvermindering op de aanschaf van een elektrische wagen wordt toegekend, zullen de verdisconteerde netto overheidskosten nog dalen ten opzichte van de toekenning van de optimale belastingvermindering die werd bekomen aan de hand van de standaardparameters (5.760,11 euro). Deze daling van de overheidskosten wordt weergegeven in tabel 5.11.

Tabel 5.11: Verdisconteerde netto overheidskost over vijf jaar in euro
(belastingvermindering op de elektrische wagen met een geleasede batterij)

Percentage elektrische wagens van de totaal nieuw verkochte wagens	1%	2%	3%	4%	5%	6%	7%
Belastingvermindering op de aanschaf van een elektrische wagen: € 5.760,11	98.187.074	196.374.148	294.561.223	392.748.297	490.935.371	589.122.445	687.309.519
Belastingvermindering op de aanschaf van een elektrische wagen: € 5.225,36	91.398.355	182.796.711	274.195.066	365.593.421	456.991.777	548.390.132	639.788.487

Bron: Eigen verwerking.

Tot slot kan worden opgemerkt dat de variantie in beide Monte Carlo simulaties kan worden verklaard aan de hand van de parameters waarvoor een kansverdeling werd opgesteld. Crystal Ball bepaalt de bijdrage van de verschillende parameters tot de variantie aan de hand van de rangcorrelatiecoëfficiënt. Deze maatstaf gaat na in welke mate de rangorde van een bepaalde parameter overeenstemt met de rangorde van het gezochte resultaat. Met andere woorden, de deeltesten worden gerangschikt op basis van zowel de parameter als het gezochte resultaat.

Daarna wordt er gekeken naar de mate waarin beide rangschikkingen van deeltesten dezelfde volgorde aannemen. De rangcorrelatiecoëfficiënten van de verschillende parameters worden dan uitgedrukt in relatieve termen waarvan de som honderd procent bedraagt. Dergelijke methode is ertoe in staat een benadering te geven, maar het is geen precieze variantiedecompositie. Bovendien kan er een vertekend beeld optreden wanneer sommige parameters gecorreleerd zijn. Dit doet zich voor bij de energieprijzen. Echter, wanneer deze correlaties buiten beschouwing worden gelaten tijdens de simulaties, heeft dit geen invloed op de bijdrage van de verschillende parameters tot de variantie. De correlaties zorgen in dit geval aldus niet voor een vertekend beeld van de bekomen resultaten met betrekking tot de variantie van de simulaties.²⁹⁸

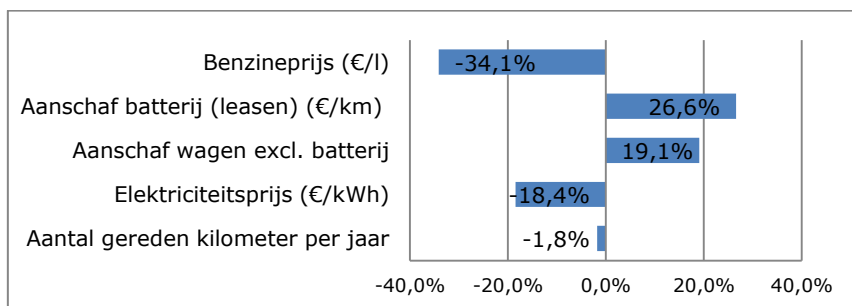
Figuur 5.12 en 5.13 geven een verklaring van de variantie met betrekking tot de vereiste belastingvermindering op de elektrische wagen ten opzichte van respectievelijk de benzine- en de dieselwagen. De verklarende parameters kunnen zowel positief als negatief gecorreleerd zijn met het gezochte resultaat. Dit wordt in onderstaande figuren aangegeven met respectievelijk een positief en een negatief teken. Een stijging van de parameterwaarde met een negatieve (positieve) correlatie is in het voordeel (nadeel) van de elektrische wagen. Een daling van de verklarende parameters met een negatieve (positieve) correlatie gaat aldus gepaard met een nadeel (voordeel) voor de elektrische wagen. De variantie van de Monte Carlo simulatie aangaande de vereiste belastingvermindering op de elektrische wagen ten opzichte van de benzinewagen (figuur 5.10) wordt voor het grootste deel verklaard door de benzineprijs, namelijk 34,1 procent. De leasekosten van de batterij en de aanschafprijs van de elektrische wagen zijn verantwoordelijk voor respectievelijk 26,6 en 19,1 procent van de variantie. De elektriciteitsprijs heeft ook een behoorlijke invloed (18,4 procent), terwijl deze van het jaarlijks aantal gereden kilometer gering blijft (1,8 procent). De variantie van de Monte Carlo simulatie uit figuur 5.11 wordt vooral veroorzaakt door de leasekosten van de batterij (42,1 procent) en de aanschafkost van de elektrische wagen (30,1 procent). Samen verklaren deze parameters ruim 72 procent van de variantie. De diesel- en elektriciteitsprijs verklaren respectievelijk 18,8 en 7,8 procent. Het aantal jaarlijks gereden kilometer daarentegen heeft opnieuw een zeer beperkte invloed (1,2 procent).

De variantiebijdragen van de verschillende parameters worden voor elke simulatie uitgedrukt in relatieve termen. Bijgevolg kunnen de twee simulaties enkel worden vergeleken aan de hand van de onderlinge verhoudingen waarin de verschillende parameters bijdragen tot de variantie van een bepaalde simulatie. Op deze manier kan worden vastgesteld dat de benzineprijs de grootste invloed heeft op de variantie van de eerste simulatie (figuur 5.10). Deze parameter verklaart immers 34,1 procent van de variantie in deze simulatie. In de tweede simulatie (figuur 5.11) is de dieselprijs slechts verantwoordelijk voor 18,8 procent van de variantie, waardoor deze parameter zich pas op de derde plaats van de verklarende variabelen bevindt. Een mogelijke verklaring hiervoor is dat de benzineprijs beduidend meer bedraagt dan de dieselprijs. Bijgevolg zal eenzelfde relatieve prijsverandering een groter absoluut effect hebben op de benzineprijs dan op de dieselprijs. Bovendien wordt dit effect in de simulaties versterkt, aangezien een benzinewagen meer verbruikt dan een dieselwagen. Daarnaast heeft het jaarlijks aantal gereden kilometer

²⁹⁸ Oracle, 2004, *Crystal Ball User Manual: Understanding sensitivity and using the sensitivity chart*: p207-213.

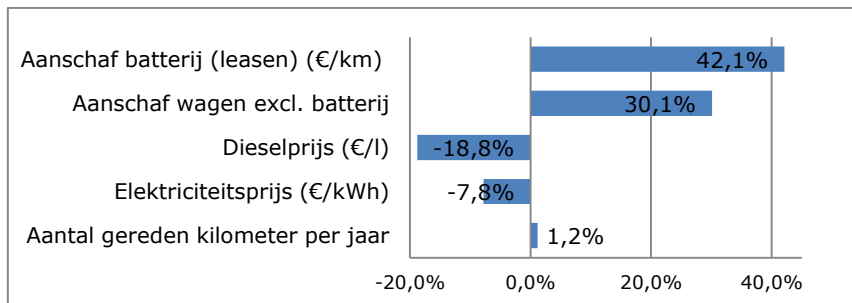
nauwelijks invloed op de variantie van beide simulaties. Dit is wellicht te wijten aan het feit dat enkel het verschil in verdisconteerde kosten tussen de elektrische en een conventionele wagen in de simulaties wordt voorgesteld. Het aantal gereden kilometer is immers van toepassing op elk wagentype, terwijl de overige variantieverklarende parameters van invloed zijn op één bepaald wagentype. Indien enkel het aantal gereden kilometer wijzigt, zullen de kosten van de elektrische en de conventionele wagens aldus in dezelfde richting bewegen. Bovendien varieert het aantal gereden kilometer in deze simulaties enkel binnen een afstand van vijftien procent van het gemiddelde (13.311 - 18.009 kilometer). Bijgevolg heeft het aantal gereden kilometer weinig invloed op het verschil in kosten tussen de elektrische wagen en de conventionele wagens.

Figuur 5.12: Bijdrage van de verschillende parameters tot de variantie van figuur 5.10



Bron: Eigen verwerking.

Figuur 5.13: Bijdrage van de verschillende parameters tot de variantie van figuur 5.11



Bron: Eigen verwerking.

5.4 Besluit

Er kan worden vastgesteld dat de optimale belastingvermindering op de aanschaf van de elektrische wagen met een geleasede batterij, die werd berekend met behulp van de Monte Carlo simulatie (90 procent zekerheid), nog altijd zeer hoge overheidskosten met zich meebrengt. Immers, wanneer dit optimaal totaal fiscaal voordeel (5.475,36 euro) wordt toegekend, zullen de eenmalige netto operationele overheidskosten 5.058,87 euro bedragen. De jaarlijkse operationele overheidskosten, die ontstaan door de overschakeling van de conventionele naar de elektrische wagen, zullen daarentegen oplopen tot 761,99 euro. Deze bedragen werden afgeleid uit tabel 4.16, waarbij enkel de belastingvermindering op de elektrische wagen bij een geleasede batterij (7.986

euro) werd vervangen door het optimaal fiscaal voordeel (5.225,36 euro). Er kan besloten worden dat de eenmalige netto operationele overheidskosten die gepaard gaan met de optimale belastingvermindering minder bedragen dan de toegestane belastingvermindering zelf, terwijl de jaarlijkse overheidskosten per elektrische wagen aanzienlijk oplopen. Nochtans zijn, bij de optimale belastingvermindering, de marginaal verdisconteerde private kosten van de elektrische en de meest voordelige conventionele wagen, namelijk de dieselwagen, gelijk. Dit wil zeggen dat de laatste elektrische wagen waaraan een fiscaal voordeel wordt toegekend dezelfde verdisconteerde private kosten vertoont dan de meest voordelige conventionele wagen. Er treden aldus financiële transfers op tussen de overheid en derde partijen. Om de maatschappelijke relevantie na te gaan, moet bijgevolg de optimale belastingvermindering enkel worden vergeleken met de netto vermeden externe schadekosten van uitstoot, gerealiseerd door de overschakeling van een conventionele naar de elektrische wagen. Met behulp van een totale belastingvermindering van 5.475,36 euro, zou er een jaarlijkse netto besparing van slechts 99,85 euro met betrekking tot de externe schadekosten kunnen worden gerealiseerd. Over een periode van tien jaar bedraagt deze externe baat 809,87 euro. Zodoende is het vanuit maatschappelijk oogpunt niet verantwoord een dergelijke belastingvermindering toe te kennen op de aanschaf van een elektrische wagen en een thuislaadinfrastructuur, teneinde de aanschaf van een dergelijke wagen te stimuleren. Kortom, de jaarlijks vermeden externe kosten zullen niet opwegen tegen de belastingvermindering ten laste van de overheid. Anders gesteld, opdat de toekenning van een fiscaal voordeel maatschappelijk wenselijk zou zijn, is het noodzakelijk dat de toenemende private kosten minder bedragen dan de netto externe baten die gepaard gaan met de overschakeling van de conventionele naar de elektrische wagen. Dit zou dan een netto maatschappelijke baat met zich meebrengen. Aan deze voorwaarde wordt echter niet voldaan. Immers, de verdisconteerde externe baten komen overeen met 809,87 euro. Vanuit maatschappelijk oogpunt zou dit dan tevens de maximale belastingvermindering mogen uitmaken. Een dergelijk fiscaal voordeel zal evenwel niet toereikend zijn om de verdisconteerde private kosten van de elektrische wagen te laten dalen onder deze van de conventionele wagens. Uit voorgaande kan worden besloten dat op huidig ogenblik, gezien de hoge private kosten en de beperkte externe baten van een elektrische wagen, een overschakeling van de conventionele naar de elektrische wagen maatschappelijk niet wenselijk is.

Hoofdstuk VI: Conclusies

De conventionele personenwagen is medeverantwoordelijk voor de opwarming van de aarde. Dergelijke wagens veroorzaken immers tien procent van de gehele Belgische CO₂-uitstoot. Omwille van het aangroeiende wagenpark en het stijgend aantal gereden kilometer kende de totale CO₂-emissies van personenwagens gedurende de jaren negentig een sterke stijging. Vanaf 2000 zorgden milieuvriendelijkere verbrandingsmotoren voor een compensatie-effect. Echter, de grootte van het voertuigenpark en het aantal afgelegde kilometer bleven gestaag stijgen, waardoor er veeleer een stabilisatie, in plaats van een daling, optreedt in de totale CO₂-uitstoot van personenwagens. Een reductie zou vanzelfsprekend een gunstiger maatschappelijk effect met zich meebrengen. Dit is enkel realiseerbaar door te focussen op nieuwe en innovatieve emissiereducerende technieken. Het gebruik van een elektrische wagen zonder enige uitstoot tijdens het rijden biedt een mogelijke oplossing voor de CO₂-problematiek. Dit zou eveneens voordelen op vlak van gezondheid opleveren, aangezien ook andere schadelijke emissies, waaronder fijn stof, kunnen dalen.

Met het oog op de uitstootreductie van schadelijke stoffen werd in het tweede hoofdstuk de eerste deelvraag beantwoord, namelijk:

'Wat is de werking van een elektrische wagen en hoe verschilt deze van andere alternatieven?'

Met deze deelvraag werd getracht te achterhalen welk soort motor het meest milieuvriendelijk is. Doorgaans worden enkel verbrandingsmotoren gebruikt voor de aandrijving van een wagen. Dit is een overkoepelende term voor de vonkontstekings- en de compressieontstekingsmotor. Daarnaast is het eveneens mogelijk een wagen aan te drijven met behulp van een elektromotor. Voorts kan deze motor in combinatie met een verbrandingsmotor voorkomen in een hybride wagen. Bij de werking van de verschillende motoren werd vastgesteld dat de elektromotor, in tegenstelling tot de verbrandingsmotoren, een wagen kan aandrijven zonder enige uitstoot te produceren tijdens het rijden. Bovendien is deze motor ook het meest efficiënt, aangezien hij tot 95 procent van de elektrische energie kan omzetten in mechanische energie voor het voortbewegen van een wagen. Een verbrandingsmotor daarentegen heeft slechts een efficiëntieniveau van maximaal veertig procent.

Verder werden ook de karakteristieken van verscheidene energiebronnen voor de aandrijving van een wagen beschreven. De meeste energiebronnen zijn van toepassing in verbrandingsmotoren, terwijl enkel elektriciteit en waterstof een elektromotor kunnen aandrijven. Elektriciteit kan worden opgeslagen in een batterij. Waterstof daarentegen doet dienst als intermediaire stof. Het wordt immers gecreëerd met behulp van elektrolyse van water, waarvoor elektriciteit wordt aangewend. Vervolgens kan waterstof, opgeslagen in de wagen, elektriciteit opwekken om zo de elektromotor aan te drijven. Indien de karakteristieken van de verschillende energiebronnen worden afgewogen tegen deze van de ideale energiebron, kan worden vastgesteld dat een ideale energiebron gewoonweg niet bestaat. Echter, waterstof en elektriciteit zijn ertoe in staat een wagen voort te

bewegen zonder enige schadelijke uitstoot. Wel dient te worden aangehaald dat in beide gevallen elektriciteit moet worden opgewekt. Indien dit gebeurt met behulp van de huidige energiemix, zal het opwekken van energie gepaard gaan met schadelijke emissies. Wanneer hernieuwbare energiebronnen worden aangewend voor de elektriciteitsproductie, kunnen deze negatieve effecten grotendeels worden vermeden. Om de verschillende energiebronnen tegen elkaar af te wegen moet dus steeds rekening worden gehouden met de volledige levenscyclus van de aangewende energiebron met betrekking tot de uitstoot van schadelijke stoffen.

Tot slot werd er onderzocht welke de meest energie-efficiënte combinatie van motor en energiebron is. Vermits de elektromotor veel efficiënter functioneert dan de verbrandingsmotor, werd er enkel een afweging gemaakt tussen elektriciteit opgeslagen in een batterij en waterstof voor de aandrijving van de elektromotor. Rekening houdend met het efficiëntiepad, lopend van de oorspronkelijke energiebron tot de aandrijving van de wielen, is het voordeliger gebruik te maken van batterijen in plaats van waterstof. In zijn geheel moet er bij een batterijwagen immers zestig procent minder energie worden opgewekt dan bij een brandstofcelwagen die waterstof verbruikt. Op basis hiervan werd de batterijwagen verkozen voor de verdere uitwerking van de masterproef.

In het derde hoofdstuk werd vervolgens de huidige situatie omtrent de elektrische batterijwagen geschetst, waarmee een antwoord werd geformuleerd op de tweede deelvraag:

'Wat is de bestaande situatie met betrekking tot het gebruik van de elektrische wagen?'

Een groot deel van de aandacht ging in dit hoofdstuk uit naar de batterijtechnologie, aangezien de batterij een essentieel onderdeel van de elektrische wagen uitmaakt. Om te bepalen welke batterij het meest geschikt is voor de elektrische wagen, werden verschillende batterijsoorten met elkaar vergeleken. De belangrijkste eigenschappen waartoe een goede batterij moet bijdragen zijn enerzijds een aanvaardbare autonomie en anderzijds het benaderen van de rijprestaties van een conventionele wagen. De gemiddelde autonomie van een elektrische wagen bedraagt momenteel slechts 150 kilometer. De rijprestaties van de conventionele wagen daarentegen worden behoorlijk geëvenaard. Uit de batterijvergelijking blijkt dat de lithium-ion batterij momenteel het meest geschikt is voor energieopslag in een elektrische wagen. De prijzen van batterijen met een gemiddelde capaciteit situeren zich, afhankelijk van de toegepaste technologie, momenteel tussen 15.000 en 40.000 euro. Er wordt echter voorspeld dat deze kosten tegen 2050, omwille van verbeterde technologieën en schaalvoordelen, zullen dalen tot onder 5.000 euro. De overstap van de conventionele naar de elektrische wagen zal resulteren in een minder grote afhankelijkheid van fossiele brandstoffen. Het brengt wel met zich mee dat we afhankelijker worden van andere materialen, zoals lithium voor de batterijproductie. Echter, de milieu-impact van de lithium-ion batterij is beperkt, aangezien de winning van de grondstof op een eenvoudige en milieuvriendelijke wijze kan verlopen. Bovendien bevat een dergelijke batterij geen toxische stoffen of zware metalen en is het mogelijk de batterij voor meer dan negentig procent te recyclen. Volgens een studie van het Duitse Fraunhofer-instituut is de lithiumvoorraad zeker voldoende tot 2050. Indien tegen die tijd het wagenpark voor 85 procent uit elektrische wagens zou bestaan, zou de helft van de globale voorraad wel reeds zijn opgebruikt.

Verder werden in hoofdstuk drie ook de verschillende oplaadmogelijkheden van de elektrische wagen besproken. De conductielading is momenteel het meest gehanteerde alternatief. Hierbij wordt de elektrische wagen verbonden met een stopcontact of een oplaadpaal door middel van een oplaadkabel. De oplaadsnelheid is afhankelijk van de spanning, de stroomsterkte en de energiecapaciteit van de batterij. Gebruikmakend van een huishoudelijk stopcontact neemt het opladen van een batterij met een standaardcapaciteit zes tot acht uur in beslag. Oplaadpalen met hoge vermogens daarentegen zijn ertoe in staat een batterij voor tachtig procent op te laden binnen een tijdspanne van een half uur. De overige twintig procent zal gecontroleerd moeten verlopen, aangezien de batterij bij zulke oplaadsnelheden vlug opwarmt. Bijgevolg zal een volledige oplaadbeurt minstens een uur duren met behulp van deze snelle methodes. Aangezien het opladen van elektrische wagens vaak gepaard gaat met spanningen en stroomsterktes die dodelijk kunnen zijn, wordt dit proces gestandaardiseerd door de International Electrotechnical Commission (IEC). Hoe hoger de oplaadsnelheid, hoe strenger de vooropgestelde veiligheidsvoorschriften. Indien de conductielading wordt toegepast, zal de uitbreiding van het elektrisch wagenpark tot gevolg hebben dat de infrastructuur een grote aanpassing moet ondergaan. Zo dienen er bij een grootschalige introductie van de elektrische wagen naar schatting 1,6 oplaadpalen per wagen te zijn, aangezien de autonomie van dergelijke wagens gemiddeld slechts 150 kilometer bedraagt. Eind januari 2012 bestond het Belgische voertuigenpark uit 365 elektrische personenwagens, terwijl er slechts 93 oplaadpalen publiek beschikbaar waren. Een tweede oplaadmethode is de inductielading. Deze methode stelt een wagen ertoe in staat draadloos op te laden. Flanders' DRIVE voert momenteel onderzoek naar het al rijdend opladen met behulp van inductie. Ten derde kan een (bijna) lege batterij worden vervangen door een vol exemplaar in een wisselstation. Dit vereist echter een hoge mate van standaardisatie en dus een nauwe samenwerking tussen de auto- en batterijproducenten. Tot slot kan een elektrische wagen ook een gedeelte van zijn energie zelf opwekken met behulp van het regeneratief remmen.

De uitbreiding van het elektrisch wagenpark brengt een toenemende vraag naar elektriciteit met zich mee. Doorgaans wordt er verondersteld dat de elektriciteitsprijs hierdoor een forse stijging zal kennen. Uit een studie van de Commissie voor de Regulering van de Elektriciteit en het Gas (CREG) blijkt dit echter niet noodzakelijk zo te zijn. Deze studie is weliswaar gebaseerd op de installatie van een *Smart Grid*. Een dergelijk netwerk stelt elektrische wagens niet enkel in staat om op te laden, maar ook te ontladen waardoor elektriciteit kan worden teruggegeven aan het elektriciteitsnet. Op de ogenblikken dat er een overproductie aan stroom plaatsvindt, kan de teveel geproduceerde hoeveelheid worden opgeslagen op de batterijen van de wagens. Tijdens piekvragen naar elektriciteit kunnen de wagens dan weer een gedeelte van hun opgeslagen energie teruggeven aan het netwerk. Dit leidt tot een stabielere elektriciteitsproductie. Bijgevolg kunnen piekproducties, die duurder en meer vervuילend zijn, grotendeels worden vermeden. Echter, de kostprijs van een slim netwerk ligt zeer hoog. Enkel de installatie in Vlaanderen zou reeds een kost van 4,5 miljard euro met zich meebrengen.

Tot slot werd in hoofdstuk drie de 20-20-20 doelstelling van de Europese Unie beschreven. De introductie van de elektrische wagen blijkt voor verschillende Europese landen een aantrekkelijk initiatief dat kan bijdragen tot de realisatie van deze EU-doelstelling. Vandaar hebben een aantal

Europese landen concrete doelstellingen vooropgesteld omtrent de elektrische wagen. België daarentegen heeft zulke intenties nog niet geformuleerd, maar er wordt wel onderzoek gevoerd naar de elektrische wagen in vijf proeftuinplatformen, elk met hun eigen doelstellingen. Daarnaast is er nog een afzonderlijk Vlaams Smart Grid Platform opgericht. Bijkomend kan nog worden opgemerkt dat, volgens de International Consultancy Group, tegen 2020 ongeveer zeven procent van de nieuw verkochte wagens in België elektrische exemplaren zullen zijn.

Rekening houdend met de huidige fiscale regelgeving, werd er, gespreid over hoofdstuk vier en vijf, met behulp van een kostenvergelijking tussen de elektrische en de twee conventionele wagens een antwoord gegeven op de volgende deelvraag:

'Wat zijn de kosten en baten van een elektrische wagen voor de maatschappij in haar geheel?'

In hoofdstuk vier werden de private kosten besproken. Voor ieder wagentype werden deze kosten opgesplitst in eenmalige en jaarlijkse categorieën. Vermits de totale private kosten van de elektrische wagen afhankelijk zijn van het leasen of kopen van een batterij, is het onmogelijk om een eenduidige netto private kost of baat van de elektrische wagen weer te geven. Daarnaast werden in hoofdstuk vier eveneens de externe kosten en baten vastgesteld. De elektrische wagen brengt een positief extern effect met zich mee, aangezien deze wagen, in tegenstelling tot de conventionele wagens, geen enkele uitstoot vertoont tijdens het rijden. Wel moet er worden opgemerkt dat bij het opwekken van de benodigde elektriciteit een beperkte externe schadekost optreedt. Er moet aldus rekening worden gehouden met de volledige levenscyclus van de aangewende energiebron met betrekking tot de externe schadekosten. Er werd afgeleid dat de netto externe baat van een elektrische wagen jaarlijks 99,85 euro bedraagt. Deze positieve, weliswaar beperkte, externaliteit leidt tot een marktfaling, waardoor een overheidstussenkomst vereist is. Dergelijke overheidstussenkomst gaat op zijn beurt gepaard met een derde kostensoort, namelijk de overheidskosten. De operationele kosten vormen hiertoe de belangrijkste component. Immers, op basis van de huidige wetgeving wordt een belastingvermindering verleend op zowel de elektrische wagen als de thuislaadinfrastructuur. Deze fiscale voordelen bedragen respectievelijk dertig procent (max. 9.190 euro) en veertig procent (max. 250 euro) op de aanschafprijs. De eenmalige en jaarlijkse overheidskosten die hiermee gepaard gaan zijn eveneens afhankelijk van het kopen of leasen van de batterij.

Nadat in het vierde hoofdstuk de standaardparameters van de drie kostensoorten per wagentype werden vastgesteld, werden in het daaropvolgende hoofdstuk de verschillende kostensoorten van elk wagentype doorheen de tijd berekend. Onder de elektrische wagen werden hiervoor vier varianten opgesteld. Allereerst werd namelijk een onderscheid gemaakt tussen een gekochte en een geleasede batterij en bijkomend werd onder beide alternatieven een opsplitsing gemaakt tussen het al dan niet gebruik maken van de huidige belastingvermindering. Elke elektrische variant werd vergeleken met zowel de benzine- als de dieselwagen. Zodoende kan er worden vastgesteld hoeveel het fiscaal voordeel minstens moet bedragen alvorens een elektrische wagen voordeliger wordt dan een conventionele. Er dient wel te worden opgemerkt dat de berekeningen hieromtrent zijn gebaseerd op gemiddelde waarden.

De private kosten worden geanalyseerd over een tienjarige periode. Uitgaande van de standaardparameters kan besloten worden dat de elektrische wagen, enkel ingeval het huidige fiscaal voordeel wordt toegekend en de batterij wordt geleased, minder kosten met zich meebrengt dan beide conventionele wagens. De overige elektrische alternatieven zijn, gespreid over tien jaar, minder voordelig dan de conventionele tegenhangers. Echter, er bestaat geen zekerheid omtrent de standaardparameters, aangezien deze slechts gebaseerd zijn op gemiddelde waarden. Vandaar is het aangewezen een aantal partiële sensitiviteitsanalyses uit te voeren. Dergelijke analyses werden toegepast op het aantal afgelegde kilometer per jaar, de batterijkosten, de aanschafkost van de elektrische wagen en de energieprijzen. Zodoende is het mogelijk de invloed van deze vier parameters, ceteris paribus, na te gaan en te kijken vanaf welke parameterwaarden de elektrische wagen lagere kosten vertoont dan zowel de benzine- als de dieselwagen. Een rationele consument zal immers altijd kiezen voor het meest voordelige alternatief. De elektrische wagen met een geleasede batterij blijkt in alle analyses voordeliger te zijn dan wanneer de batterij wordt gekocht. Daar de optimale belastingvermindering op de elektrische wagen dadelijk wordt besproken, wordt hier enkel de elektrische wagen met een geleasede batterij exclusief fiscaal voordeel vergeleken met de voordeligste conventionele wagen. Dit zal hoogstwaarschijnlijk de dieselwagen zijn, aangezien deze in vrijwel iedere situatie lagere kosten kent dan de benzinewagen. Uit de partiële sensitiviteitsanalyses met betrekking tot het jaarlijks aantal gereden kilometer, blijkt dat deze parameter er niet voor kan zorgen dat de elektrische wagen zonder belastingvermindering voordeliger wordt dan de dieselwagen. Immers, hoe meer kilometer er wordt afgelegd, hoe voordeliger de dieselwagen wordt ten opzichte van de elektrische variant. De sensitiviteitsanalyses toegepast op de batterijkosten en de aanschafkosten van de elektrische wagen geven aan dat deze moeten dalen met respectievelijk 48 en 23 procent alvorens de elektrische wagen exclusief fiscaal voordeel lagere kosten vertoont dan de dieselwagen. De analyse uitgevoerd op de energieprijzen toont aan dat slechts ingeval alle energieprijzen een stijging van 82 procent kennen, de elektrische wagen zonder fiscaal voordeel aantrekkelijker zal zijn dan de dieselwagen. Daarnaast werd ook een sensitiviteitsanalyse uitgevoerd met betrekking tot de belastingvermindering op de elektrische wagen. De bevindingen zullen worden besproken onder de laatste deelvraag.

Wanneer de externe kosten van de verschillende wagentypes worden toegevoegd aan de private kosten bekomt men de maatschappelijke kosten. Er kan worden besloten dat deze externe kosten slechts een beperkte impact hebben op de totale maatschappelijke kosten. Immers, gespreid over tien jaar zal de elektrische wagen een externe baat van 809,87 euro hebben ten opzichte van de conventionele wagens, op voorwaarde dat het jaarlijks gemiddeld aantal kilometer (15.660) wordt afgelegd. Bovendien zal een gelijktijdige onder- en overschatting, ter hoogte van 50 procent, van de externe kosten omtrent de uitstoot van respectievelijk de conventionele wagen en de bijkomende elektriciteitsproductie (en vice versa), een geringe invloed hebben op de verdisconteerde maatschappelijke kosten. Wel moet worden opgemerkt dat de externe kosten afhankelijk zijn van het aantal afgelegde kilometer. Bij de conventionele wagen wegen de kosten per kilometer zwaarder door dan bij de elektrische variant. Naarmate er jaarlijks meer kilometer wordt afgelegd, zal het verschil tussen beide externe schadekosten aldus groter worden. Met andere woorden, het aantal jaarlijks gereden kilometer heeft, in vergelijking met de overige parameters, een relatief grote invloed op de totale maatschappelijke kosten.

Onder de huidige fiscale regelgeving kent de overheid een belastingvermindering toe op zowel de elektrische wagen als de thuislaadinfrastructuur, teneinde de consumenten te prikkelen om de overstap van de conventionele naar de elektrische wagen te maken. Deze overschakeling zal nog andere operationele overheidskosten veroorzaken, zoals onder meer het verlies van de belasting op de inverkeerstelling en een verlies van accijnzen op benzine en diesel. Daarnaast worden er ook, weliswaar beperkte, overheidsopbrengsten gerealiseerd bij de overschakeling, waaronder de btw op het elektriciteitsverbruik. De netto overheidskosten werden eveneens geanalyseerd doorheen de tijd. Er werd geopteerd voor een periode van vijf jaar, vermits de elektrische wagen onder Vlaamse bevoegdheid valt en de overeenkomstige legislatuurperiode zich uitstrekt over eenzelfde termijn. De totale overheidskost is afhankelijk van het aantal gekochte elektrische wagens. Uit de analyse blijkt dat, op basis van de huidige fiscale regelgeving, het voor de overheid voordeliger zou zijn enkel een belastingvermindering te verlenen indien de batterij wordt aangekocht. Echter, zoals reeds werd aangehaald, zullen beide conventionele wagens in vergelijking met de elektrische wagen met een gekochte batterij, gespreid over tien jaar, steeds lagere private kosten vertonen. In vergelijking met de elektrische wagen met een geleasede batterij daarentegen zullen de conventionele wagens onder de huidige wetgeving steeds duurder uitvallen. Daar de consument steeds opteert voor het goedkoopste alternatief, zal de overheid de verkoop van elektrische wagens dus kunnen stimuleren indien ze het huidig geldend fiscaal voordeel enkel toekennen ingeval de batterij van een dergelijke wagen wordt geleased.

Vervolgens werd in het vijfde hoofdstuk eveneens de laatste deelvraag beantwoord, namelijk:

'Hoeveel bedraagt de optimale belastingvermindering op de aanschaf van een elektrische wagen?'

Op basis van de standaardparameters uit hoofdstuk vier kan worden afgeleid dat de totale belastingvermindering aangaande de elektrische wagen minimaal 6.010,11 euro moet bedragen alvorens deze wagen voordeliger wordt dan beide conventionele wagens. Dit bedrag kan dan worden uitgesplitst in een fiscaal voordeel van 250 euro op de thuislaadinfrastructuur, dat onder de huidige fiscale regelgeving ook wordt verleend, en 5.760,11 euro op de aanschaf van een elektrische wagen. Een dergelijke belastingvermindering zal enkel toereikend zijn ingeval de batterij van de elektrische wagen wordt geleased. Bovendien zullen de overheidskosten, die gepaard gaan met de stimulatie van de elektrische wagen, kunnen dalen ten opzichte van de huidige wetgeving. De totale optimale belastingvermindering bedraagt immers 3.429,89 euro minder dan het bedrag dat momenteel wordt toegekend ter stimulatie van de elektrische wagen.

Echter, bovenstaand optimaal fiscaal voordeel is gebaseerd op standaardparameters die enkel betrekking hebben op gemiddelde waarden. Vandaar is het wenselijk een Monte Carlo simulatie uit te voeren, waarbij de verschillende deeltesten zorgen voor het verkrijgen van een correcter beeld van de werkelijkheid. Immers, de prijzen van de batterijen en de elektrische wagens worden in de toekomst enkel geacht te dalen vanwege technologische vooruitgang en schaalvoordelen. Daarnaast kunnen de energieprijzen en het aantal jaarlijks gereden kilometer schommelingen ondervinden. Bij elke deeltest kunnen deze verklarende parameters, voor het berekenen van de optimale belastingvermindering, een verschillende waarde aannemen. Deze parameterwaarden

worden immers uit een kansverdeling getrokken. Op basis van de deeltesten kan dan een kansverdeling voor de optimale belastingvermindering worden opgesteld. Uit resultaten van de Monte Carlo simulatie blijkt dat onder de toekenning van een totaal fiscaal voordeel van reeds 4.081,67 euro de elektrische wagen over tien jaar, gemiddeld genomen, voordeliger wordt dan beide conventionele wagens. Dit bedrag is beduidend lager dan de optimale belastingvermindering die werd bekomen aan de hand van de standaardparameters, dewelke enkel betrekking hebben op gemiddelde waarden. Hoe lager het fiscaal voordeel dat de overheid toekent, hoe minder de overheidskosten zullen bedragen. Echter, wanneer de overheid een grotere zekerheid wil omtrent het stimuleren van de elektrische wagen, zal ze een hogere belastingvermindering moeten toekennen. Indien de overheid bijvoorbeeld een totaal fiscaal voordeel van 5.475,36 euro op de elektrische wagen toekent, zullen de verdisconteerde private kosten gespreid over tien jaar met negentig procent zekerheid dalen onder deze van de conventionele wagens. Hoewel het fiscaal voordeel van 5.475,36 euro meer bedraagt dan het gemiddelde bedrag dat werd bekomen door middel van de Monte Carlo simulatie, zal de verlening van een dergelijk fiscaal voordeel de overheidskosten wel doen dalen ten opzichte van de optimale belastingvermindering die werd afgeleid aan de hand van de standaardparameters.

Op basis van voorgaande kan een algemeen antwoord worden geformuleerd op de centrale onderzoeksvraag, die als volgt luidt:

'Wat is het optimale fiscaal beleid van de Vlaamse overheid teneinde het gebruik van de elektrische wagen te ondersteunen?'

De overheid kan de kosten die gepaard gaan met de stimulatie van de elektrische wagen beperken door een lagere, en toch een effectieve, belastingvermindering toe te kennen in vergelijking met de vermindering die momenteel wordt toegekend. Al kan wel worden besloten dat dit enkel mogelijk is ingeval de batterij van de elektrische wagen wordt geleased. Toch zullen de overheidskosten nog aanzienlijk oplopen. Immers, uit de Monte Carlo simulatie blijkt dat een totaal fiscaal voordeel van 5.475,36 euro vereist is alvorens de verdisconteerde private kosten van een elektrische wagen in negentig procent van de gevallen minder bedragen dan bij de conventionele wagens. Hierbij kan worden aangenomen dat de marginaal verdisconteerde private kosten van de goedkoopste conventionele variant, meestal de dieselwagen, gelijk zijn aan deze van de elektrische wagen. Om de maatschappelijke relevantie van de belastingvermindering na te gaan, moet bijgevolg de optimale belastingvermindering enkel worden vergeleken met de vermeden externe schadekosten van uitstoot gerealiseerd door de overschakeling van een conventionele naar een elektrische wagen. Deze netto externe baat bedraagt slechts 99,85 euro per jaar, wat verdisconteerd over een tienjarige periode neerkomt op 809,87 euro. Zodoende is het vanuit maatschappelijk oogpunt niet verantwoord een belastingvermindering van 5.475,36 euro toe te kennen op de aanschaf van een elektrische wagen en een thuislaadinfrastructuur, teneinde de aanschaf van een dergelijke wagen te stimuleren. Kortom, de jaarlijks vermeden externe kosten zullen niet opwegen tegen de belastingvermindering ten laste van de overheid.

Lijst van geraadpleegde bronnen

Boeken

Aifantis, K. E., Hackney, S. A., & Kumar R. V., 2010, *High Energy Density Lithium Batteries: Materials, Engineering, Applications*, Weinheim: Wiley-VCH: 282p.

Boardman, A. E., Greenberg, D. H., Vining, A. R., & Weimer, D. L., 2011, *Cost-Benefit Analysis: Concepts and Practice*, Boston: Pearson Education: 541p.

Bollen, A. , Van Humbeeck, P. , Lamote, A., 2011, *Energie voor een groene economie, Boekdeel 2: Hernieuwbare energie: beleid en evaluatie*, Gent: Academia Press: 347p.

Giancoli, D. C., 1999, *Natuurkunde voor Wetenschap en Techniek*, Elektrostatica en Magnetisme (van Vreumingen, M., Vertaling). Schoonhoven: Academic Service. (Oorspronkelijk verschenen in het Engels in 1993): 460p.

Giancoli, D. C., 2005, *Physics*, Principles with applications, New Jersey, Pearson Education: 1040p.
Hubbard, R. G., & O'Brien A. P., 2010, *Essentials of Economics, Chapter 5: Externalities, Environmental Policy, and Public Goods*, Boston: Pearson Education: 635p.

Lipsey, R. G., & Christal, K. A., 2007, *Economics, Chapter 3: Demand, supply and price*, Oxford: University Press: 665p.

Matthijs, H., Naert, F., & Vuchelen, J., 2007, *Handboek Openbare Financiën*, Antwerpen: Intersentia: 506p.

McClave, J. T., Benson, P. G., & Sincich T., 2005, *Statistiek: Een inleiding voor het hoger onderwijs*, Betekenis van de standaardafwijking (Smitt, P., Vertaling). Amsterdam: Pearson Education. (Oorspronkelijk verschenen in het Engels in 1993): 698p.

Oracle, 2004, *Crystal Ball User Manual: Understanding sensitivity and using the sensitivity chart*: 384p.

Rapporten

Albrecht, A., Holyoak, N., Pudney, P., Raicu, R., Taylor, M., Zito, R., & Groves, J., 2009, *Technologies for Sustainable Vehicles*, University of South Australia: 77p. Opgevraagd op 23 oktober, 2011.

<http://www.autocrc.com/files/File/ev-technologies.pdf>

Baarsma, B., Janssen, K., Groot, I., & ter Beek, H., 2007, *Selectie sturingsinstrumenten*, Amsterdam: 298p. Opgevraagd op 9 december, 2011.

http://www.seo.nl/uploads/media/967_Selectie_sturingsinstrumenten.pdf

Bond Beter Leefmilieu, 2010, *Uitdaging voor elektrische mobiliteit*, Brussel: 78p. Opgevraagd op 30 oktober, 2011.

http://www.bondbeterleefmilieu.be/downloadsftp/beleid/100909_elektrisch_mobiel_2020_rapport.pdf

Bos, R. P., Vakgroep Toxicologie, 1996, *Chemische feitelijkheden: Polycyclische aromatische koolwaterstoffen*, Nijmegen: Katholieke Universiteit: 7p.

<http://www.chemischefeitelijkheden.nl/Uploads/Magazines/h051.pdf>

Commissie voor de Regulering van de Elektriciteit en het Gas (CREG), 2010, *de mogelijke impact van de elektrische auto op het Belgische elektriciteitssysteem*: 46p. Opgevraagd op 23 oktober, 2011.

<http://www.creg.info/pdf/Studies/F929NL.pdf>

Commissie voor de Regulering van de Elektriciteit en het Gas (CREG), 2011, *de evolutie van de elektriciteitsprijzen op de korte- en langetermijngroothandelsmarkt voor het jaar 2010*: 84p.

Opgevraagd op 23 oktober, 2011.

<http://www.creg.info/pdf/Studies/F1092NL.pdf>

Delhaye, E., De Ceuster, G., & Maerivoet, S., 2010, *internalisering van externe kosten van transport in Vlaanderen, Studie uitgevoerd in opdracht van de Vlaamse Milieumaatschappij door Transport & Mobility Leuven*: 233p. Opgevraagd op 11 november, 2011.

http://www.milieurapport.be/Upload/Main/MiraData/MIRA-T/03_GEVOLGEN/03_03/MIRA-2010-10_INTERNALISERING_EXTERNE_KOSTEN_TRANSPORT_DEF.PDF

Delucchi, M. A., & Lipman, T. E., 2001, *An analysis of the retail and lifecycle cost of battery-powered electric vehicles*, University of California: Institute of Transportation Studies: 35p.

Opgevraagd op 7 november, 2011.

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1361920900000316>

European Automobile Manufacturers' Association (ACEA), 2011. Opgevraagd op 28 oktober, 2011.

http://www.acea.be/images/uploads/files/20100630_Standardisation_e-vehicles.pdf

Eyckmans, J., & Proost, S., 1998, *Klimaatonderhandelingen in Rio en Kyoto: een succesverhaal of een maat voor niets?*, Centrum voor economische studiën, Leuven: 32p. Opgevraagd op 10 oktober, 2011.

<https://lirias.kuleuven.be/bitstream/123456789/102861/1/les91.pdf>

Febiac, 2007, *De uitdaging CO₂*, Brussel: 28p. Opgevraagd op 11 oktober, 2011.

http://www.febiac.be/documents_febiac/publications/guide_co2_NL.pdf

Febiac, 2011, *Elektrische voertuigen*, Brussel: 22p. Opgevraagd op 10 oktober, 2011.

http://www.febiac.be/documents_febiac/publications/2010/infospecialnllr.pdf

FOD Economie, 2010, *De energiemarkt in 2008*: p50. Opgevraagd op 25 februari, 2012.

http://statbel.fgov.be/nl/binaries/energiemarkt_2008_tcm325-112137.pdf

FOD Economie, 2011, *De energiemarkt in 2009*: 126p. Opgevraagd op 18 november, 2011.

http://statbel.fgov.be/nl/binaries/1585-11-01%20De%20energiemarkt%20in%202009_tcm325-140066.pdf

Funk, K., & Rabl, A., 1999, *Electric versus conventional vehicles: social costs and benefits in France*, Transportation Research Part D, 15p. Opgevraagd op 11 oktober, 2011.

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1361920999000188>

Hacker, F., Harthan, R., Matthes, F., & Zimmer, W., 2009, *Environmental impacts and impact on the electricity market of a large scale introduction of electric cars in Europe*, The European Topic Centre on Air and Climate Change: 169p. Opgevraagd op 23 oktober, 2011.

http://www.emic-bg.org/files/ETCACC_TP_2009_4_electromobility.pdf

International Consultancy Group, 2010, *Electric car markets in Europe: 10 countries analysis and strategic review*: 185p. Opgevraagd op 5 november, 2011.

http://www.just-auto.com/store/samples/2010_icg_ecars_europe_sample.pdf

Kalhammer, F. R., Kopf, B. M., Swan, D. H., Roan, V.P., & Walsh, M. P., 2007, *Status and Prospects for Zero Emissions Vehicle Technology*, California Air Resources Board: 207p.

Opgevraagd op 25 oktober, 2011.

http://www.lifepo4.info/Battery_study/Batteries/zev_panel_report.pdf

King, J., 2007, *The King Review of low-carbon cars*, Part I: the potential for CO₂ reduction: 114p.

Opgevraagd op 12 oktober, 2011.

http://www.physics.harvard.edu/~wilson/energypmp/2008_King_I.pdf

Koninklijke Vlaamse Ingenieursvereniging (KVIV), 2009, *Remenergierecuperatie: een rem op het brandstofverbruik*: 10p. Opgevraagd op 17 oktober, 2011.

<http://www.kviv.be/ingenieursprijzen/Laureatenartikels2010/Remenergierecuperatie%20een%20rem%20op%20het%20brandstofverbruik.pdf>

Kromer, M. A., & Heywood, J. B., 2007, *Electric Powertrains: Opportunities and Challenges in the U.S. Light-Duty Vehicle Fleet*, Massachusetts Institute of Technology: 153p. Opgevraagd op 24 oktober, 2011.

http://web.mit.edu/sloan-auto-lab/research/beforeh2/files/kromer_electric_powertrains.pdf

Meridian International Research, 2005, *The Electric Vehicle Imperative: Market Analysis and Technology Assessment*: p104. Opgevraagd op 25 oktober, 2011.

http://www.meridian-int-res.com/Projects/Zebra_Pages.pdf

Morgenstern, P. P., van der Ree, J., & Dusseldorp, A., 2010, *Fijn stof van antropogene bronnen: Een literatuurstudie naar samenstelling en verspreiding*, Bilthoven (NL): Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM): 88p. Opgevraagd op 9 november, 2011.

<http://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/609300016.pdf>

Sonnenberg, H. & Cannegieter, M., 2005, *Hybride vervoerssystemen Connexxion*, Enschede: Avante consultancy: 18p. Opgevraagd op 30 november, 2011.

<http://www.utwente.nl/secr/wewi/onderzoeksrapporten/Rapporten/techniek,%20technologie%20en%20chemische%20analyse/gepubliceerde%20rapporten/2005.296.pdf>

The Boston Consulting Group, 2010, *Batteries for Electric Cars: Challenges, Opportunities, and the Outlook to 2020*: 18p. Opgevraagd op 24 oktober, 2011.

<http://www.bcg.com/documents/file36615.pdf>

Ticheler, M., 2008, Meldpunt Gezondheid en Milieu, *Koolmonoxide*: 12p. Opgevraagd op 6 november, 2011.

<http://www.meldpuntgezondheidenmilieu.nl/documenten/faqs/a-koolmonoxide-febr2008%20Website.pdf>

TNO Industrie en Techniek, 2009, *Elektrisch Vervoer in Amsterdam Onderbouwing van ambitie en doelstelling en adviezen voor een effectieve aanpak*: 45p. Opgevraagd op 8 november, 2011.

<http://www.amsterdam.nl/publish/pages/248053/tno-rapportelektrischvervoerinamsterdam.pdf>

United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC), 1998, *Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change*. Opgevraagd op 14 november, 2011.

<http://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpeng.pdf>

Vlaams Gewest, 2011, *Luchtkwaliteitsplan*: 46p. Opgevraagd op 28 oktober, 2011.

<http://www.lne.be/themas/luchtverontreiniging/ontwerp-luchtkwaliteitsplan-no2.pdf>

Vlaamse Regulator van de Elektriciteits- en Gasmarkt (VREG), 2011, *Ontwerpmededeling van de Vlaamse Reguleringsinstantie voor de Elektriciteits- en Gasmarkt met betrekking tot laadpunten voor elektrische voertuigen*: 15p. Opgevraagd op 4 november, 2011.
<http://www.vreg.be/sites/default/files/uploads/documenten/laadpunten%20voor%20elektrische%20voertuigen.pdf>

Elektronische tijdschriften

Bonnaure, P., 2009, Quel avenir pour la voiture électrique?. *Futuribles International*, Vol. 351, 12p. Opgevraagd op 24 oktober, 2011.
http://www.futuribles-revue.com/index.php?option=com_article&access=standard&Itemid=129&url=/articles/futur/abs/2009/04/futur_2009_351_29/futur_2009_351_29.html

Carey, J., 2009, *Obama's Smart-Grid Game Plan*, BusinessWeek Online, 5p. Opgevraagd op 3 november, 2011.
<http://web.ebscohost.com.bib-proxy.uhasselt.be/ehost/detail?sid=13081129-e801-481e-9ded-305cc5c80f7c%40sessionmgr104&vid=8&hid=105&bdata=JnNpdGU9ZW9vc3QtbGl2ZQ%3d%3d#d b=afh&AN=44901960>

Deal, W. F., 2010, Going Green with Electric Vehicles. *Technology & Engineering Teacher*, Vol. 70, 7p. Opgevraagd op 23 oktober, 2011.
<http://web.ebscohost.com.bib-proxy.uhasselt.be/ehost/detail?sid=13081129-e801-481e-9ded-305cc5c80f7c%40sessionmgr104&vid=8&hid=105&bdata=JnNpdGU9ZW9vc3QtbGl2ZQ%3d%3d#d b=afh&AN=44901960>

Eaves, S., & Eaves, J., 2004, A cost comparison of fuel-cell and battery electric vehicles. *Journal of Power Sources*, Vol. 130, 5p. Opgevraagd op 21 oktober, 2011.
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378775303012175>

Emery, J. D., 2009, Hybrid Vehicles: Separating Fact from Fiction. *Fire Engineering*, Vol. 162, 11p. Opgevraagd op 18 oktober, 2011.
<http://web.ebscohost.com.bib-proxy.uhasselt.be/ehost/pdfviewer/pdfviewer?sid=342e412d-92b5-49a8-8e42-4be6088265ba%40sessionmgr104&vid=4&hid=127>

Goffman, E., 2010, Smart and Smarter. *E: The Environmental Magazin*, Vol. 21, 2p. Opgevraagd op 2 november, 2011.
<http://web.ebscohost.com.bib-proxy.uhasselt.be/ehost/pdfviewer/pdfviewer?sid=13081129-e801-481e-9ded-305cc5c80f7c%40sessionmgr104&vid=5&hid=105>

Lessing, P. A., 2007, Materials for hydrogen generation via water electrolysis. *Journal of Materials Science*, Vol. 42, 11p. Opgevraagd op 23 oktober, 2011.

<http://web.ebscohost.com/bib-proxy.uhasselt.be/ehost/pdfviewer/pdfviewer?sid=175f7fc1-761b-4800-902b-ac193d36ec85%40sessionmgr110&vid=13&hid=126>

Schlapbach, L., 2009, Hydrogen-fuelled vehicles. *Nature*, Vol. 460, 3p. Opgevraagd op 23 oktober, 2011.

<http://web.ebscohost.com/bib-proxy.uhasselt.be/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=6&hid=123&sid=bfac5061-19d5-40b2-b4f9-561497c7c7b8%40sessionmgr110>

Schrooten, L., Polders, C., Meynaerts, E., De Vlieger, I., Timmermans, V., & Cornelis, V., 2007, De emissie-inventaris fijn stof geactualiseerd. *Ecotips*, Vol. 12 Nr. 3, 4p. Opgevraagd op 4 november, 2011.

<http://www.vito.be/VITO/Search.aspx>

Somerset plans trial of bioethanol vehicles, 2005, *Professional Engineering*, Vol. 18, p10.

Opgevraagd op 22 oktober, 2011.

<http://web.ebscohost.com/bib-proxy.uhasselt.be/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=5&hid=126&sid=175f7fc1-761b-4800-902b-ac193d36ec85%40sessionmgr110>

Tichy, R. S., 2011, Electric Cars Look To Li-Air Batteries For Exponentially Better Range. *Electronic Design*, Vol. 59, 1p. Opgevraagd op 25 oktober, 2011.

<http://web.ebscohost.com/bib-proxy.uhasselt.be/ehost/pdfviewer/pdfviewer?sid=102dcfee-77ae-46ee-9932-cb74a694db5b%40sessionmgr115&vid=4&hid=111>

Tollefson, J., 2010, Hydrogen vehicles: Fuel of the future?. *Nature*, Vol. 464, 3p. Opgevraagd op 20 oktober, 2011.

<http://web.ebscohost.com/bib-proxy.uhasselt.be/ehost/pdfviewer/pdfviewer?sid=4774a634-3f07-43be-93d1-e43862d061b3%40sessionmgr113&vid=7&hid=108>

Tuite, D., 2011, Race Against Time To Charge The Family Car. *Electronic Design*, Vol. 59, 7p.

Opgevraagd op 28 oktober, 2011.

<http://web.ebscohost.com/bib-proxy.uhasselt.be/ehost/pdfviewer/pdfviewer?sid=c4c65a39-c46b-4e45-8a3d-907b18995437%40sessionmgr111&vid=5&hid=119>

Contactpersonen

Buyckx, P., eNovates, 2011, *Telefonische gesprek*. Gecontacteerd op 29 november, 2011.

De Ceasemaeker, B., 2012, *Telefonisch gesprek*. Gecontacteerd op 7 februari, 2012.

Delhaye, E., 2011, Transport & Mobility Leuven, *E-mail*. Gecontacteerd op 14 november, 2011.

Perik H., Flanders' DRIVE, 2012, *E-mail*. Gecontacteerd op 4 april, 2012.

Janssens, D., 2011, *Panelgesprek elektrische mobiliteit*: Universiteit Hasselt. Bijgewoond op 8 november, 2011.

Schaeffer, G. J., 2011, *Panelgesprek elektrische mobiliteit*: Universiteit Hasselt. Bijgewoond op 8 november, 2011.

Verheyen, E., 2012, KBC Verzekeringen, *gesprek*. Gecontacteerd op 3 december, 2011.

Chaniotakis, Y., 2012, Renault, *Offerte Renault Maintenance Contract*. Opgevraagd op 6 februari, 2012.

Willocx, G., Febiac, 2012, *E-mail*. Gecontacteerd op 23 februari, 2012.

Internetbronnen

Agentschap Nederland: Ministerie van Economische Zaken, Landbouw en Innovatie, 2011, *Bolivia: Nederlandse hulp nodig voor Boliviaans lithium*. Opgevraagd op 1 november, 2011.

<http://www.agentschapnl.nl/nieuws/bolivia-nederlandse-hulp-nodig-voor-boliviaans-lithium>

Agentschap voor Innovatie door Wetenschap en Technologie (IWT), 2011, *Proeftuin elektrische voertuigen in Vlaanderen van start*. Opgevraagd op 6 november, 2011.

<http://www.iwt.be/nieuws/proeftuin-elektrische-voertuigen-vlaanderen-van-start>

Agentschap Wegen en Verkeer, 2003, *Geluidsbronnen: ontstaan van wegverkeerslawaaï*. Opgevraagd op 19 november, 2011.

<http://wegen.vlaanderen.be/verkeer/geluid/oorzaak.php>

Amsterdam, 2011, *Open data oplaadpunten*. Opgevraagd op 3 maart, 2012.

<http://www.amsterdam.nl/parkeren-verkeer/amsterdam-elektrisch/opladen/ol/open-data/>

Belastingportaal Vlaanderen, 2009, *Belasting op de inverkeerstelling*. Opgevraagd op 4 december, 2011.

<http://belastingen.vlaanderen.be/nlapps/docs/default.asp?fid=106>

Belastingportaal Vlaanderen, 2009, *Vergroening BIV*. Opgevraagd op 3 maart, 2012.

<http://belastingen.vlaanderen.be/nlapps/docs/default.asp?fid=129>

Belga/Dea, 2010, *Lieten investeert 30 miljoen voor invoering elektrische voertuigen*, Het laatste nieuws. Opgevraagd op 14 oktober, 2011.

<http://www.hln.be/hln/nl/957/Belgie/article/detail/1157482/2010/09/14/Lieten-investeert-30-miljoen-voor-invoering-elektrische-voertuigen.dhtml>

Belgische Petroleum Federatie (BPF), 2012, *Evolutie van de maximumprijzen van brandstoffen in België: Jaarlijkse gemiddelden*. Opgevraagd op 25 februari, 2012.

http://www.petrolfed.be/dutch/cijfers/evolutie_maximumprijzen.htm

Better Place, 2011. Opgevraagd op 29 oktober, 2011.

<http://www.betterplace.com/>

BiPOWER corporation, 2011. Opgevraagd op 26 oktober, 2011.

<http://www.bipowerusa.com/documents/disposal.asp>

Blue Corner, 2011. Opgevraagd op 23 november, 2011.

<http://www.bluecorner.be/>

Bolier, M., 2011, *TU Delft: elektrische auto opladen tijdens het rijden*. Opgevraagd op 30 oktober, 2011.

<http://www.zerauto.nl/blog/index.php/2011/08/23/tu-delft-elektrisch-auto-opladen-tijdens-het-rijden>

Boschmans, K., 2010, *Hoe België Kyoto haalt*. Opgevraagd op 3 november, 2011.

<http://www.vkwmetena.be/artikels/hoe-belgie-kyoto-haalt>

Cipriani, F., 2011, *ACW-standpunt: de vergroening van de BIV*. Opgevraagd op 10 december, 2011.

http://www.acw.be/index.php?option=com_content&view=article&id=3439:acw-standpunt-de-vergroening-van-de-biv&catid=223:duurzame-ontwikkeling&Itemid=610

De Federale Dienst Klimaatverandering, 2011, *De bijdrage van de verschillende broeikasgassen aan de totale uitstoot en hun evolutie*. Opgevraagd op 13 november, 2011.

<http://www.climat.be/spip.php?article180&fs=>

De gezondheidsraad, 2003, *Sulphur dioxide; health-based recommended occupational exposure limit*. Opgevraagd op 10 november, 2011.

<http://www.gezondheidsraad.nl/nl/adviezen/sulphur-dioxide-health-based-recommended-occupational-exposure-limit>

De gezondheidssite voor Vlaanderen, 2009, *Koolstofmonoxide*. Opgevraagd op 1 november, 2011.

http://www.gezondheid.be/index.cfm?fuseaction=art&art_id=332

De Koninklijke Nederlandse Toeristenbond (ANWB), 2011, *Onderhoud*. Opgevraagd op 26 november, 2011

<http://www.anwb.nl/auto/onderhoud-en-reparatie/zelf-onderhouden,/groot-onderhoud.html>

De Openbare Vlaamse Afvalstoffenmaatschappij (OVAM), 2006, *Batterijrichtlijn*. Opgevraagd op 27 oktober, 2011.

<http://www.ovam.be/jahia/Jahia/pid/2072>

De Redactie, 2011, *Verdwijnen ecopremie is ramp voor autosector*. Opgevraagd op 30 november, 2011.

http://www.deredactie.be/cm/vrtnieuws/politiek/111128_ecokorting_autos_reacties

De Rijksoverheid voor Nederland, 2010, *Vraag en antwoord: Wat is radioactieve straling en wat zijn de gevolgen van radioactieve straling?*. Opgevraagd op 19 november, 2011.

<http://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/kernenergie/vraag-en-antwoord/wat-is-radioactieve-straling-en-wat-zijn-de-gevolgen-van-radioactieve-straling.html>

De Tijd, 2011, *Gemiddelde rente OLO 10 jaar*. Opgevraagd op 30 november, 2011.

<http://grafieken.tijd.be/510138581>

Departement Leefmilieu, Natuur en Energie (Ine), 2011, *Euronormen voor voertuigen*. Opgevraagd op 11 november, 2011.

<http://www.ine.be/themas/milieu-en-mobiliteit/milieuvriendelijke-voertuigen/ecoscore-en-euronormen/euronormen-voor-voertuigen>

Departement Leefmilieu, Natuur en Energie (Ine), 2010. Opgevraagd op 6 december, 2011.

<http://www.ine.be>

Duurzaam op weg, 2010, *Duurzame Mobiliteit: Biodiesel*. Opgevraagd op 20 oktober, 2011.

http://www.duurzaamopweg.nl/nc/home/facts-figures/facts-figures/?tx_damfrontend_pi1%5BshowUid%5D=1038&tx_damfrontend_pi1%5BbackPid%5D=1696

Eandis, 2011, *Eandis start project rond slimme meters*. Opgevraagd op 3 november, 2011.

http://www.eandis.be/eandis/pdf/Eandis_start_project_rond_slimme_meters_DataId_5517065_Version_1.pdf

Elia, 2007, *De primaire reserve: een oplossing om de frequentie in het Europese koppelnet te stabiliseren*: 3p. Opgevraagd op 1 november, 2011.

http://www.elia.be/repository/ProductsSheets/S1_N_PRIMAIRE_RESERVE.pdf

Energie- & milieu-informatiesysteem voor het Vlaams Gewest, 2009. Opgevraagd op 17 oktober, 2011.

<http://www.emis.vito.be/>

Energie- & milieu-informatiesysteem voor het Vlaams Gewest, 2010, *eNovates start de productie van Smart Grid-laadsystemen voor elektrische wagens*. Opgevraagd op 30 oktober, 2011.
<http://www.emis.vito.be/nieuwsbericht/enovates-start-de-productie-van-smart-grid-laadsystemen-voor-elektrische-wagens>

EnergiePortal, 2009, *kosten van elektrische auto*. Opgevraagd op 30 november, 2011.
<http://www.energieportal.nl/Newsflash/Newsflash/Kosten-van-elektrische-auto-5113.html>

eNovates, 2011, *Oplaadsystemen*. Opgevraagd op 28 november, 2011
<http://www.enovates.com/index.php/nl/oplaadsystemen>

eNovates, 2011, *Voertuigen en aandrijvingen*. Opgevraagd op 19 oktober, 2011.
<http://www.enovates.com/index.php/nl/mnuemobility/mnutechnology>

E-on, 2010, *Voor- en nadelen kernenergie*. Opgevraagd op 19 november, 2011.
<http://www.eon.nl/over-eon/energiebronnen/kernenergie/voor-en-nadelen-kernenergie>

Ethias, 2010. Opgevraagd op 2 december, 2011.
[http://www.ethias.be/nl/prd/A2PR017/Particulieren/Verzekeren/Voertuigen/Auto/Detail/Loupe Bonus-Malus.htm](http://www.ethias.be/nl/prd/A2PR017/Particulieren/Verzekeren/Voertuigen/Auto/Detail/Loupe_Bonus-Malus.htm)

European Commission, 2010, *The EU climate and energy package: The "20-20-20" targets*. Opgevraagd op 2 november, 2011.
http://ec.europa.eu/clima/policies/package/index_en.htm

European Environment Agency (EEA), 2011, *Monitoring the CO2 emissions from new passenger cars in the EU: summary of data for 2010*: 13p. Opgevraagd op 15 november, 2011.
<http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/co2-cars-emission>

European Environment Agency (EEA), 2011, *TOFP*. Opgevraagd op 16 november, 2011.
http://glossary.eea.europa.eu/terminology/concept_html?term=tropospheric%20ozone%20forming%20potential

Europese Commissie, 2007, *Communication from the Commission to the Council and the European Parliament 6 Results of the review of the Community Strategy to reduce CO2 emissions from passenger cars and light-commercial vehicles*. Opgevraagd op 22 november, 2011.
<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:52007DC0019:EN:NOT>

Europese Commissie, 2010, *Progress report on implementation of the Community's integrated approach to reduce CO2 emissions from light-duty vehicles*. Opgevraagd op 22 november, 2011.
<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:52010DC0656:EN:NOT>

Europese Commissie, 2011, *Euro 5- en Euro 6-normen: beperking van de vervuilende emissies van lichte voertuigen*. Opgevraagd op 14 november, 2011.

http://europa.eu/legislation_summaries/environment/air_pollution/l28186_nl.htm

Febiac, 2011, *Datadigest 2011*. Opgevraagd op 15 februari, 2012.

<http://www.febiac.be/public/statistics.aspx?FID=23&lang=NL>

Flanders' Drive, 2011. Opgevraagd op 30 oktober, 2011.

<http://www.flandersdrive.be/inductive-charging>

FOD Economie, 2010, *De Belgen en hun wagens*, Brussel: p2. Opgevraagd op 11 oktober, 2011.

http://statbel.fgov.be/nl/binaries/2010_Brochure_nl_tcm325-84910.pdf

FOD Economie, 2011, *Gemiddeld officieel tarief aardolieproducten laatste 8 jaar*. Opgevraagd op 11 december, 2011.

http://statbel.fgov.be/nl/statistieken/cijfers/energie/prijzen/gemid_8/

FOD Economie, 2011, *Voertuigenpark*. Opgevraagd op 1 december, 2011.

http://statbel.fgov.be/nl/statistieken/cijfers/verkeer_vervoer/verkeer/voertuigpark/

FOD Financiën, 2011, *Tarieven van de verkeersbelasting*. Opgevraagd op 11 december, 2011.

<http://www.minfin.fgov.be/portail2/nl/index.htm>

FOD Financiën, 2011, *Wanneer krijg ik een korting op de aankoop prijs van een milieuvriendelijk voertuig?*. Opgevraagd op 23 november, 2011.

<http://minfin.fgov.be/portail2/nl/themes/transport/vehicles-purchase.htm#D>

Fridley, D., 2010, *Biofuels & Ethanol: The Real Story*. Opgevraagd op 22 oktober, 2011.

http://www.youtube.com/watch?v=DeVT7jMYZlo&feature=player_embedded#!

Groen!, *Dossier Kernenergie*, 2010. Opgevraagd op 12 oktober, 2011.

http://www.groen.be/ideen/dossiers/dossier---kernenergie_255.aspx

Infrax, 2011, *Stad Hasselt zet deur wagenwijd open voor elektrische auto!*, Brussel. Opgevraagd op 14 oktober, 2011.

<http://www.infrax.be/nl/over-infrax/Nieuws/2011/20110114-elektrische-auto>

International Electrotechnical Commission (IEC), 2011, *EVs ready to charge ahead*. Opgevraagd op 28 oktober, 2011.

<http://www.iec.ch/newslog/2011/nr1611.htm>

Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut (KNMI), 2011, Stikstofoxiden en gezondheid. Opgevraagd op 17 november, 2011.
http://www.knmi.nl/~eskes/NOx_intro_nl.html

Lenntech, 2011, *Periodiek systeem*. Opgevraagd op 16 november, 2011.
<http://www.lenntech.nl/periodiek/periodiek-systeem.htm>

McCormick, R. L., 2007, *The Impact of Biodiesel on Pollutant Emissions and Public Health*, National Renewable Energy Laboratory, USA, Colorado: 7p. Opgevraagd op 20 oktober, 2011.
<http://web.ebscohost.com.bib-proxy.uhasselt.be/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=5&hid=123&sid=bfac5061-19d5-40b2-b4f9-561497c7c7b8%40sessionmgr110>

Medisch milieukundigen, 2011, *Fijn stof*. Opgevraagd op 4 november, 2011.
<http://www.mmk.be/vrij.cfm?Id=194>

Milieu- en Natuurplanbureau (MNP), 2005, *Visie biobrandstoffen*: 7p. Opgevraagd op 19 oktober, 2011.
<http://www.rivm.nl/bibliotheek/digitaaldepot/biobrandstof28092005metannex.pdf>

Milieuloket, 2011. Opgevraagd op 16 november, 2011.
<http://www.milieuloket.nl>

Milieurapport Vlaanderen, 2011. Opgevraagd op 19 november, 2011.
<http://www.milieurapport.be>

Mobimix: platform ecologisch vlootbeheer, 2010. Opgevraagd op 11 februari, 2012.
<http://www.mobimix.be>

Muylaert, J., 2010, *Geen rijtaks en BIV op elektrische auto*, Het nieuwsblad. Opgevraagd op 8 december, 2011.
<http://www.nieuwsblad.be/article/detail.aspx?articleid=GRE31GIHE>

Navex Elektro, 2011, Technische begrippenlijst. Opgevraagd op 27 oktober, 2011.
<http://www.navexelektro.be/Begrippenlijst.aspx#V>

Oplaadpunten.org, 2012. Opgevraagd op 1 maart, 2012.
<http://www.oplaadpunten.org/Oplaadpunten-Elektrische-Auto.php>

Petrolfed, 2011. Opgevraagd op 10 december, 2011.
http://www.petrolfed.be/dutch/docs/Evolutie_accijnzen_petroleumproducten_sinds_1971.01.01.xls

Portaal Belgium, 2010, *Verkeersbelasting en verzekering: verzekering*. Opgevraagd op 2 december, 2011.

http://www.belgium.be/nl/mobiliteit/Voertuigen/verkeersbelasting_en_verzekering/verzekering/

Portaal Belgium: informatie en diensten van de overheid, 2010, *Hernieuwbare en niet-vernieuwbare energiebronnen*. Opgevraagd op 13 oktober, 2011.

http://www.belgium.be/nl/leefmilieu/duurzaam_consumeren/energiebronnen/energie/

Reijnders, L., 2011, *Biobrandstoffen, klimaat en natuurlijke hulpbronnen*. Opgevraagd op 22 oktober, 2011.

<http://www.olino.org/articles/2009/05/04/biobrandstoffen>

Renault, 2011. Opgevraagd op 23 november, 2011.

<http://www.renault.be/nl/>

Replace Direct, 2008. Opgevraagd op 24 oktober, 2011.

<http://www.replacedirect.nl>

Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu van Nederland, 2011, *Wat zijn de mogelijke gezondheidsgevolgen van geluid?*. Opgevraagd op 18 november, 2011.

<http://www.nationaalkompas.nl/gezondheidsdeterminanten/omgeving/milieu/geluid/wat-zijn-de-mogelijke-gezondheidsgevolgen-van-geluid>

Science Space, 2010, *De FBI Regel*. Opgevraagd op 15 oktober, 2011.

<http://www.sciencespace.nl/article/view.do?supportId= 3181>

Science Space, 2010, *Werking van de elektromotor*. Opgevraagd op 15 oktober, 2011.

<http://www.sciencespace.nl/article/view.do?supportId= 3121>

Siemens, 2011, *Nieuwe oplaadpaal van Siemens kan twee elektrische auto's tegelijkertijd in één uur opladen*. Opgevraagd op 13 oktober, 2011.

<http://www.siemens.nl/persinfo/pressinfo.asp?id=1864>

Smart Grid Flanders, 2011. Opgevraagd op 3 november, 2011.

<http://www.smartgridsflanders.be/>

Tesla Motors, 2011. Opgevraagd op 27 oktober, 2011.

<http://www.teslamotors.com/>

Touring, 2011, *Belasting op de inverkeerstelling*. Opgevraagd op 4 december, 2011.

<http://www.touring.be/nl/voorbereiden/auto-kopen/budget/belastingen/index.asp>

Toyota, 2011. Opgevraagd op 17 oktober, 2011.

http://www.toyota-global.com/innovation/environmental_technology/technology_file/

Umicore, 2008, *Umicore Recycling & Recovery Yields and Rates*. Opgevraagd op 8 november, 2011.

<http://www.batteryrecycling.umicore.com/batteryRecycling/batteryRecyclingYieldsRates.htm>

Van Leeuwen, W., 2011, *Veel gestelde vragen*. Opgevraagd op 24 oktober, 2011.

<http://www.vanleeuwenoplaad.nl/veel-gestelde-vragen>

Vanheerentals, L., 2011, Aantal elektrische wagens blijft zeer beperkt in ons land, *ARGUS actueel*. Opgevraagd op 5 november, 2011.

<http://www.argusactueel.be/binnenlands-nieuws/aantal-elektrische-wagens-blijft-zeer-beperkt-in-ons-land>

Vereniging Nederlandse Petroleum Industrie, 2011, *Wat doet een raffinaderij?*. Opgevraagd op 19 november, 2011.

<http://www.vnpi.nl/Files/file/Wat%20doet%20een%20raffinaderij.pdf>

Vlaams Parlement, 2010, *Parlementaire begrippenlijst*. Opgevraagd op 15 februari, 2012.

<http://www.vlaamsparlement.be/vp/informatie/begrippenlijst/legislatuur.html>

Vlaams Parlement, 2010, *stuk 13: Toelichtingen bij de middelenbegroting en de algemene uitgavenbegroting van de Vlaamse Gemeenschap voor het begrotingsjaar 2011*: 65p. Opgevraagd op 3 november, 2011.

http://fin.vlaanderen.be/nlapps/data/docattachments/Toelichting_per_programma_BO2011_LNE_a ddendum.pdf

Vlaams Parlement, 2011, *Schriftelijke vraag*. Opgevraagd op 26 oktober, 2011.

<http://www.vlaamsparlement.be/Proteus5/showSchriftelijkeVraag.action?id=646083>

Vlaams Parlement, 2011, *stuk 444 Nr. 2: Voorstel van resolutie betreffende de bevordering van elektrische voertuigen die rijden op groene stroom in Vlaanderen*: 17p. Opgevraagd op 29 oktober, 2011.

<http://docs.vlaamsparlement.be/docs/stukken/2009-2010/g444-2.pdf>

Vlaams Parlement, 2011, *Commissievergadering van 4 oktober 2011 (nr. C10 – LEE1)*. Opgevraagd op 9 december, 2011.

http://docs.vlaamsparlement.be/docs/handelingen_commissies/2011-2012/c0m010lee1-04102011.pdf

Vlaamse Milieumaatschappij, 2011, *Verhoogde ozonconcentraties begin deze week*. Opgevraagd op 11 november, 2011.

<http://www.vmm.be/nieuwsmag/ozon-waarschuwingsbericht-1>

Vlaamse Overheid, 2008, *Standaardtarief-burgers-Update 2008*, Opgevraagd op 29 maart, 2012.
http://www.bestuurszaken.be/sites/bz.vlaanderen.be/files/Standaardtarief_burgers_update2008.pdf

Vlaamse Overheid, 2011, *Belastingvermindering bij de aankoop van een elektrisch voertuig of installatie van een laadpaal*. Opgevraagd op 20 oktober, 2011.
http://www.vlaanderen.be/servlet/Satellite?c=Solution_C&cid=1267507695761&context=1141721623065---1191211213991-1191211213991-1187251344078-1198314514243&p=1186804409590&pagename=Infolijn%2FView

Vlaamse Proeftuin: Elektrische Voertuigen, 2011. Opgevraagd op 6 november, 2011.
<http://www.proeftuin-ev.be/>

Vlaamse Regulator van de Elektriciteits- en Gasmarkt (VREG), 2011, *Info over het gemiddelde elektriciteits- en aardgasverbruik*. Opgevraagd op 24 november, 2011.
<http://www.vreg.be/info-over-het-gemiddelde-elektriciteits-en-aardgasverbruik>

Vrije Universiteit Brussel, 2007, *Veel gestelde vragen over schone voertuigen*, Vakgroep ETEC, Elsene. Opgevraagd op 10 oktober, 2011.
<http://etec.vub.ac.be/faq.php#101>

Zerauto, 2010, *Welke batterijen?*. Opgevraagd op 23 oktober, 2011.
<http://zerauto.nl/index.php?pid=228>

Bijlagen

Bijlage A: Cijfermatige onderbouwingen bij de partiële sensitiviteitsanalyses van de private kosten

Tabel A.1: Sensitiviteit van het aantal afgelegde kilometer per jaar op de totaal verdisconteerde private kosten in euro

Aantal kilometer per jaar	5000	7.500	10.000	12.500	15.000	17.500	20.000	22.500
Benzinewagen	36.406	40.113	43.820	47.528	51.235	54.942	58.649	62.357
Dieselwagen	37.097	39.973	42.848	45.724	48.599	51.475	54.350	57.226
Elektrische wagen zonder fiscaal voordeel en batterij kopen	62.297	63.674	65.052	66.429	67.806	69.184	70.561	71.939
Elektrische wagen met fiscaal voordeel en batterij kopen	52.857	54.234	55.612	56.989	58.366	59.744	61.121	62.499
Elektrische wagen zonder fiscaal voordeel en batterij leasen	40.987	44.360	47.733	51.105	54.478	57.851	61.223	64.596
Elektrische wagen met fiscaal voordeel en batterij leasen	32.751	36.124	39.497	42.869	46.242	49.615	52.987	56.360
Elektrische wagen VS Benzinewagen								
Elektrische wagen zonder fiscaal voordeel en batterij kopen - Benzinewagen	25.891	23.561	21.231	18.901	16.572	14.242	11.912	9.582
Elektrische wagen met fiscaal voordeel en batterij kopen - Benzinewagen	16.451	14.121	11.791	9.461	7.132	4.802	2.472	142
Elektrische wagen zonder fiscaal voordeel en batterij leasen - Benzinewagen	4.582	4.247	3.912	3.578	3.243	2.909	2.574	2.239
Elektrische wagen met fiscaal voordeel en batterij leasen - Benzinewagen	-3.654	-3.989	-4.324	-4.658	-4.993	-5.327	-5.662	-5.997
Elektrische wagen VS Dieselwagen								
Elektrische wagen zonder fiscaal voordeel en batterij kopen - Dieselwagen	25.200	23.701	22.203	20.705	19.207	17.709	16.211	14.713
Elektrische wagen met fiscaal voordeel en batterij kopen - Dieselwagen	15.760	14.261	12.763	11.265	9.767	8.269	6.771	5.273
Elektrische wagen zonder fiscaal voordeel en batterij leasen - Dieselwagen	3.890	4.387	4.884	5.382	5.879	6.376	6.873	7.370
Elektrische wagen met fiscaal voordeel en batterij leasen - Dieselwagen	-4.346	-3.849	-3.352	-2.854	-2.357	-1.860	-1.363	-866
Dieselwagen VS Benzinewagen								
Dieselwagen - Benzinewagen	691	-140	-972	-1.804	-2.636	-3.467	-4.299	-5.131

Aantal kilometer per jaar	25.000	27.500	30.000	32.500	35.000	Snijpunt Y-as	Rico	Vergelijking
Benzinewagen	66.064	69.771	73.478	77.186	80.893	28.991	1,48	$Y = 28991,27 + 1,48X$
Dieselwagen	60.101	62.977	65.852	68.728	71.603	31.346	1,15	$Y = 31346,27 + 1,15X$
Elektrische wagen zonder fiscaal voordeel en batterij kopen	73.316	74.693	76.071	77.448	78.825	59.542	0,55	$Y = 59541,98 + 0,55X$
Elektrische wagen met fiscaal voordeel en batterij kopen	63.876	65.253	66.631	68.008	69.385	50.102	0,55	$Y = 50101,98 + 0,55X$
Elektrische wagen zonder fiscaal voordeel en batterij leasen	67.969	71.341	74.714	78.087	81.459	34.242	1,35	$Y = 34241,98 + 1,35X$
Elektrische wagen met fiscaal voordeel en batterij leasen	59.733	63.105	66.478	69.851	73.223	26.006	1,35	$Y = 26005,98 + 1,35X$
Elektrische wagen VS Benzinewagen						Break-even (in kilometer)		
Elektrische wagen zonder fiscaal voordeel en batterij kopen - Benzinewagen	7.252	4.922	2.592	262	-2.067	32.782		
Elektrische wagen met fiscaal voordeel en batterij kopen - Benzinewagen	-2.188	-4.518	-6.848	-9.178	-11.507	22.652		
Elektrische wagen zonder fiscaal voordeel en batterij leasen - Benzinewagen	1.905	1.570	1.236	901	566	39.233		
Elektrische wagen met fiscaal voordeel en batterij leasen - Benzinewagen	-6.331	-6.666	-7.000	-7.335	-7.670	-22.306		
Elektrische wagen VS Dieselwagen								
Elektrische wagen zonder fiscaal voordeel en batterij kopen - Dieselwagen	13.215	11.717	10.219	8.721	7.222	47.053		
Elektrische wagen met fiscaal voordeel en batterij kopen - Dieselwagen	3.775	2.277	779	-719	-2.218	31.299		
Elektrische wagen zonder fiscaal voordeel en batterij leasen - Dieselwagen	7.868	8.365	8.862	9.359	9.856	-14.560		
Elektrische wagen met fiscaal voordeel en batterij leasen - Dieselwagen	-368	129	626	1.123	1.620	26.852		
Dieselwagen VS Benzinewagen								
Dieselwagen - Benzinewagen	-5.963	-6.795	-7.626	-8.458	-9.290	7.078		

Bron: Eigen verwerking.

Tabel A.2: Sensitiviteit van de batterijkosten op de totaal verdisconteerde private kosten in euro

Batterijkosten	Basiskost	-5%	-10%	-15%	-20%	-25%	-30%
Benzinewagen	52.214	52.214	52.214	52.214	52.214	52.214	52.214
Dieselwagen	49.358	49.358	49.358	49.358	49.358	49.358	49.358
Elektrische wagen zonder fiscaal voordeel en batterij kopen	68.170	66.905	65.640	64.375	63.110	61.845	60.580
Elektrische wagen met fiscaal voordeel en batterij kopen	58.730	57.465	56.200	54.935	53.670	52.405	51.140
Elektrische wagen zonder fiscaal voordeel en batterij leasen	55.368	54.743	54.119	53.494	52.869	52.244	51.619
Elektrische wagen met fiscaal voordeel en batterij leasen	47.132	46.507	45.883	45.258	44.633	44.008	43.383
Benzinewagen VS Elektrische wagen							
Elektrische wagen zonder fiscaal voordeel en batterij kopen - Benzinewagen	15.956	14.691	13.426	12.161	10.896	9.631	8.366
Elektrische wagen met fiscaal voordeel en batterij kopen - Benzinewagen	6.516	5.251	3.986	2.721	1.456	191	-1.074
Elektrische wagen zonder fiscaal voordeel en batterij leasen - Benzinewagen	3.155	2.530	1.905	1.280	655	30	-595
Elektrische wagen met fiscaal voordeel en batterij leasen - Benzinewagen	-5.081	-5.706	-6.331	-6.956	-7.581	-8.206	-8.831
Dieselwagen VS Elektrische wagen							
Elektrische wagen zonder fiscaal voordeel en batterij kopen - Dieselwagen	18.812	17.547	16.282	15.017	13.752	12.487	11.222
Elektrische wagen met fiscaal voordeel en batterij kopen - Dieselwagen	9.372	8.107	6.842	5.577	4.312	3.047	1.782
Elektrische wagen zonder fiscaal voordeel en batterij leasen - Dieselwagen	6.010	5.385	4.760	4.135	3.510	2.886	2.261
Elektrische wagen met fiscaal voordeel en batterij leasen - Dieselwagen	-2.226	-2.851	-3.476	-4.101	-4.726	-5.350	-5.975
Dieselwagen VS Benzinewagen							
Dieselwagen - Benzinewagen	-2.855	-2.855	-2.855	-2.855	-2.855	-2.855	-2.855

Batterijkosten	-35%	-40%	-45%	-50%
Benzinewagen	52.214	52.214	52.214	52.214
Dieselwagen	49.358	49.358	49.358	49.358
Elektrische wagen zonder fiscaal voordeel en batterij kopen	59.315	58.050	56.785	55.520
Elektrische wagen met fiscaal voordeel en batterij kopen	49.875	48.610	47.345	46.080
Elektrische wagen zonder fiscaal voordeel en batterij leasen	50.994	50.369	49.744	49.119
Elektrische wagen met fiscaal voordeel en batterij leasen	42.758	42.133	41.508	40.883
Benzinewagen VS Elektrische wagen				
Elektrische wagen zonder fiscaal voordeel en batterij kopen - Benzinewagen	7.101	5.836	4.571	3.306
Elektrische wagen met fiscaal voordeel en batterij kopen - Benzinewagen	-2.339	-3.604	-4.869	-6.134
Elektrische wagen zonder fiscaal voordeel en batterij leasen - Benzinewagen	-1.220	-1.845	-2.469	-3.094
Elektrische wagen met fiscaal voordeel en batterij leasen - Benzinewagen	-9.456	-10.081	-10.705	-11.330
Dieselwagen VS Elektrische wagen				
Elektrische wagen zonder fiscaal voordeel en batterij kopen - Dieselwagen	9.957	8.692	7.427	6.162
Elektrische wagen met fiscaal voordeel en batterij kopen - Dieselwagen	517	-748	-2.013	-3.278
Elektrische wagen zonder fiscaal voordeel en batterij leasen - Dieselwagen	1.636	1.011	386	-239
Elektrische wagen met fiscaal voordeel en batterij leasen - Dieselwagen	-6.600	-7.225	-7.850	-8.475
Dieselwagen VS Benzinewagen				
Dieselwagen - Benzinewagen	-2.855	-2.855	-2.855	-2.855

Snijpunt Y-as	Rico	Vergelijking
52.214	0	Y = 52231,54
49.358	0	Y = 49358,29
68.170	25300	Y = 68169,96 + 25300X
58.730	25300	Y = 58729,96 + 25300X
55.368	12498	Y = 55368,40 + 12498X
47.132	12498	Y = 47132,40 + 12498X

Break-even(daling van de batterijkost)
-63%
-26%
-25%
41%
-74%
-37%
-48%
18%
Geen snijpunt

Bron: Eigen verwerking.

Tabel A.3: Sensitiviteit van de aanschafprijs van een elektrische wagen op de totaal verdisconteerde private kosten in euro

Aanschafprijs van de elektrische wagen	Basisprijs	-2,5%	-5%	-7,5%	-10%	-12,5%	-15%
Benzinewagen	52.214	52.214	52.214	52.214	52.214	52.214	52.214
Dieselwagen	49.358	49.358	49.358	49.358	49.358	49.358	49.358
Elektrische wagen zonder fiscaal voordeel en batterij kopen	68.170	67.504	66.839	66.173	65.508	64.842	64.177
Elektrische wagen met fiscaal voordeel en batterij kopen	58.730	58.064	57.399	56.733	56.068	55.402	54.737
Elektrische wagen zonder fiscaal voordeel en batterij leasen	55.368	54.703	54.037	53.372	52.706	52.041	51.375
Elektrische wagen met fiscaal voordeel en batterij leasen	47.132	46.667	46.201	45.735	45.269	44.803	44.337
Elektrische wagen VS Benzinewagen							
Elektrische wagen zonder fiscaal voordeel en batterij kopen - Benzinewagen	15.956	15.291	14.625	13.960	13.294	12.629	11.963
Elektrische wagen met fiscaal voordeel en batterij kopen - Benzinewagen	6.516	5.851	5.185	4.520	3.854	3.189	2.523
Elektrische wagen zonder fiscaal voordeel en batterij leasen - Benzinewagen	3.155	2.489	1.824	1.158	493	-173	-838
Elektrische wagen met fiscaal voordeel en batterij leasen - Benzinewagen	-5.081	-5.547	-6.013	-6.479	-6.945	-7.410	-7.876
Elektrische wagen VS Dieselwagen							
Elektrische wagen zonder fiscaal voordeel en batterij kopen - Dieselwagen	18.812	18.146	17.481	16.815	16.150	15.484	14.819
Elektrische wagen met fiscaal voordeel en batterij kopen - Dieselwagen	9.372	8.706	8.041	7.375	6.710	6.044	5.379
Elektrische wagen zonder fiscaal voordeel en batterij leasen - Dieselwagen	6.010	5.345	4.679	4.014	3.348	2.683	2.017
Elektrische wagen met fiscaal voordeel en batterij leasen - Dieselwagen	-2.226	-2.692	-3.158	-3.623	-4.089	-4.555	-5.021
Dieselwagen VS Benzinewagen							
Dieselwagen - Benzinewagen	-2.855	-2.855	-2.855	-2.855	-2.855	-2.855	-2.855

Aanschafprijs van de elektrische wagen	-17,5%	-20%	-22,5%	-25%	Snijpunt Y-as	Rico	Vergelijking
Benzinewagen	52.214	52.214	52.214	52.214	52.214	0	Y = 52213,54
Dieselwagen	49.358	49.358	49.358	49.358	49.358	0	Y = 49358,29
Elektrische wagen zonder fiscaal voordeel en batterij kopen	63.511	62.846	62.180	61.515	68.170	26620	Y = 68169,96 + 26620X
Elektrische wagen met fiscaal voordeel en batterij kopen	54.071	53.406	52.740	52.075	58.730	26620	Y = 58729,96 + 26620X
Elektrische wagen zonder fiscaal voordeel en batterij leasen	50.710	50.044	49.379	48.713	55.368	26620	Y = 55368,40 + 26620X
Elektrische wagen met fiscaal voordeel en batterij leasen	43.871	43.406	42.940	42.474	47.132	18634	Y = 47132,40 + 18634X

Elektrische wagen VS Benzinewagen					Break-even (daling van de aanschafprijs van een elektrisch wagen)	
Elektrische wagen zonder fiscaal voordeel en batterij kopen - Benzinewagen	11.298	10.632	9.967	9.301	-60%	
Elektrische wagen met fiscaal voordeel en batterij kopen - Benzinewagen	1.858	1.192	527	-139	-24%	
Elektrische wagen zonder fiscaal voordeel en batterij leasen - Benzinewagen	-1.504	-2.169	-2.835	-3.500	-12%	
Elektrische wagen met fiscaal voordeel en batterij leasen - Benzinewagen	-8.342	-8.808	-9.274	-9.740	27%	
Elektrische wagen VS Dieselwagen						
Elektrische wagen zonder fiscaal voordeel en batterij kopen - Dieselwagen	14.153	13.488	12.822	12.157	-71%	
Elektrische wagen met fiscaal voordeel en batterij kopen - Dieselwagen	4.713	4.048	3.382	2.717	-35%	
Elektrische wagen zonder fiscaal voordeel en batterij leasen - Dieselwagen	1.352	686	21	-645	-23%	
Elektrische wagen met fiscaal voordeel en batterij leasen - Dieselwagen	-5.487	-5.953	-6.419	-6.884	12%	
Dieselwagen VS Benzinewagen						
Dieselwagen - Benzinewagen	-2.855	-2.855	-2.855	-2.855	Geen snijpunt	

Bron: Eigen verwerking.

Tabel A.4: Sensitiviteit van de energieprijzen op de totaal verdisconteerde private kosten in euro

Energieprijzen	-30%	-25%	-20%	-15%	-10%	-5%	Basisprijs
Benzinewagen	47.247	48.075	48.903	49.730	50.558	51.386	52.214
Dieselwagen	46.005	46.564	47.123	47.682	48.240	48.799	49.358
Elektrische wagen zonder fiscaal voordeel en batterij kopen	67.003	67.197	67.392	67.586	67.781	67.975	68.170
Elektrische wagen met fiscaal voordeel en batterij kopen	57.563	57.757	57.952	58.146	58.341	58.535	58.730
Elektrische wagen zonder fiscaal voordeel en batterij leasen	54.201	54.396	54.590	54.785	54.979	55.174	55.368
Elektrische wagen met fiscaal voordeel en batterij leasen	45.965	46.160	46.354	46.549	46.743	46.938	47.132
Elektrische wagen VS Benzinewagen							
Elektrische wagen zonder fiscaal voordeel en batterij kopen - Benzinewagen	19.756	19.122	18.489	17.856	17.223	16.590	15.956
Elektrische wagen met fiscaal voordeel en batterij kopen - Benzinewagen	10.316	9.682	9.049	8.416	7.783	7.150	6.516
Elektrische wagen zonder fiscaal voordeel en batterij leasen - Benzinewagen	6.954	6.321	5.688	5.054	4.421	3.788	3.155
Elektrische wagen met fiscaal voordeel en batterij leasen - Benzinewagen	-1.282	-1.915	-2.548	-3.182	-3.815	-4.448	-5.081
Elektrische wagen VS Dieselwagen							
Elektrische wagen zonder fiscaal voordeel en batterij kopen - Dieselwagen	20.998	20.634	20.269	19.905	19.541	19.176	18.812
Elektrische wagen met fiscaal voordeel en batterij kopen - Dieselwagen	11.558	11.194	10.829	10.465	10.101	9.736	9.372
Elektrische wagen zonder fiscaal voordeel en batterij leasen - Dieselwagen	8.197	7.832	7.468	7.103	6.739	6.375	6.010
Elektrische wagen met fiscaal voordeel en batterij leasen - Dieselwagen	-39	-404	-768	-1.133	-1.497	-1.861	-2.226
Dieselwagen VS Benzinewagen							
Dieselwagen - Benzinewagen	-1.243	-1.511	-1.780	-2.049	-2.318	-2.586	-2.855

Energieprijzen	5%	10%	15%	20%	25%	30%
Benzinewagen	53.041	53.869	54.697	55.524	56.352	57.180
Dieselwagen	49.917	50.476	51.035	51.594	52.153	52.712
Elektrische wagen zonder fiscaal voordeel en batterij kopen	68.364	68.559	68.754	68.948	69.143	69.337
Elektrische wagen met fiscaal voordeel en batterij kopen	58.924	59.119	59.314	59.508	59.703	59.897
Elektrische wagen zonder fiscaal voordeel en batterij leasen	55.563	55.757	55.952	56.146	56.341	56.535
Elektrische wagen met fiscaal voordeel en batterij leasen	47.327	47.521	47.716	47.910	48.105	48.299
Elektrische wagen VS Benzinewagen						
Elektrische wagen zonder fiscaal voordeel en batterij kopen - Benzinewagen	15.323	14.690	14.057	13.424	12.791	12.157
Elektrische wagen met fiscaal voordeel en batterij kopen - Benzinewagen	5.883	5.250	4.617	3.984	3.351	2.717
Elektrische wagen zonder fiscaal voordeel en batterij leasen - Benzinewagen	2.522	1.888	1.255	622	-11	-644
Elektrische wagen met fiscaal voordeel en batterij leasen - Benzinewagen	-5.714	-6.348	-6.981	-7.614	-8.247	-8.880
Elektrische wagen VS Dieselwagen						
Elektrische wagen zonder fiscaal voordeel en batterij kopen - Dieselwagen	18.447	18.083	17.718	17.354	16.990	16.625
Elektrische wagen met fiscaal voordeel en batterij kopen - Dieselwagen	9.007	8.643	8.278	7.914	7.550	7.185
Elektrische wagen zonder fiscaal voordeel en batterij leasen - Dieselwagen	5.646	5.281	4.917	4.552	4.188	3.824
Elektrische wagen met fiscaal voordeel en batterij leasen - Dieselwagen	-2.590	-2.955	-3.319	-3.684	-4.048	-4.412
Dieselwagen VS Benzinewagen						
Dieselwagen - Benzinewagen	-3.124	-3.393	-3.662	-3.930	-4.199	-4.468

Snijpunt Y-as	Rico	Vergelijking
52.214	16554	$Y = 52213,54 + 16554X$
49.358	11179	$Y = 49358,29 + 11179X$
68.170	3890	$Y = 68169,96 + 3890X$
58.730	3890	$Y = 58729,96 + 3890X$
55.368	3890	$Y = 55368,40 + 3890X$
47.132	3890	$Y = 47132,40 + 3890X$

Break-even (stijging of daling van de energieprijzen)
126%
51%
25%
-40%
258%
129%
82%
-31%
-53%

Bron: Eigen verwerking.

Tabel A.5: Sensitiviteit van de belastingvermindering op de aanschaf van een elektrische wagen (maximaal 9.190 euro) op de totaal verdisconteerde private kosten in euro

Belastingvermindering op aanschaf van een elektrische wagen	0%	5%	10%	15%	20%	25%	30%
Benzinewagen	52.214	52.214	52.214	52.214	52.214	52.214	52.214
Dieselwagen	49.358	49.358	49.358	49.358	49.358	49.358	49.358
Elektrische wagen zonder fiscaal voordeel en batterij kopen	68.170	68.170	68.170	68.170	68.170	68.170	68.170
Elektrische wagen met fiscaal voordeel en batterij kopen	67.920	65.324	62.728	60.132	58.730	58.730	58.730
Elektrische wagen zonder fiscaal voordeel en batterij leasen	55.368	55.368	55.368	55.368	55.368	55.368	55.368
Elektrische wagen met fiscaal voordeel en batterij leasen	55.118	53.787	52.456	51.125	49.794	48.463	47.132
Elektrische wagen VS Benzinewagen							
Elektrische wagen zonder fiscaal voordeel en batterij kopen - Benzinewagen	15.956	15.956	15.956	15.956	15.956	15.956	15.956
Elektrische wagen met fiscaal voordeel en batterij kopen - Benzinewagen	15.706	13.110	10.514	7.918	6.516	6.516	6.516
Elektrische wagen zonder fiscaal voordeel en batterij leasen - Benzinewagen	3.155	3.155	3.155	3.155	3.155	3.155	3.155
Elektrische wagen met fiscaal voordeel en batterij leasen - Benzinewagen	2.905	1.574	243	-1.088	-2.419	-3.750	-5.081
Elektrische wagen VS Dieselwagen							
Elektrische wagen zonder fiscaal voordeel en batterij kopen - Dieselwagen	18.812	18.812	18.812	18.812	18.812	18.812	18.812
Elektrische wagen met fiscaal voordeel en batterij kopen - Dieselwagen	18.562	15.966	13.370	10.774	9.372	9.372	9.372
Elektrische wagen zonder fiscaal voordeel en batterij leasen - Dieselwagen	6.010	6.010	6.010	6.010	6.010	6.010	6.010
Elektrische wagen met fiscaal voordeel en batterij leasen - Dieselwagen	5.760	4.429	3.098	1.767	436	-895	-2.226
Dieselwagen VS Benzinewagen							
Dieselwagen - Benzinewagen	-2.855	-2.855	-2.855	-2.855	-2.855	-2.855	-2.855

Belastingvermindering op aanschaf van een elektrische wagen	35%	40%	45%	50%
Benzinewagen	52.214	52.214	52.214	52.214
Dieselwagen	49.358	49.358	49.358	49.358
Elektrische wagen zonder fiscaal voordeel en batterij kopen	68.170	68.170	68.170	68.170
Elektrische wagen met fiscaal voordeel en batterij kopen	58.730	58.730	58.730	58.730
Elektrische wagen zonder fiscaal voordeel en batterij leasen	55.368	55.368	55.368	55.368
Elektrische wagen met fiscaal voordeel en batterij leasen	45.928	45.928	45.928	45.928
Elektrische wagen VS Benzinewagen				
Elektrische wagen zonder fiscaal voordeel en batterij kopen - Benzinewagen	15.956	15.956	15.956	15.956
Elektrische wagen met fiscaal voordeel en batterij kopen - Benzinewagen	6.516	6.516	6.516	6.516
Elektrische wagen zonder fiscaal voordeel en batterij leasen - Benzinewagen	3.155	3.155	3.155	3.155
Elektrische wagen met fiscaal voordeel en batterij leasen - Benzinewagen	-6.285	-6.285	-6.285	-6.285
Elektrische wagen VS Dieselwagen				
Elektrische wagen zonder fiscaal voordeel en batterij kopen - Dieselwagen	18.812	18.812	18.812	18.812
Elektrische wagen met fiscaal voordeel en batterij kopen - Dieselwagen	9.372	9.372	9.372	9.372
Elektrische wagen zonder fiscaal voordeel en batterij leasen - Dieselwagen	6.010	6.010	6.010	6.010
Elektrische wagen met fiscaal voordeel en batterij leasen - Dieselwagen	-3.430	-3.430	-3.430	-3.430
Dieselwagen VS Benzinewagen				
Dieselwagen - Benzinewagen	-2.855	-2.855	-2.855	-2.855

Snijpunt Y-as	Rico (0 ≤ X ≤ 30)	Vergelijking (0 ≤ X ≤ 30)
52.214	0	Y = 52213,54
49.358	0	Y = 49358,29
68.170	0	Y = 68169,96
67.920	N.V.T.: Geen snijpunt	N.V.T.: Geen snijpunt
55.368	0	Y = 55368,40
55.118	-26620,00	Y = 55118,40 - 26620X

Break-even (belastingvermindering op de aanschaf van een elektrische wagen)
Geen snijpunt
Geen snijpunt
Geen snijpunt
11%
Geen snijpunt
Geen snijpunt
Geen snijpunt
22%
Geen snijpunt

Bron: Eigen verwerking.

Tabel A.6: Sensitiviteit van de belastingvermindering op de aanschaf van een elektrische wagen (zonder maximumbedrag) op de totaal verdisconteerde private kosten in euro

Belastingvermindering op aanschaf van een elektrische wagen	0%	5%	10%	15%	20%	25%	30%
Benzinewagen	52.214	52.214	52.214	52.214	52.214	52.214	52.214
Dieselwagen	49.358	49.358	49.358	49.358	49.358	49.358	49.358
Elektrische wagen zonder fiscaal voordeel en batterij kopen	68.170	68.170	68.170	68.170	68.170	68.170	68.170
Elektrische wagen met fiscaal voordeel en batterij kopen	67.920	65.324	62.728	60.132	57.536	54.940	52.344
Elektrische wagen zonder fiscaal voordeel en batterij leasen	55.368	55.368	55.368	55.368	55.368	55.368	55.368
Elektrische wagen met fiscaal voordeel en batterij leasen	55.118	53.787	52.456	51.125	49.794	48.463	47.132
Elektrische wagen VS Benzinewagen							
Elektrische wagen zonder fiscaal voordeel en batterij kopen - Benzinewagen	15.956	15.956	15.956	15.956	15.956	15.956	15.956
Elektrische wagen met fiscaal voordeel en batterij kopen - Benzinewagen	15.706	13.110	10.514	7.918	5.322	2.726	130
Elektrische wagen zonder fiscaal voordeel en batterij leasen - Benzinewagen	3.155	3.155	3.155	3.155	3.155	3.155	3.155
Elektrische wagen met fiscaal voordeel en batterij leasen - Benzinewagen	2.905	1.574	243	-1.088	-2.419	-3.750	-5.081
Elektrische wagen VS Dieselwagen							
Elektrische wagen zonder fiscaal voordeel en batterij kopen - Dieselwagen	18.812	18.812	18.812	18.812	18.812	18.812	18.812
Elektrische wagen met fiscaal voordeel en batterij kopen - Dieselwagen	18.562	15.966	13.370	10.774	8.178	5.582	2.986
Elektrische wagen zonder fiscaal voordeel en batterij leasen - Dieselwagen	6.010	6.010	6.010	6.010	6.010	6.010	6.010
Elektrische wagen met fiscaal voordeel en batterij leasen - Dieselwagen	5.760	4.429	3.098	1.767	436	-895	-2.226
Dieselwagen VS Benzinewagen							
Dieselwagen - Benzinewagen	-2.855	-2.855	-2.855	-2.855	-2.855	-2.855	-2.855

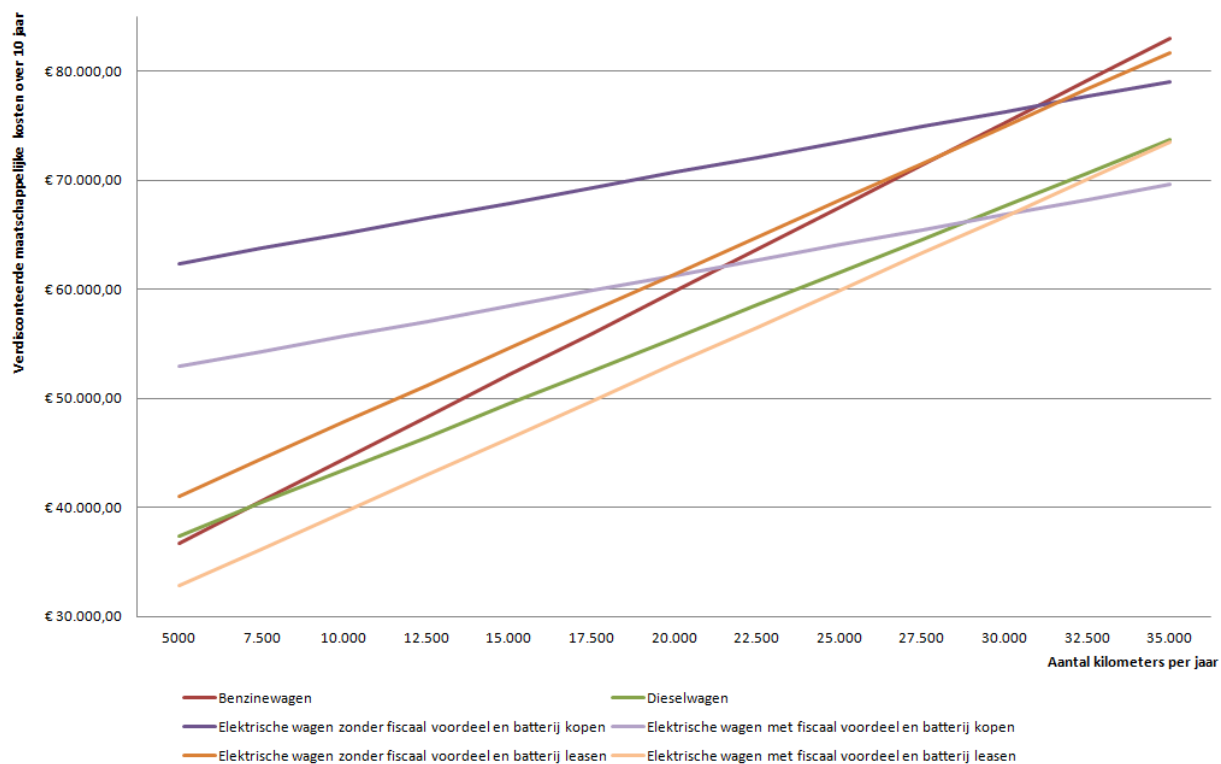
Belastingvermindering op aanschaf van een elektrische wagen	35%	40%	45%	50%	Snijpunt Y-as	Rico	Vergelijking
Benzinewagen	52.214	52.214	52.214	52.214	52.214	0	Y = 52213,54
Dieselwagen	49.358	49.358	49.358	49.358	49.358	0	Y = 49358,29
Elektrische wagen zonder fiscaal voordeel en batterij kopen	68.170	68.170	68.170	68.170	68.170	0	Y = 68169,96
Elektrische wagen met fiscaal voordeel en batterij kopen	49.748	47.152	44.556	41.960	67.920	-51920	Y = 67919,96 - 51920X
Elektrische wagen zonder fiscaal voordeel en batterij leasen	55.368	55.368	55.368	55.368	55.368	0	Y = 55368,40
Elektrische wagen met fiscaal voordeel en batterij leasen	45.801	44.470	43.139	41.808	55.118	-26620	Y = 55118,40 - 26620X

Elektrische wagen VS Benzinewagen					Break-even(belastingvermindering op de aanschaf van een elektrische wagen)		
Elektrische wagen zonder fiscaal voordeel en batterij kopen - Benzinewagen	15.956	15.956	15.956	15.956	Geen snijpunt		
Elektrische wagen met fiscaal voordeel en batterij kopen - Benzinewagen	-2.466	-5.062	-7.658	-10.254	30%		
Elektrische wagen zonder fiscaal voordeel en batterij leasen - Benzinewagen	3.155	3.155	3.155	3.155	Geen snijpunt		
Elektrische wagen met fiscaal voordeel en batterij leasen - Benzinewagen	-6.412	-7.743	-9.074	-10.405	11%		
Elektrische wagen VS Dieselwagen							
Elektrische wagen zonder fiscaal voordeel en batterij kopen - Dieselwagen	18.812	18.812	18.812	18.812	Geen snijpunt		
Elektrische wagen met fiscaal voordeel en batterij kopen - Dieselwagen	390	-2.206	-4.802	-7.398	36%		
Elektrische wagen zonder fiscaal voordeel en batterij leasen - Dieselwagen	6.010	6.010	6.010	6.010	Geen snijpunt		
Elektrische wagen met fiscaal voordeel en batterij leasen - Dieselwagen	-3.557	-4.888	-6.219	-7.550	22%		
Dieselwagen VS Benzinewagen							
Dieselwagen - Benzinewagen	-2.855	-2.855	-2.855	-2.855	Geen snijpunt		

Bron: Eigen verwerking.

Bijlage B: Figuren en cijfermatige onderbouwingen bij de partiële sensitiviteitsanalyses van de maatschappelijke kosten

Figuur B.1: Sensitiviteit van het aantal afgelegde kilometer per jaar op de totaal verdisconteerde maatschappelijke kosten in euro



Bron: Eigen verwerking.

Tabel B.1: Sensitiviteit van het aantal afgelegde kilometer per jaar op de totaal verdisconteerde maatschappelijke kosten in euro

Aantal kilometer per jaar	5000	7.500	10.000	12.500	15.000	17.500	20.000	22.500
Benzinewagen	36.703	40.558	44.414	48.270	52.125	55.981	59.837	63.693
Dieselwagen	37.394	40.418	43.442	46.466	49.490	52.514	55.538	58.562
Elektrische wagen zonder fiscaal voordeel en batterij kopen	62.335	63.732	65.128	66.525	67.921	69.318	70.714	72.111
Elektrische wagen met fiscaal voordeel en batterij kopen	52.895	54.292	55.688	57.085	58.481	59.878	61.274	62.671
Elektrische wagen zonder fiscaal voordeel en batterij leasen	41.026	44.417	47.809	51.201	54.593	57.985	61.377	64.768
Elektrische wagen met fiscaal voordeel en batterij leasen	32.790	36.181	39.573	42.965	46.357	49.749	53.141	56.532
Elektrische wagen VS Benzinewagen								
Elektrische wagen zonder fiscaal voordeel en batterij kopen - Benzinewagen	25.632	23.173	20.714	18.255	15.796	13.337	10.877	8.418
Elektrische wagen met fiscaal voordeel en batterij kopen - Benzinewagen	16.192	13.733	11.274	8.815	6.356	3.897	1.437	-1.022
Elektrische wagen zonder fiscaal voordeel en batterij leasen - Benzinewagen	4.323	3.859	3.395	2.931	2.467	2.004	1.540	1.076
Elektrische wagen met fiscaal voordeel en batterij leasen - Benzinewagen	-3.913	-4.377	-4.841	-5.305	-5.769	-6.232	-6.696	-7.160
Elektrische wagen VS Dieselwagen								
Elektrische wagen zonder fiscaal voordeel en batterij kopen - Dieselwagen	24.941	23.314	21.686	20.059	18.431	16.804	15.177	13.549
Elektrische wagen met fiscaal voordeel en batterij kopen - Dieselwagen	15.501	13.874	12.246	10.619	8.991	7.364	5.737	4.109
Elektrische wagen zonder fiscaal voordeel en batterij leasen - Dieselwagen	3.632	3.999	4.367	4.735	5.103	5.471	5.839	6.207
Elektrische wagen met fiscaal voordeel en batterij leasen - Dieselwagen	-4.604	-4.237	-3.869	-3.501	-3.133	-2.765	-2.397	-2.029
Dieselwagen VS Benzinewagen								
Dieselwagen - Benzinewagen	691	-140	-972	-1.804	-2.636	-3.467	-4.299	-5.131

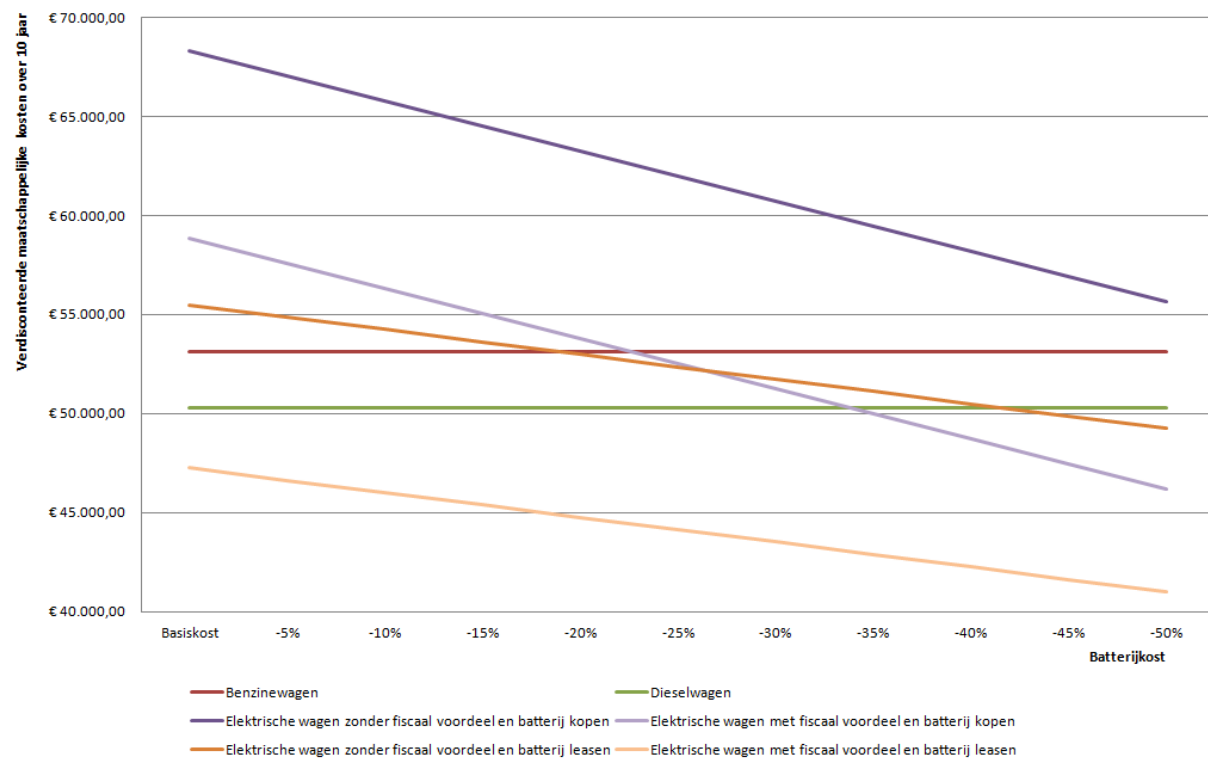
Aantal kilometer per jaar	25.000	27.500	30.000	32.500	35.000
Benzinewagen	67.548	71.404	75.260	79.115	82.971
Dieselwagen	61.586	64.609	67.633	70.657	73.681
Elektrische wagen zonder fiscaal voordeel en batterij kopen	73.507	74.904	76.301	77.697	79.094
Elektrische wagen met fiscaal voordeel en batterij kopen	64.067	65.464	66.861	68.257	69.654
Elektrische wagen zonder fiscaal voordeel en batterij leasen	68.160	71.552	74.944	78.336	81.728
Elektrische wagen met fiscaal voordeel en batterij leasen	59.924	63.316	66.708	70.100	73.492
Elektrische wagen VS Benzinewagen					
Elektrische wagen zonder fiscaal voordeel en batterij kopen - Benzinewagen	5.959	3.500	1.041	-1.418	-3.877
Elektrische wagen met fiscaal voordeel en batterij kopen - Benzinewagen	-3.481	-5.940	-8.399	-10.858	-13.317
Elektrische wagen zonder fiscaal voordeel en batterij leasen - Benzinewagen	612	148	-316	-780	-1.244
Elektrische wagen met fiscaal voordeel en batterij leasen - Benzinewagen	-7.624	-8.088	-8.552	-9.016	-9.480
Elektrische wagen VS Dieselwagen					
Elektrische wagen zonder fiscaal voordeel en batterij kopen - Dieselwagen	11.922	10.295	8.667	7.040	5.412
Elektrische wagen met fiscaal voordeel en batterij kopen - Dieselwagen	2.482	855	-773	-2.400	-4.028
Elektrische wagen zonder fiscaal voordeel en batterij leasen - Dieselwagen	6.575	6.943	7.311	7.678	8.046
Elektrische wagen met fiscaal voordeel en batterij leasen - Dieselwagen	-1.661	-1.293	-925	-558	-190
Dieselwagen VS Benzinewagen					
Dieselwagen - Benzinewagen	-5.963	-6.795	-7.626	-8.458	-9.290

Snijpunt Y-as	Rico	Vergelijking
28.991	1,54	$Y = 28991,27 + 1,54X$
31.346	1,21	$Y = 31346,27 + 1,21X$
59.542	0,56	$Y = 59541,98 + 0,56X$
50.102	0,56	$Y = 50101,98 + 0,56X$
34.242	1,36	$Y = 34241,98 + 1,36X$
26.006	1,36	$Y = 26005,98 + 1,36X$

Break-even (in kilometer)
31.058
21.461
28.298
-16.089
43.315
28.813
-19.677
36.289
7.078

Bron: Eigen verwerking.

Figuur B.2: Sensitiviteit van de batterijkosten op de totaal verdisconteerde maatschappelijke kosten in euro



Bron: Eigen verwerking.

Tabel B.2: Sensitiviteit van de batterijkosten op de totaal verdisconteerde maatschappelijke kosten in euro

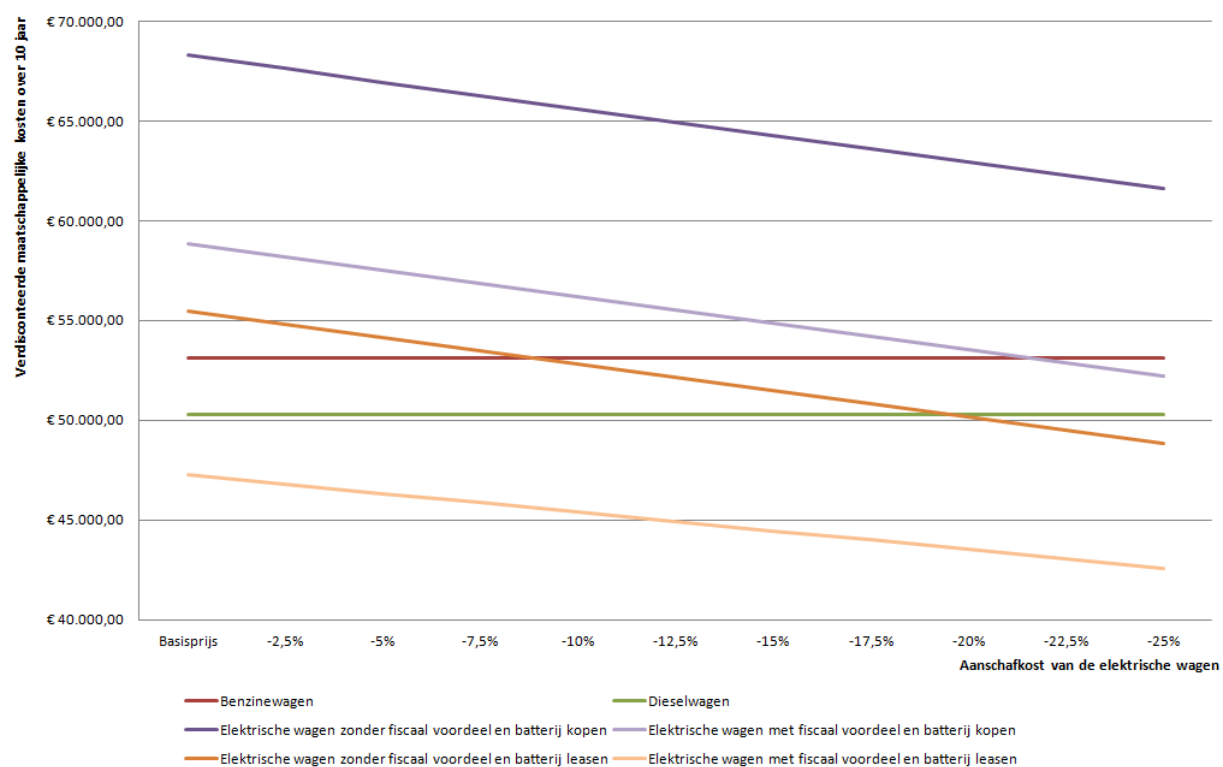
Batterijkosten	Basiskost	-5%	-10%	-15%	-20%	-25%	-30%
Benzinewagen	53.143	53.143	53.143	53.143	53.143	53.143	53.143
Dieselwagen	50.288	50.288	50.288	50.288	50.288	50.288	50.288
Elektrische wagen zonder fiscaal voordeel en batterij kopen	68.290	67.025	65.760	64.495	63.230	61.965	60.700
Elektrische wagen met fiscaal voordeel en batterij kopen	58.850	57.585	56.320	55.055	53.790	52.525	51.260
Elektrische wagen zonder fiscaal voordeel en batterij leasen	55.488	54.863	54.239	53.614	52.989	52.364	51.739
Elektrische wagen met fiscaal voordeel en batterij leasen	47.252	46.627	46.003	45.378	44.753	44.128	43.503
Elektrische wagen VS Benzinewagen							
Elektrische wagen zonder fiscaal voordeel en batterij kopen - Benzinewagen	15.147	13.882	12.617	11.352	10.087	8.822	7.557
Elektrische wagen met fiscaal voordeel en batterij kopen - Benzinewagen	5.707	4.442	3.177	1.912	647	-618	-1.883
Elektrische wagen zonder fiscaal voordeel en batterij leasen - Benzinewagen	2.345	1.720	1.095	470	-155	-780	-1.405
Elektrische wagen met fiscaal voordeel en batterij leasen - Benzinewagen	-5.891	-6.516	-7.141	-7.766	-8.391	-9.016	-9.641
Elektrische wagen VS Dieselwagen							
Elektrische wagen zonder fiscaal voordeel en batterij kopen - Dieselwagen	18.002	16.737	15.472	14.207	12.942	11.677	10.412
Elektrische wagen met fiscaal voordeel en batterij kopen - Dieselwagen	8.562	7.297	6.032	4.767	3.502	2.237	972
Elektrische wagen zonder fiscaal voordeel en batterij leasen - Dieselwagen	5.200	4.575	3.950	3.325	2.701	2.076	1.451
Elektrische wagen met fiscaal voordeel en batterij leasen - Dieselwagen	-3.036	-3.661	-4.286	-4.911	-5.535	-6.160	-6.785
Dieselwagen VS Benzinewagen							
Dieselwagen - Benzinewagen	-2.855	-2.855	-2.855	-2.855	-2.855	-2.855	-2.855

Batterijkosten	-35%	-40%	-45%	-50%	Snijpunt Y-as	Rico	Vergelijking
Benzinewagen	53.143	53.143	53.143	53.143	53.143	0	Y = 53143,40
Dieselwagen	50.288	50.288	50.288	50.288	50.288	0	Y = 50288,15
Elektrische wagen zonder fiscaal voordeel en batterij kopen	59.435	58.170	56.905	55.640	68.290	25300	Y = 68289,96 + 25300X
Elektrische wagen met fiscaal voordeel en batterij kopen	49.995	48.730	47.465	46.200	58.850	25300	Y = 58849,96 + 25300X
Elektrische wagen zonder fiscaal voordeel en batterij leasen	51.114	50.489	49.864	49.239	55.488	12498	Y = 55488,39 + 12498X
Elektrische wagen met fiscaal voordeel en batterij leasen	42.878	42.253	41.628	41.003	47.252	12498	Y = 47252,39 + 12498X

Elektrische wagen VS Benzinewagen					Break-even (daling van de batterijkost)	
Elektrische wagen zonder fiscaal voordeel en batterij kopen - Benzinewagen	6.292	5.027	3.762	2.497	-60%	
Elektrische wagen met fiscaal voordeel en batterij kopen - Benzinewagen	-3.148	-4.413	-5.678	-6.943	-23%	
Elektrische wagen zonder fiscaal voordeel en batterij leasen - Benzinewagen	-2.029	-2.654	-3.279	-3.904	-19%	
Elektrische wagen met fiscaal voordeel en batterij leasen - Benzinewagen	-10.265	-10.890	-11.515	-12.140	47%	
Elektrische wagen VS Dieselwagen						
Elektrische wagen zonder fiscaal voordeel en batterij kopen - Dieselwagen	9.147	7.882	6.617	5.352	-71%	
Elektrische wagen met fiscaal voordeel en batterij kopen - Dieselwagen	-293	-1.558	-2.823	-4.088	-34%	
Elektrische wagen zonder fiscaal voordeel en batterij leasen - Dieselwagen	826	201	-424	-1.049	-42%	
Elektrische wagen met fiscaal voordeel en batterij leasen - Dieselwagen	-7.410	-8.035	-8.660	-9.285	24%	
Dieselwagen VS Benzinewagen						
Dieselwagen - Benzinewagen	-2.855	-2.855	-2.855	-2.855	Geen snijpunt	

Bron: Eigen verwerking.

Figuur B.3: Sensitiviteit van de aanschafprijs van een elektrische wagen op de totaal verdisconteerde maatschappelijke kosten in euro



Bron: Eigen verwerking.

Tabel B.3: Sensitiviteit van de aanschafprijs van een elektrische wagen op de totaal verdisconteerde maatschappelijke kosten in euro

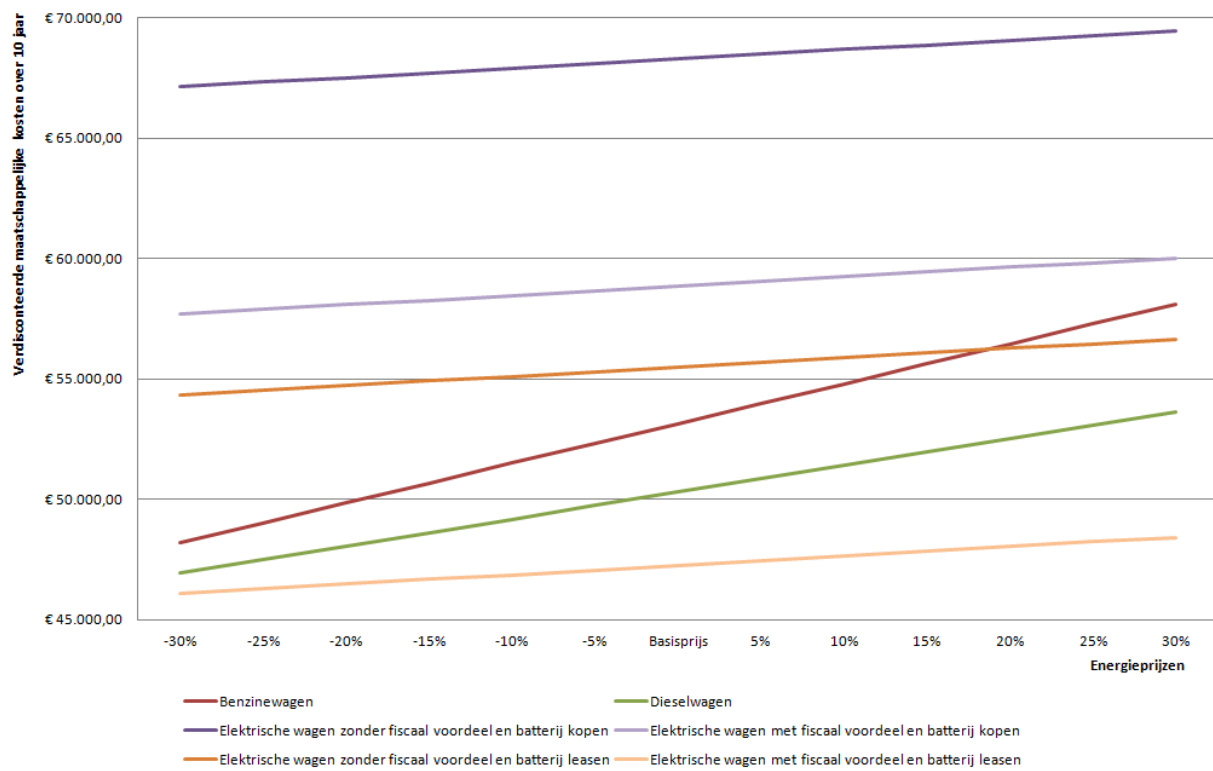
Aanschafprijs van de elektrische wagen	Basisprijs	-2,5%	-5%	-7,5%	-10%	-12,5%	-15%
Benzinewagen	53.143	53.143	53.143	53.143	53.143	53.143	53.143
Dieselwagen	50.288	50.288	50.288	50.288	50.288	50.288	50.288
Elektrische wagen zonder fiscaal voordeel en batterij kopen	68.290	67.624	66.959	66.293	65.628	64.962	64.297
Elektrische wagen met fiscaal voordeel en batterij kopen	58.850	58.184	57.519	56.853	56.188	55.522	54.857
Elektrische wagen zonder fiscaal voordeel en batterij leasen	55.488	54.823	54.157	53.492	52.826	52.161	51.495
Elektrische wagen met fiscaal voordeel en batterij leasen	47.252	46.787	46.321	45.855	45.389	44.923	44.457
Elektrische wagen VS Benzinewagen							
Elektrische wagen zonder fiscaal voordeel en batterij kopen - Benzinewagen	15.147	14.481	13.816	13.150	12.485	11.819	11.154
Elektrische wagen met fiscaal voordeel en batterij kopen - Benzinewagen	5.707	5.041	4.376	3.710	3.045	2.379	1.714
Elektrische wagen zonder fiscaal voordeel en batterij leasen - Benzinewagen	2.345	1.679	1.014	348	-317	-983	-1.648
Elektrische wagen met fiscaal voordeel en batterij leasen - Benzinewagen	-5.891	-6.357	-6.823	-7.289	-7.754	-8.220	-8.686
Elektrische wagen VS Dieselwagen							
Elektrische wagen zonder fiscaal voordeel en batterij kopen - Dieselwagen	18.002	17.336	16.671	16.005	15.340	14.674	14.009
Elektrische wagen met fiscaal voordeel en batterij kopen - Dieselwagen	8.562	7.896	7.231	6.565	5.900	5.234	4.569
Elektrische wagen zonder fiscaal voordeel en batterij leasen - Dieselwagen	5.200	4.535	3.869	3.204	2.538	1.873	1.207
Elektrische wagen met fiscaal voordeel en batterij leasen - Dieselwagen	-3.036	-3.502	-3.967	-4.433	-4.899	-5.365	-5.831
Dieselwagen VS Benzinewagen							
Dieselwagen - Benzinewagen	-2.855	-2.855	-2.855	-2.855	-2.855	-2.855	-2.855

Aanschafprijs van de elektrische wagen	-17,5%	-20%	-22,5%	-25%	Snijpunt Y-as	Rico	Vergelijking
Benzinewagen	53.143	53.143	53.143	53.143	53.143	0	Y = 53143,40
Dieselwagen	50.288	50.288	50.288	50.288	50.288	0	Y = 50288,15
Elektrische wagen zonder fiscaal voordeel en batterij kopen	63.631	62.966	62.300	61.635	68.290	26620	Y = 68289,96 + 26620X
Elektrische wagen met fiscaal voordeel en batterij kopen	54.191	53.526	52.860	52.195	58.850	26620	Y = 58849,96 + 26620X
Elektrische wagen zonder fiscaal voordeel en batterij leasen	50.830	50.164	49.499	48.833	55.488	26620	Y = 55488,39 + 26620X
Elektrische wagen met fiscaal voordeel en batterij leasen	43.991	43.526	43.060	42.594	47.252	18634	Y = 47252,39 + 18634X

Elektrische wagen VS Benzinewagen					Break-even (daling van de aanschafprijs van een elektrisch wagen)		
Elektrische wagen zonder fiscaal voordeel en batterij kopen - Benzinewagen	10.488	9.823	9.157	8.492	-57%		
Elektrische wagen met fiscaal voordeel en batterij kopen - Benzinewagen	1.048	383	-283	-948	-21%		
Elektrische wagen zonder fiscaal voordeel en batterij leasen - Benzinewagen	-2.314	-2.979	-3.645	-4.310	-9%		
Elektrische wagen met fiscaal voordeel en batterij leasen - Benzinewagen	-9.152	-9.618	-10.084	-10.550	32%		
Elektrische wagen VS Dieselwagen							
Elektrische wagen zonder fiscaal voordeel en batterij kopen - Dieselwagen	13.343	12.678	12.012	11.347	-68%		
Elektrische wagen met fiscaal voordeel en batterij kopen - Dieselwagen	3.903	3.238	2.572	1.907	-32%		
Elektrische wagen zonder fiscaal voordeel en batterij leasen - Dieselwagen	542	-124	-789	-1.455	-20%		
Elektrische wagen met fiscaal voordeel en batterij leasen - Dieselwagen	-6.297	-6.763	-7.228	-7.694	16%		
Dieselwagen VS Benzinewagen							
Dieselwagen - Benzinewagen	-2.855	-2.855	-2.855	-2.855	Geen snijpunt		

Bron: Eigen verwerking.

Figuur B.4: Sensitiviteit van de energieprijzen op de totaal verdisconteerde maatschappelijke kosten in euro



Bron: Eigen verwerking.

Tabel B.4: Sensitiviteit van de energieprijzen op de totaal verdisconteerde maatschappelijke kosten in euro

Energieprijzen	-30%	-25%	-20%	-15%	-10%	-5%	Basisprijs
Benzinewagen	48.177	49.005	49.833	50.660	51.488	52.316	53.143
Dieselwagen	46.935	47.494	48.052	48.611	49.170	49.729	50.288
Elektrische wagen zonder fiscaal voordeel en batterij kopen	67.123	67.317	67.512	67.706	67.901	68.095	68.290
Elektrische wagen met fiscaal voordeel en batterij kopen	57.683	57.877	58.072	58.266	58.461	58.655	58.850
Elektrische wagen zonder fiscaal voordeel en batterij leasen	54.321	54.516	54.710	54.905	55.099	55.294	55.488
Elektrische wagen met fiscaal voordeel en batterij leasen	46.085	46.280	46.474	46.669	46.863	47.058	47.252
Elektrische wagen VS Benzinewagen							
Elektrische wagen zonder fiscaal voordeel en batterij kopen - Benzinewagen	18.946	18.312	17.679	17.046	16.413	15.780	15.147
Elektrische wagen met fiscaal voordeel en batterij kopen - Benzinewagen	9.506	8.872	8.239	7.606	6.973	6.340	5.707
Elektrische wagen zonder fiscaal voordeel en batterij leasen - Benzinewagen	6.144	5.511	4.878	4.245	3.611	2.978	2.345
Elektrische wagen met fiscaal voordeel en batterij leasen - Benzinewagen	-2.092	-2.725	-3.358	-3.991	-4.625	-5.258	-5.891
Elektrische wagen VS Dieselwagen							
Elektrische wagen zonder fiscaal voordeel en batterij kopen - Dieselwagen	20.188	19.824	19.459	19.095	18.731	18.366	18.002
Elektrische wagen met fiscaal voordeel en batterij kopen - Dieselwagen	10.748	10.384	10.019	9.655	9.291	8.926	8.562
Elektrische wagen zonder fiscaal voordeel en batterij leasen - Dieselwagen	7.387	7.022	6.658	6.293	5.929	5.565	5.200
Elektrische wagen met fiscaal voordeel en batterij leasen - Dieselwagen	-849	-1.214	-1.578	-1.943	-2.307	-2.671	-3.036
Dieselwagen VS Benzinewagen							
Dieselwagen - Benzinewagen	-1.243	-1.511	-1.780	-2.049	-2.318	-2.586	-2.855

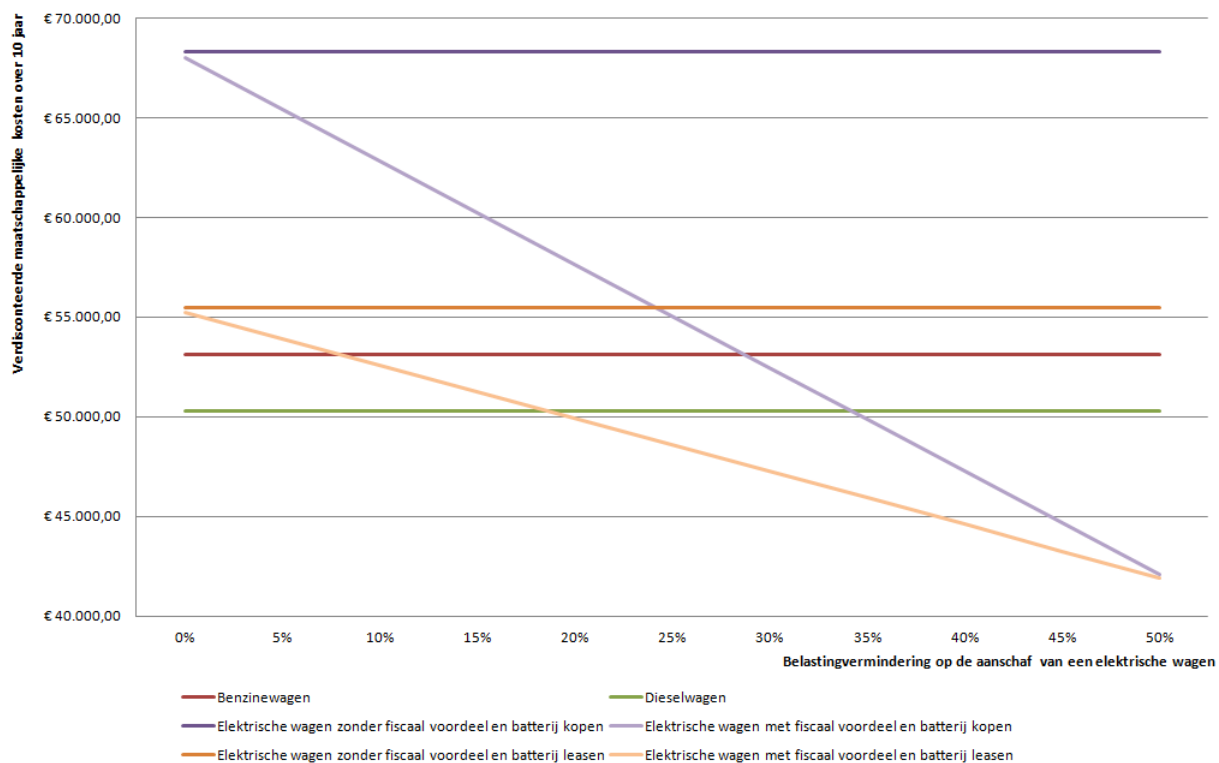
Energieprijzen	5%	10%	15%	20%	25%	30%
Benzinewagen	53.971	54.799	55.626	56.454	57.282	58.110
Dieselwagen	50.847	51.406	51.965	52.524	53.083	53.642
Elektrische wagen zonder fiscaal voordeel en batterij kopen	68.484	68.679	68.873	69.068	69.263	69.457
Elektrische wagen met fiscaal voordeel en batterij kopen	59.044	59.239	59.433	59.628	59.823	60.017
Elektrische wagen zonder fiscaal voordeel en batterij leasen	55.683	55.877	56.072	56.266	56.461	56.655
Elektrische wagen met fiscaal voordeel en batterij leasen	47.447	47.641	47.836	48.030	48.225	48.419
Elektrische wagen VS Benzinewagen						
Elektrische wagen zonder fiscaal voordeel en batterij kopen - Benzinewagen	14.513	13.880	13.247	12.614	11.981	11.347
Elektrische wagen met fiscaal voordeel en batterij kopen - Benzinewagen	5.073	4.440	3.807	3.174	2.541	1.907
Elektrische wagen zonder fiscaal voordeel en batterij leasen - Benzinewagen	1.712	1.079	445	-188	-821	-1.454
Elektrische wagen met fiscaal voordeel en batterij leasen - Benzinewagen	-6.524	-7.157	-7.791	-8.424	-9.057	-9.690
Elektrische wagen VS Dieselwagen						
Elektrische wagen zonder fiscaal voordeel en batterij kopen - Dieselwagen	17.637	17.273	16.909	16.544	16.180	15.815
Elektrische wagen met fiscaal voordeel en batterij kopen - Dieselwagen	8.197	7.833	7.469	7.104	6.740	6.375
Elektrische wagen zonder fiscaal voordeel en batterij leasen - Dieselwagen	4.836	4.471	4.107	3.743	3.378	3.014
Elektrische wagen met fiscaal voordeel en batterij leasen - Dieselwagen	-3.400	-3.765	-4.129	-4.493	-4.858	-5.222
Dieselwagen VS Benzinewagen						
Dieselwagen - Benzinewagen	-3.124	-3.393	-3.662	-3.930	-4.199	-4.468

Snijpunt Y-as	Rico	Vergelijking
53.143	16554	$Y = 53143,40 + 16554X$
50.288	11179	$Y = 50228,15 + 11179X$
68.290	3890	$Y = 68289,96 + 3890X$
58.850	3890	$Y = 58849,96 + 3890X$
55.488	3890	$Y = 55488,39 + 3890X$
47.252	3890	$Y = 47252,39 + 3890X$

Break-even (stijging of daling van de energieprijzen)
120%
45%
19%
-47%
247%
117%
71%
-42%
-53%

Bron: Eigen verwerking.

Figuur B.5: Sensitiviteit van de belastingvermindering voor de aanschaf van een elektrische wagen (zonder maximumbedrag) op de totaal verdisconteerde maatschappelijke kosten in euro



Bron: Eigen verwerking.

Tabel B.5: Sensitiviteit van de belastingvermindering voor de aanschaf van een elektrische wagen (zonder maximumbedrag) op de totaal verdisconteerde maatschappelijke kosten in euro

Belastingvermindering op aanschaf van een elektrische wagen	0%	5%	10%	15%	20%	25%	30%
Benzinewagen	53.143	53.143	53.143	53.143	53.143	53.143	53.143
Dieselwagen	50.288	50.288	50.288	50.288	50.288	50.288	50.288
Elektrische wagen zonder fiscaal voordeel en batterij kopen	68.290	68.290	68.290	68.290	68.290	68.290	68.290
Elektrische wagen met fiscaal voordeel en batterij kopen	68.040	65.444	62.848	60.252	57.656	55.060	52.464
Elektrische wagen zonder fiscaal voordeel en batterij leasen	55.488	55.488	55.488	55.488	55.488	55.488	55.488
Elektrische wagen met fiscaal voordeel en batterij leasen	55.238	53.907	52.576	51.245	49.914	48.583	47.252
Elektrische wagen VS Benzinewagen							
Elektrische wagen zonder fiscaal voordeel en batterij kopen - Benzinewagen	15.147	15.147	15.147	15.147	15.147	15.147	15.147
Elektrische wagen met fiscaal voordeel en batterij kopen - Benzinewagen	14.897	12.301	9.705	7.109	4.513	1.917	-679
Elektrische wagen zonder fiscaal voordeel en batterij leasen - Benzinewagen	2.345	2.345	2.345	2.345	2.345	2.345	2.345
Elektrische wagen met fiscaal voordeel en batterij leasen - Benzinewagen	2.095	764	-567	-1.898	-3.229	-4.560	-5.891
Elektrische wagen VS Dieselwagen							
Elektrische wagen zonder fiscaal voordeel en batterij kopen - Dieselwagen	18.002	18.002	18.002	18.002	18.002	18.002	18.002
Elektrische wagen met fiscaal voordeel en batterij kopen - Dieselwagen	17.752	15.156	12.560	9.964	7.368	4.772	2.176
Elektrische wagen zonder fiscaal voordeel en batterij leasen - Dieselwagen	5.200	5.200	5.200	5.200	5.200	5.200	5.200
Elektrische wagen met fiscaal voordeel en batterij leasen - Dieselwagen	4.950	3.619	2.288	957	-374	-1.705	-3.036
Dieselwagen VS Benzinewagen							
Dieselwagen - Benzinewagen	-2.855	-2.855	-2.855	-2.855	-2.855	-2.855	-2.855

Belasting vermindering op aanschaf van een elektrische wagen	35%	40%	45%	50%
Benzinewagen	53.143	53.143	53.143	53.143
Dieselwagen	50.288	50.288	50.288	50.288
Elektrische wagen zonder fiscaal voordeel en batterij kopen	68.290	68.290	68.290	68.290
Elektrische wagen met fiscaal voordeel en batterij kopen	49.868	47.272	44.676	42.080
Elektrische wagen zonder fiscaal voordeel en batterij leasen	55.488	55.488	55.488	55.488
Elektrische wagen met fiscaal voordeel en batterij leasen	45.921	44.590	43.259	41.928
Elektrische wagen VS Benzinewagen				
Elektrische wagen zonder fiscaal voordeel en batterij kopen - Benzinewagen	15.147	15.147	15.147	15.147
Elektrische wagen met fiscaal voordeel en batterij kopen - Benzinewagen	-3.275	-5.871	-8.467	-11.063
Elektrische wagen zonder fiscaal voordeel en batterij leasen - Benzinewagen	2.345	2.345	2.345	2.345
Elektrische wagen met fiscaal voordeel en batterij leasen - Benzinewagen	-7.222	-8.553	-9.884	-11.215
Elektrische wagen VS Dieselwagen				
Elektrische wagen zonder fiscaal voordeel en batterij kopen - Dieselwagen	18.002	18.002	18.002	18.002
Elektrische wagen met fiscaal voordeel en batterij kopen - Dieselwagen	-420	-3.016	-5.612	-8.208
Elektrische wagen zonder fiscaal voordeel en batterij leasen - Dieselwagen	5.200	5.200	5.200	5.200
Elektrische wagen met fiscaal voordeel en batterij leasen - Dieselwagen	-4.367	-5.698	-7.029	-8.360
Dieselwagen VS Benzinewagen				
Dieselwagen - Benzinewagen	-2.855	-2.855	-2.855	-2.855

Snijpunt Y-as	Rico	Vergelijking
53.143	0	Y = 53143,40
50.288	0	Y = 50288,15
68.290	0	Y = 68289,96
68.040	-51920	Y = 68039,97 - 51920X
55.488	0	Y = 55488,39
55.238	-26620	Y = 55238,39 - 26620X

Break-even (belastingvermindering op de aanschaf van een elektrische wagen)
Geen snijpunt
29%
Geen snijpunt
8%
Geen snijpunt
34%
Geen snijpunt
19%
Geen snijpunt

Bron: Eigen verwerking.

Tabel B.6: Sensitiviteit van de externe schadekosten (uitstoot van conventionele wagens en elektriciteitsproductie) op de totaal verdisconteerde maatschappelijke kosten in euro

Externe schadekosten uitstoot conventionele wagen	-50%	-40%	-30%	-20%	-10%	Basiskost	10%
Externe schadekosten uitstoot elektriciteitsproductie	50%	40%	30%	20%	10%	0%	-10%
Benzinewagen	52.678	52.771	52.864	52.957	53.050	53.143	53.236
Dieselwagen	49.823	49.916	50.009	50.102	50.195	50.288	50.381
Elektrische wagen zonder fiscaal voordeel en batterij kopen	68.350	68.338	68.326	68.314	68.302	68.290	68.278
Elektrische wagen met fiscaal voordeel en batterij kopen	58.910	58.898	58.886	58.874	58.862	58.850	58.838
Elektrische wagen zonder fiscaal voordeel en batterij leasen	55.548	55.536	55.524	55.512	55.500	55.488	55.476
Elektrische wagen met fiscaal voordeel en batterij leasen	47.312	47.300	47.288	47.276	47.264	47.252	47.240
Elektrische wagen VS Benzinewagen							
Elektrische wagen zonder fiscaal voordeel en batterij kopen - Benzinewagen	15.671	15.566	15.462	15.357	15.252	15.147	15.042
Elektrische wagen met fiscaal voordeel en batterij kopen - Benzinewagen	6.231	6.126	6.022	5.917	5.812	5.707	5.602
Elektrische wagen zonder fiscaal voordeel en batterij leasen - Benzinewagen	2.870	2.765	2.660	2.555	2.450	2.345	2.240
Elektrische wagen met fiscaal voordeel en batterij leasen - Benzinewagen	-5.366	-5.471	-5.576	-5.681	-5.786	-5.891	-5.996
Elektrische wagen VS Dieselwagen							
Elektrische wagen zonder fiscaal voordeel en batterij kopen - Dieselwagen	18.527	18.422	18.317	18.212	18.107	18.002	17.897
Elektrische wagen met fiscaal voordeel en batterij kopen - Dieselwagen	9.087	8.982	8.877	8.772	8.667	8.562	8.457
Elektrische wagen zonder fiscaal voordeel en batterij leasen - Dieselwagen	5.725	5.620	5.515	5.410	5.305	5.200	5.095
Elektrische wagen met fiscaal voordeel en batterij leasen - Dieselwagen	-2.511	-2.616	-2.721	-2.826	-2.931	-3.036	-3.141
Dieselwagen VS Benzinewagen							
Dieselwagen - Benzinewagen	-2.855	-2.855	-2.855	-2.855	-2.855	-2.855	-2.855

Externe schadekosten uitstoot conventionele wagen	20%	30%	40%	50%
Externe schadekosten uitstoot elektriciteitsproductie	-20%	-30%	-40%	-50%
Benzinewagen	53.329	53.422	53.515	53.608
Dieselwagen	50.474	50.567	50.660	50.753
Elektrische wagen zonder fiscaal voordeel en batterij kopen	68.266	68.254	68.242	68.230
Elektrische wagen met fiscaal voordeel en batterij kopen	58.826	58.814	58.802	58.790
Elektrische wagen zonder fiscaal voordeel en batterij leasen	55.464	55.452	55.440	55.428
Elektrische wagen met fiscaal voordeel en batterij leasen	47.228	47.216	47.204	47.192

Snijpunt Y-as	Rico	Vergelijking
53.143	930	$Y = 53143,40 + 930X$
50.288	930	$Y = 50288,15 + 930X$
68.290	-120	$Y = 68289,96 - 120X$
58.850	-120	$Y = 58849,96 - 120X$
55.488	-120	$Y = 55488,39 - 120X$
47.252	-120	$Y = 47252,39 - 120X$

Elektrische wagen VS Benzinewagen				
Elektrische wagen zonder fiscaal voordeel en batterij kopen - Benzinewagen	14.937	14.832	14.727	14.622
Elektrische wagen met fiscaal voordeel en batterij kopen - Benzinewagen	5.497	5.392	5.287	5.182
Elektrische wagen zonder fiscaal voordeel en batterij leasen - Benzinewagen	2.135	2.030	1.925	1.820
Elektrische wagen met fiscaal voordeel en batterij leasen - Benzinewagen	-6.101	-6.206	-6.311	-6.416
Elektrische wagen VS Dieselwagen				
Elektrische wagen zonder fiscaal voordeel en batterij kopen - Dieselwagen	17.792	17.687	17.582	17.477
Elektrische wagen met fiscaal voordeel en batterij kopen - Dieselwagen	8.352	8.247	8.142	8.037
Elektrische wagen zonder fiscaal voordeel en batterij leasen - Dieselwagen	4.990	4.885	4.780	4.675
Elektrische wagen met fiscaal voordeel en batterij leasen - Dieselwagen	-3.246	-3.351	-3.456	-3.561
Dieselwagen VS Benzinewagen				
Dieselwagen - Benzinewagen	-2.855	-2.855	-2.855	-2.855

Break-even (schadekost uitstoot conventionele wagens, schadekost uitstoot elektriciteitsproductie*(-1))	
1443%	
544%	
223%	
-561%	
1715%	
816%	
495%	
-289%	
Geen snijpunt	

Bron: Eigen verwerking.

Bijlage C: Statistische gegevens van de Monte Carlo simulatie

Tabel C.1: Statistische gegevens van figuur 5.10

	Statistic	Forecast values
►	Trials	200.000
	Base Case	€ 3.154,86
	Mean	€ 1.226,79
	Median	€ 1.276,98
	Mode	---
	Standard Deviation	€ 1.288,42
	Variance	€ 1.660.028,05
	Skewness	-0,2113
	Kurtosis	2,82
	Coeff. of Variability	1,05
	Minimum	-€ 4.489,44
	Maximum	€ 4.980,28
	Mean Std. Error	€ 2,88

Bron: Eigen verwerking.

Tabel C.2: Percentielen van figuur 5.10 (links) en figuur 5.11 (rechts)

	Percentile	Forecast values	Precision		Percentile	Forecast values	Precision
►	0%	-€ 4.489,44		►	0%	-€ 510,03	
	10%	-€ 479,44	€ 9,65		10%	€ 2.615,18	€ 8,34
	20%	€ 129,05	€ 8,58		20%	€ 3.142,10	€ 7,14
	30%	€ 567,26	€ 7,28		30%	€ 3.521,12	€ 6,44
	40%	€ 934,56	€ 6,87		40%	€ 3.844,14	€ 6,08
	50%	€ 1.276,98	€ 7,22		50%	€ 4.138,41	€ 5,74
	60%	€ 1.612,07	€ 7,24		60%	€ 4.419,88	€ 5,59
	70%	€ 1.955,21	€ 7,25		70%	€ 4.715,52	€ 5,80
	80%	€ 2.346,78	€ 7,19		80%	€ 5.046,25	€ 5,93
	90%	€ 2.867,20	€ 8,01		90%	€ 5.475,36	€ 6,98
	100%	€ 4.980,28			100%	€ 7.631,39	

Bron: Eigen verwerking.

Auteursrechtelijke overeenkomst

Ik/wij verlenen het wereldwijde auteursrecht voor de ingediende eindverhandeling:

Analyse van het overheidsbeleid ter ondersteuning van de elektrische wagen

Richting: **master in de toegepaste economische wetenschappen-beleidsmanagement**

Jaar: **2012**

in alle mogelijke mediaformaten, - bestaande en in de toekomst te ontwikkelen - , aan de Universiteit Hasselt.

Niet tegenstaand deze toekenning van het auteursrecht aan de Universiteit Hasselt behoud ik als auteur het recht om de eindverhandeling, - in zijn geheel of gedeeltelijk -, vrij te reproduceren, (her)publiceren of distribueren zonder de toelating te moeten verkrijgen van de Universiteit Hasselt.

Ik bevestig dat de eindverhandeling mijn origineel werk is, en dat ik het recht heb om de rechten te verlenen die in deze overeenkomst worden beschreven. Ik verklaar tevens dat de eindverhandeling, naar mijn weten, het auteursrecht van anderen niet overtreedt.

Ik verklaar tevens dat ik voor het materiaal in de eindverhandeling dat beschermd wordt door het auteursrecht, de nodige toelatingen heb verkregen zodat ik deze ook aan de Universiteit Hasselt kan overdragen en dat dit duidelijk in de tekst en inhoud van de eindverhandeling werd genotificeerd.

Universiteit Hasselt zal mij als auteur(s) van de eindverhandeling identificeren en zal geen wijzigingen aanbrengen aan de eindverhandeling, uitgezonderd deze toegelaten door deze overeenkomst.

Voor akkoord,

Roosen, Jorg

Datum: **29/05/2012**