

UNIVERSITEIT ANTWERPEN

FACULTEIT TOEGEPASTE ECONOMISCHE WETENSCHAPPEN

Oplaadinfrastructuur voor elektrische wagens in België

Een strategische, technologische en economische vergelijking

Michiel Claes

Masterproef voorgedragen tot het bekomen van de graad van:

Master in de Toegepaste Economische Wetenschappen
Handelsingenieur Bedrijfskunde & Technologie

Promotor: Prof. dr. Johan Braet

UNIVERSITEIT ANTWERPEN

FACULTEIT TOEGEPASTE ECONOMISCHE WETENSCHAPPEN

Oplaadinfrastructuur voor elektrische wagens in België

Een strategische, technologische en economische vergelijking

Michiel Claes

Masterproef voorgedragen tot het bekomen van de graad van:

Master in de Toegepaste Economische Wetenschappen
Handelsingenieur Bedrijfskunde & Technologie

Promotor: Prof. dr. Johan Braet

Voorwoord

Elektrische wagens zullen in de toekomst belangrijker worden. Hoe de oplaadinfrastructuur er kan uitzien is dan ook een hot topic. Vandaar mijn belangstelling om dit aspect tot het onderwerp van mijn masterproef te maken.

Graag wil ik alle mensen danken die hebben bijgedragen tot dit onderzoek.

Vooreerst dan ik mijn promotor, Professor Dr. Johan Braet. Hij was mijn mentor en inspirator. Hij hielp me bij het structureren van de inhoud en bracht specifieke aandachtspunten aan. Hij zorgde tevens voor waardevolle contactpersonen tijdens het voeren van mijn onderzoek.

Daarnaast druk ik graag mijn appreciatie uit voor de inzichten die diverse experts mij bijbrachten in de brede en complexe problematiek van de oplaadinfrastructuur voor elektrische voertuigen. De kennis en visies van deze experts waren bijzonder leerrijk en boeiend. Hun inbreng gaf een extra dimensie aan het resultaat van dit werk. Ik ben de Universiteit Antwerpen, Vrije Universiteit Brussel, Universiteit Gent, Inverto, BeCharged en vele anderen erg dankbaar voor hun bereidwillige medewerking. In het bijzonder dank ik Niels Leemput (Katholieke Universiteit Leuven) en Harold Perik (Flanders' Drive) voor hun tijd en geapprecieerde hulp bij het tot stand komen van mijn masterproef.

Verder gaat mijn oprechte waardering uit naar de Universiteit Antwerpen die me de afgelopen 5 jaar inwijdde in een breed scala van economische en technologische aspecten. Een bijzonder woord van dank voor de kansen die ik kreeg om via internationale uitwisselingsprogramma's met de universiteit van Singapore en Nantes mijn horizon en inzichten te verbreden. Naast het academische luik hebben deze ervaringen geleid tot een grotere zelfstandigheid en doorzettingsvermogen. Ze kwamen mij goed van pas bij het maken van deze masterproef.

Tot slot dank ik mijn ouders en broers Wouter en Stijn voor de boeiende discussies en waardevolle tips. Hun opbouwende feedback verhoogde de kwaliteit van mijn masterproef.

Zonder de inspiratie en inbreng van al deze mensen zou deze thesis niet zijn wat ze geworden is.

Samenvatting

De belangstelling om wagens niet meer op benzine of diesel te laden rijden is sterk toegenomen. De groeiende aandacht voor het milieu en de fors slinkende voorraad fossiele brandstoffen is hieraan niet vreemd. Zo wordt er ondermeer veel verwacht van elektrische wagens. Het grootste nadeel van deze voertuigen is momenteel, naast de aankoopprijs, de beperkte actieradius. Vandaag kan men met een elektrisch voertuig ongeveer 150 km rijden. Het is belangrijk na te denken op welke manieren batterijen opgeladen kunnen worden en hoe de oplaadinfrastructuur in de verdeelpunten (stations) er moet uitzien.

In mijn onderzoek werd nagegaan wat de verwachte penetratiegraad van elektrische voertuigen in België zal zijn en welke factoren de opkomst ervan ondersteunen. Vervolgens werd getracht een antwoord te geven op de vraag hoe voertuigbatterijen efficiënt en comfortabel opgeladen kunnen worden. Er werd aandacht besteed aan zowel draadloze als niet-draadloze oplaadtechnieken. Bij deze laatste kan men denken aan oplaadpalen en batterijwisselstations. Oplaadpalen worden via een stroomdraad rechtstreeks verbonden met de wagen om de batterij op te laden. In batterijwisselstations kan een lege batterij via een drive-in systeem zeer snel voor een volle ingeruild worden. Daarnaast is er ruime aandacht voor draadloze systemen. Een fysieke connectie is dan overbodig. Er werd nagegaan welke technieken het best geschikt zijn voor het draadloos opladen van voertuigbatterijen. Magnetische resonante inductie lijkt hierbij de meeste voordelen te bieden.

Uit ons vooronderzoek bleek dat er weinig vergelijkende analyses bestaan tussen de diverse oplaadtechnieken. Een van de doelstellingen van deze masterproef was de verschillende oplaadsystemen vanuit verschillende oogpunten te vergelijken: technisch, financieel en strategisch.

Deze studie leert dat het *technisch* mogelijk is met de voorgestelde systemen de batterijen van elektrische voertuigen te laden. Met betrekking tot het draadloos opladen dient er nog verder onderzocht te worden hoe de straling voor mens en elektronica beperkt kan worden.

In dit onderzoek is een *economisch* model ontworpen dat op basis van een kasstroomanalyse de interne opbrengstvoet berekent. Er is vastgesteld dat op korte termijn oplaadpalen het meest kostenefficiënt zijn, gevolgd door het draadloos opladen en het omwisselen van batterijen in stations.

Tot slot scoorden experts de verschillende oplaadtechnieken volgens een set van *strategische* criteria. Ook vanuit dit strategisch oogpunt zien experts op korte termijn het meest potentieel om elektrische voertuigen via laadpalen op te laden. Op middellange termijn kan het draadloos opladen een valabele concurrent worden. Er wordt verwacht dat batterijwisselstations en draadloos opladen in eerste instantie weggelegd zijn voor nichemarkten zoals vrachtwagenvervoer (wisselstations), taxistandplaatsen en openbaar vervoer (draadloos opladen).

Executive summary

The search for alternative transport systems has significantly increased worldwide. This is a result of the growing attention for the environment and the increasing scarcity of fossil fuels. Driving electric cars is one way to become less dependent of fossil fuels. Besides the purchasing cost, the main disadvantage of electric cars is the limited driving range. Nowadays, an electric car can drive up to 150 km in ideal conditions. Therefore, it will be very important to consider how these kinds of cars can be charged and how the charging infrastructure should look like.

In this study, we investigated the potential of electric cars in Belgium and examined the underlying factors that stimulate this demand. Furthermore, this paper inspected the various wireless and non-wireless charging possibilities for electric cars. For non-wireless charging systems one can think about the well-known charging points or battery swap stations. Charging points are directly connected with an electric wire to charge the battery. In a battery swap station it is possible to replace very quick an (empty) car battery for a full one. In addition, this study explores thoroughly the technologies that exist to transfer power without wires. Thanks to wireless charging, no physical connection is needed to charge the electric vehicle. This study found out that magnetic resonant induction seems to offer the most advantages to charge the battery.

Our preliminary investigation demonstrated that there are very few studies that actually compare the whole of charging techniques with each other. From this finding, one of the objectives of this thesis was to offer such a comparison from a technologic, financial and strategic perspective.

One of the lessons from this thesis is the *technical* feasibility of the proposed charging systems to charge the elective vehicle. With regards to the wireless charging techniques, further research is necessary to show how the radiation for people and the influence on electronics can be limited.

From the *economic* aspect, a discounted cash flow model has been developed to investigate the internal rate of return. This model showed that charging points are the most cost effective in the short term, followed by wireless charging techniques and battery swap stations.

As a last instrument, the different charging possibilities are scored from a set of *strategic* criteria by experts. From this strategic framework, experts see the most potential to charge electric vehicles by charging points in the short term. In the medium term, wireless charging can be an alternative. One can expect that battery swap stations and wireless charging to thrive in niche markets such as road transport (battery swap stations), taxi fleets and public transport (wireless charging)

Synthèse

La recherche de moyens de transport alternatifs prend aujourd'hui de plus en plus d'importance dans le monde entier. Ceci est le résultat à la fois de l'attention croissante qui est portée au respect de l'environnement et de la prise de conscience que la quantité de combustibles fossiles présents dans la terre est limitée. L'utilisation de voitures électriques est une solution qui permet aux hommes de diminuer leur dépendance face aux combustibles fossiles. Mis à part le prix d'achat, c'est la capacité de la batterie qui constitue l'inconvénient majeur à l'utilisation de ces véhicules. Aujourd'hui, une voiture électrique peut rouler 150 km dans des conditions idéales, une voiture classique permet aujourd'hui de rouler plus longtemps qu'une voiture électrique. Il est donc essentiel de réfléchir à la manière optimale dont on peut recharger la batterie de ces voitures et à la façon dont on doit adapter l'infrastructure routière.

Ce mémoire examine le potentiel d'utilisation des voitures électriques en Belgique et analyse les facteurs qui constituent la demande qui leur est liée. Il étudie également les différentes possibilités pour recharger les batteries de ces voitures, avec ou sans fil. Dans le cadre d'un système avec fil, on peut envisager la création de stations de recharge et de stations d'échange de batteries. Les stations de recharge seraient connectées directement à la voiture électrique via un fil conducteur. Dans une station d'échange de batteries, il serait possible d'échanger une batterie vide avec une batterie pleine, et ce rapidement. Cette étude va notamment explorer en profondeur les technologies qui existent pour transférer de l'énergie sans fil. Dans ce cadre, on constatera que le couplage inductif par résonance est le procédé qui offre aujourd'hui le plus d'avantages quant à la recharge des batteries des voitures électriques.

Dans le cadre des recherches préalables à l'élaboration de ce mémoire, j'ai constaté qu'il existe peu d'études qui comparent l'ensemble des techniques envisageables pour recharger des véhicules électriques. Étant donné ce constat, l'un des objectifs de ce mémoire est d'offrir une telle comparaison d'un point de vue technique, financier et stratégique.

L'un des enseignements de cette thèse est l'étude de la *faisabilité technique* concernant les systèmes de recharge des batteries actuellement proposés. Pour ce qui est de la transmission d'énergie sans fil, davantage d'études sont nécessaires, notamment pour mieux connaître les effets sur la santé humaine et sur le fonctionnement des systèmes électroniques de la radiation induite par ce procédé. Les études doivent notamment fixer le niveau d'impact acceptable.

Dans cette thèse, est présenté un modèle économique, développé sur la base d'une analyse des cash flow qui calcule le taux de rentabilité interne. À partir de cette analyse, on a constaté que les stations de recharge constituent la solution la plus rentable à court terme, puis viennent le transfert d'énergie sans fil et les stations d'échange de batteries.

Enfin, les différentes techniques de recharge présentées ont été évaluées par des experts grâce à une série de critères stratégiques. Dans ce cadre, les spécialistes considèrent que les stations de recharge constituent la technique ayant le plus fort potentiel à court terme. À moyen terme, notons que la transmission d'énergie sans fil constitue une technique très concurrentielle. Les études prévoient que, dans un premier temps, les stations d'échange et le transfert d'énergie sans fil se concentreront respectivement sur les transports routiers, le transport public et par taxi, qui constituent tous trois des marchés de niche.

Inhoudsopgave

Lijst van gebruikte afkortingen.....	1
Lijst van gebruikte figuren	2
Lijst van gebruikte tabellen.....	4
1 Inleiding.....	5
2 Studieomkadering en methodologische aspecten	6
2.1 Omvang en doelstellingen van de thesis	6
2.2 Methodologie	7
2.3 Structuur	8

Deel I – De ontwikkeling van elektrische voertuigen

3 Toekomstperspectief van elektrische voertuigen	11
3.1 Vraag naar EV	11
3.1.1 Pullfactoren.....	14
3.1.2 Pushfactoren.....	22
3.2 Conclusie	23

DEEL II – Oplaadmogelijkheden voor elektrische voertuigen

4 Niet-draadloze oplaadmogelijkheden.....	25
5 Draadloze oplaadmogelijkheden.....	28
5.1 Technische begrippen.....	28
5.2 Competitieve analyse.....	29
5.3 Vergelijking draadloze laadtechnieken	34
5.4 Conclusie	36

Deel III – Analyse oplaadmogelijkheden voor elektrische voertuigen

6 Analyse voorgestelde oplaadinfrastructuur.....	38
6.1 Parameters en assumpties voor financiële analyse.....	38
6.2 Laadpalen	44
6.2.1 Technische kenmerken.....	44
6.2.2 Financiële Analyse.....	46
6.3 Batterijwisselstations.....	50
6.3.1 Technische kenmerken.....	50
6.3.2 Financiële analyse	51
6.4 Draadloos laden.....	56
6.4.1 Technische kenmerken.....	56
6.4.2 Financiële analyse	57

6.5	Overzicht resultaten uit financiële analyse.....	61
6.6	Algemene aandachtspunten laadinfrastructuur	62
6.6.1	Gebrek aan standaarden	62
6.6.2	Problematiek privénetten	63
6.7	Strategische analyse oplaadmogelijkheden.....	65
6.7.1	Laadpalen	67
6.7.2	Batterijwisselstations	68
6.7.3	Draadloos laden.....	69
6.7.4	Conclusie strategische analyse	70
6.8	Conclusie	73

Deel IV – Aanbevelingen, verder onderzoek en conclusie

7	Aanbevelingen en verder onderzoek	75
8	Conclusie	79

Deel V – Bibliografie en appendix

Bibliografie.....	83	
Appendix	94	
I.	Onderzoeksresultaten Deloitte - Will consumers ride the electric vehicle wave?	94
II.	Marktcondities draadloze energie	95
III.	Toepassing: Oplaadmatten.....	97
IV.	Totstandkoming en normen ICNIRP	101
V.	Verklaring fysische grootheden.....	105

Lijst van gebruikte afkortingen

BEV	Battery Electric Vehicle
CAGR	Compound Annual Growth Rate
EC	Europese Commissie
EMS	Elektromagnetische straling
ENI	Europese Normalisatie-Instelling
EV	Elektrisch Voertuig
FCC	Federal Communications Commission
ICE	Internal Combustion Engine; auto met verbrandingsmotor
ICG	International Consulting Group
IEC	International Electrotechnical Commission
IEEE	Instituut voor Elektrische en Elektronische Ingenieurs
IFF	Identification Friend or Foe
MIT	Massachusetts Institute of Technology
ISO	International Organisation for Standardisation
NASA	National Aeronautics and Space Administration
PHEV	Plug-in hybride wagen
RFID	Radio-Frequency Identification
SDO	Standard Development Organization
WPC	Wireless Power Consortium

Lijst van gebruikte figuren

Figuur 1 - Evolutie aandeel elektrische voertuigen t.o.v. nieuwe autoverkoop	12
Figuur 2 - Aandeel PHEV/EV op nieuwe autoverkoop	12
Figuur 3 - Pull- en pushfactoren die de marktontwikkeling van EV ondersteunen	13
Figuur 4 - Determinanten vraag naar oplaadinfrastructuur	15
Figuur 5 - Parkeermogelijkheden per gebouwtype in België	16
Figuur 6 - Waardeketen autobatterij	18
Figuur 7 - Opsplitsing batterijkost voor Original Equipment Manufacturer (OEM)	19
Figuur 8 - Evolutie batterijkost/kWh periode 2009-2020	19
Figuur 9 - Overzicht gebruiksprofielen, snelheid en locatie oplaadinfrastructuur	26
Figuur 10 - Werking batterijwisselstation	27
Figuur 11 - Het elektromagnetisch spectrum	29
Figuur 12 - Overzicht draadloze energieoverdrachtsystemen	30
Figuur 13 - Basiscomponenten en equivalent elektrisch schema WiTricity	31
Figuur 14 - 'Magisch kader' bij magnetische resonante inductie	32
Figuur 15 - Efficiëntie versus afstand van verschillende energieoverdrachttechnologieën	35
Figuur 16 - Aantal benodigde publieke laadpunten	40
Figuur 17 - Aantal benodigde batterijwisselstations	42
Figuur 18 - Schematische voorstelling werking laadpaal	45
Figuur 19 - Interne opbrengstvoet laadpalen bij variërende prijs per kWh	48
Figuur 20 - Interne opbrengstvoet laadpalen bij variërende abonnementsprijs	49
Figuur 21 - Concept Better Place	51
Figuur 22 - Interne opbrengstvoet batterijwisselstation bij variërende prijs per wisselbeurt	55
Figuur 23 - Interne opbrengstvoet batterijwisselstation bij variërende abonnementsprijs	55
Figuur 24 - Concept WiTricity-laden	56

Figuur 25 - Efficiëntie van de vermogensoverdracht tussen zend- en ontvangspoel van WiTricity met wisselend vermogen (links); met wisselende afstand tussen de spoelen (rechts)	57
Figuur 26 - Rendement draadloos laden bij variërende prijs per kWh	59
Figuur 27 - Rendement draadloos laden bij variërende abonnementsprijs	60
Figuur 28 - Voor- en nadelen verschillende oplaadmogelijkheden	72
Figuur 29 - Segmentering Europese consumenten die een EV overweegt aan te schaffen ..	95
Figuur 30 - Gartner's 'Hype Cycle' voor opkomende technologieën	96
Figuur 31 - Technische opbouw oplaadmat	98
Figuur 32 - Grenswaarden voor elektrische, magnetische en elektromagnetische velden - publieke blootstelling	102
Figuur 33 - Actiewaarden voor elektrische, magnetische en elektromagnetische velden - publieke blootstelling	102
Figuur 34 - Grenswaarden voor elektrische, magnetische en elektromagnetische velden - professionele blootstelling	103
Figuur 35 - Actiewaarden voor elektrische, magnetische en elektromagnetische velden - professionele blootstelling	103

Lijst van gebruikte tabellen

Tabel 1 - Prognose aantal nieuw verkochte EV in België	11
Tabel 2 - Vergelijking huidige batterijtechnologieën	17
Tabel 3 - Totale jaarlijkse kost/km in 2020 voor ICE, EV en H ₂ -wagens	20
Tabel 4 - Onderverdeling draadloze energieoverdracht.....	30
Tabel 5 - Vergelijkingskader draadloze technologieën.....	35
Tabel 6 - Verwachte elektriciteitsvraag in publieke laadstations	40
Tabel 7 - Overzicht gebruikte parameters en assumpties.....	43
Tabel 8 - Verband stroomsituatie en laadsnelheden	46
Tabel 9 - Vergelijkingstabel laadpalen	47
Tabel 10 - Better Place's rentabiliteit.....	52
Tabel 11 - Vergelijking Israël - België.....	53
Tabel 12 - Indicatie materiaalkost draadloos laadsysteem	58
Tabel 13 - Overzicht resultaten uit financiële analyse	61
Tabel 14 - Strategisch vergelijkingskader oplaadsystemen	66
Tabel 15 - Bevindingen onderzoek Deloitte	94
Tabel 16 - Specificaties Powermat.....	99

1 Inleiding

Elektrische voertuigen (EV) zullen vanaf 2020 aan belang winnen (Vanbrussel & Hofs, 2011; Nemry & Brons, 2010). Enerzijds door technologische verbeteringen van de batterij en de uitbouw van een goede laadinfrastructuur. Anderzijds door regulering van de overheid (cfr. EU klimaatdoelstellingen). Deze laatste is het gevolg van de goedkeuring van het klimaatpakket door het Europees Parlement (17 december 2008) en de Raad van de EU (6 april 2009) (Valentine-Urbschat & Bernhart, 2009).

Het klimaatpakket heeft ondermeer tot doel de uitstoot van uitlaatgassen in de transportsector te laten dalen. Naast het verbeteren van de verbrandingsmotoren zal de opkomst van elektrische wagens belangrijk zijn om deze doelstellingen te behalen (Florian Hacker, 2009). Grote autoconstructeurs zoals Toyota (Toyota Prius), BMW (Mini E), Nissan (Leaf) en Citroën (C-Zero) brachten (hybride) elektrische voertuigen op de markt of plannen dit te doen. Door de opkomst van elektrische voertuigen dient er nagedacht te worden over hoe de batterijen opgeladen kunnen worden. Dergelijke wagens hebben een beperkte batterijcapaciteit. De C-Zero van Citroën heeft een bereik van 150 km. Elektrische voertuigen zullen dus veel frequenter van energie moeten voorzien worden dan diesel- en benzinewagens. In deze masterproef ligt de focus hoe de oplaadinfrastructuur er kan uitzien.

Momenteel zijn er drie mogelijkheden om elektrische wagens van energie te voorzien. Dit zijn: oplaadpalen, batterijwisselstations en een draadloos systeem om batterijen op te laden. Een oplaadpaal wordt via een stroomdraad rechtstreeks met de wagen verbonden om de batterij op te laden. In batterijwisselstations is het mogelijk via een drive-in systeem zeer snel de (lege) batterij om te wisselen voor een volle. Bij draadloze energieoverdracht wordt de batterij opgeladen door het elektrisch voertuig te plaatsen boven een speciale zender, ingebouwd in de grond.

Deze masterproef zal onder andere een antwoord bieden op vragen zoals hoe de markt voor elektrische voertuigen er in België zal uitzien, welke draadloze en niet-draadloze oplaadsystemen tot de mogelijkheden behoren en welke van deze oplaadsystemen op korte en lange termijn vanuit een technologisch, economisch en strategisch oogpunt te verkiezen zijn.

2 Studieomkadering en methodologische aspecten

2.1 Omvang en doelstellingen van de thesis

Er bestaan verschillende typen van elektrische voertuigen. In wat volgt wordt een EV gedefinieerd zoals de International Electrotechnical Commission deze karakteriseert (IEC 61851-1).

“Any vehicle propelled by an electric motor draining current from a rechargeable storage battery or from other portable energy storage devices (rechargeable, using energy from a source off the vehicle such as a residential or public electrical service), which is manufactured for use on public streets, roads or highways” (IEC 61851-1)

Tot deze definitie behoren dus enkel wagens voor een gebruik op publieke wegen en die opgeladen kunnen worden door het elektriciteitsnetwerk. Tot deze categorie behoren Plug-in Hybride wagens (PHEV) en 100% elektrische wagens (EV).

Deze masterproef zal inzoomen op de mogelijke oplaadinfrastructuur voor EV. We beseffen dat de invloed van EV vanuit meerdere hoeken kan bekeken worden zoals de gevolgen voor het elektriciteitsnetwerk, milieu-impact, vergelijking met waterstof en verbrandingswagens, etc. We kozen ervoor om vanuit een van de basisvoorwaarden te werken waaraan voldaan moet worden om de toekomst van EV te bewerkstelligen, het voorzien in goed uitgewerkte oplaadinfrastructuur zal immers een sleutelfactor zijn om het elektrisch wagenpark verder uit te bouwen (Croufer, 2011). EV moeten door de beperkte batterijcapaciteit meermaals opgeladen worden. Hieruit volgt dat de gebruiksvriendelijkheid van het laadsysteem zeer belangrijk is.

Deze masterproef tracht te beantwoorden aan een vijftal doelstellingen. Een *eerste doelstelling* bestaat erin de vraag naar EV in België in te schatten en na te gaan welke factoren deze vraag beïnvloeden of ondersteunen. Een *tweede doelstelling* van deze masterproef is na te gaan hoe deze EV kunnen geladen worden. Er wordt een onderscheid gemaakt tussen draadloze en niet-draadloze laadtechnieken. In de niet-draadloze oplaadmogelijkheden worden laadpalen en batterijwisselstations bestudeerd. In de draadloze laadtechnieken wordt bekeken welke technologieën toepasbaar zijn voor het laden van EV. Daar er verschillende mogelijkheden zijn om draadloos energie te versturen is een *derde doelstelling* na te gaan welke draadloze techniek het best past om EV op te laden. Verder stelden we vast dat er nog geen diepgaande vergelijkende analyse bestaat van de verschillende oplaadmogelijkheden (oplaadpalen, batterijwisselstations en draadloos laden). Een *vierde doelstelling* is dan ook deze vergelijkende analyse wél te bieden. Via het synthetiseren van het van onderzoeks- en overheidsinstellingen, wetenschappelijke artikels en interviews met experts trachten we deze doelstelling te bereiken. Als *vijfde doelstelling* poogt deze masterproef een voorkeur uit te drukken voor een van deze drie laadsystemen. Dit zal gebeuren aan de hand van een vergelijkende analyse op basis van een set van criteria.

Vanuit een praktisch oogpunt wordt gefocust op de situatie voor België. Desalniettemin biedt deze thesis voldoende vergelijkende inzichten die losstaan van de geografische locatie. Om een goede vergelijking te bieden tussen de verschillende oplaadmogelijkheden zal er gefocust worden op het stationair laden van elektrische wagens. Via draadloos laden is het immers mogelijk naast stationair ook dynamisch de accu te laden. In deze masterproef wordt slechts zeer sporadisch ingegaan op deze dynamische laadtechniek.

2.2 Methodologie

De bevindingen en inhoud van deze thesis zijn voornamelijk gebaseerd op een combinatie van literatuuronderzoek, expertinterviews en eigen onderzoek. Sommige hoofdstukken zijn puur gebaseerd op één van deze bronnen, andere zullen een mix van verschillende bronnen bevatten.

Literatuuronderzoek

Het onderzoek van Valentine-Urbschat & Bernhart (2009) zal in deel I – ‘*De ontwikkeling van elektrische voertuigen*’ als ruggengraat dienen om de factoren die vraag en aanbod naar EV ondersteunen te onderzoeken. In deel II – ‘Oplaadmogelijkheden voor elektrische voertuigen’ en deel III – ‘Analyse oplaadmogelijkheden voor elektrische voertuigen’ was het werk van Wiederer & Philip (2010); Wang, Ho, Fu & Sun (2010); Sample, Meyer & Smith (2011) belangrijk bij het verder uitwerken van de verschillende laadsystemen. Verder is er dankbaar gebruikt gemaakt van het analyserend kader, voorgesteld door Senart, Kurth & Roux (2010) om de verschillende laadsystemen strategisch te vergelijken.

Interviews

Dankzij de hulp van experts uit zowel de academische wereld als het bedrijfsleven zijn in deel III de verschillende laadmogelijkheden in een strategisch kader vergeleken. Deze interviews gaven waardevolle inzichten in het potentieel van draadloze energieoverdracht, de haalbaarheid en het toekomstperspectief.

Eigen onderzoek

In deze studie wordt een financieel model uitgewerkt voor de drie laadsystemen en worden deze ten slotte met elkaar vergeleken. De waarden en parameters die gebruikt worden zijn gebaseerd op literatuuronderzoek en interviews met experts. Verdere data met betrekking hoe dit model ontwikkeld wordt, zullen besproken worden in hoofdstuk 6. Verder is het strategisch kader uit hoofdstuk 6.7 opgesteld op basis van eigen onderzoek en samenwerking met verschillende experts.

2.3 Structuur

De masterproef is opgedeeld in vijf grote delen. In de volgende paragrafen wordt de structuur van deze thesis toegelicht.

In een *eerste deel* wordt de ontwikkeling van EV in België besproken. Dit eerste deel, met name hoofdstuk 3, gaat het marktpotentieel en de ondersteunende factoren voor de opkomst van EV na.

In een *tweede deel* worden de mogelijkheden besproken hoe elektrische wagens kunnen opgeladen worden. Hoofdstuk 4 bespreekt de niet-draadloze mogelijkheden waartoe oplaadpalen en batterijwisselstations behoren. Hoofdstuk 5 bestudeert de draadloze oplaadtechnieken. Hoofdstuk 5 gaat in een eerste deel dieper in op welke technologieën energie draadloos kunnen verzenden, waarna vervolgens wordt nagegaan welk systeem te verkiezen is voor het laden van elektrische wagens.

In een *derde deel* worden de voorgestelde laadtechnieken uit hoofdstuk 4 en 5 geanalyseerd. Dit deel omvat hoofdstuk 6 die de oplaadmogelijkheden zal bestuderen vanuit een technisch, financieel en strategisch perspectief. Dit hoofdstuk start met de parameters en assumpties te bespreken die voor de economische analyse gebruikt zullen worden (6.1). Daarna worden achtereenvolgens laadpalen (6.2), batterijwisselstations (6.3) en draadloos laden bestudeerd (6.4). In deze secties wordt gefocust op de technische en financiële kenmerken. Sectie 6.5 vergelijkt de economische resultaten van de verschillende oplaadmogelijkheden die in de voorgaande secties zijn berekend. Nadien worden enkele algemene aandachtspunten voor laadinfrastructuur besproken (6.6) alvorens de strategische analyse te starten laadsystemen (6.7). Deel drie sluit af met een algemene conclusie (6.7)

In het *vierde deel* zal vanuit het gevoerde onderzoek aanbevelingen naar de verschillende actoren maken, alsook verder noodzakelijk onderzoek toelichten (hoofdstuk 7). Een algemene conclusie die de verschillende hoofdstukken en delen samenvat kan in hoofdstuk 8 worden teruggevonden.

Het *vijfde deel* geeft een overzicht van de geraadpleegde bronnen (bibliografie) en omvat de bijlagen (appendix).

De volgende pagina toont een schematisch overzicht van de besproken structuur.

Deel I – De ontwikkeling van elektrische voertuigen

Toekomstperspectief van elektrische voertuigen
Hoofdstuk 3

- Marktpotentieel EV
- Ondersteunende factoren voor de opkomst van EV

DEEL II – Opladmogelijkheden voor elektrische voertuigen

Niet-draadloze opladmogelijkheden
Hoofdstuk 4

- Laadpalen
- Batterijwisselstations

Draadloze opladmogelijkheden
Hoofdstuk 5

- Draadloze energieoverdrachtsystemen
- Vergelijkende analyse

Deel III – Analyse opladmogelijkheden voor elektrische voertuigen

Analyse voorgestelde oplaadinfrastructuur
Hoofdstuk 6

Parameters en assumpties voor financiële analyse
Sectie 6.1

Laadpalen
Sectie 6.2

Batterijwisselstations
Sectie 6.3

Draadloos laden
Sectie 6.4

Overzicht resultaten uit financiële analyse
Sectie 6.5
Algemene aandachtspunten laadinfrastructuur
Sectie 6.6
Strategische analyse opladmogelijkheden
Sectie 6.7
Conclusie
Sectie 6.8

Deel IV – Aanbevelingen, verder onderzoek en conclusie

Aanbevelingen en verder onderzoek
Hoofdstuk 7
Conclusie
Hoofdstuk 8

Deel V – Bibliografie en appendix

Deel I – De ontwikkeling van elektrische voertuigen

Deel I focust op de ontwikkeling en toekomstperspectieven van elektrische voertuigen. Er wordt nagegaan wat de verwachte penetratiegraad van EV in België is en welke factoren vraag en aanbod stimuleren. Op die manier kan worden nagegaan in welke mate de ontwikkeling van deze voertuigen wordt ondersteund.

3 Toekomstperspectief van elektrische voertuigen

Hoofdstuk 3 gaat na hoe de toekomst van elektrische wagens wordt ingeschat. Sectie 3.1 bespreekt de studies die de vraag naar EV hebben geanalyseerd. Verder zal aan de hand een rapport van Roland Berger (Valentine-Urbschat & Bernhart, 2009) de kwalitatieve factoren worden nagegaan die de ontwikkeling van EV bevorderen. Deze factoren worden verder aangevuld met studies van o.a. de Boston Consulting Group (2009) en Wiederer & Philip (2010).

3.1 Vraag naar EV

De schattingen voor het te verwachten aantal EV in België in 2020 lopen erg uiteen. Van een kleine 200.000 (International Consulting Group, 2010) tot 1.000.000 (eNovates, 2010) wagens. Volgens het rapport van de International Consultancy Group (2010) zouden er 44.000 nieuwe elektrische wagens verkocht worden in 2020 in België. De ICG berekende hierbij dat het jaarlijks gemiddelde groeipercentage (CAGR) 39% bedraagt (zie tabel 1). Het ICG-rapport stelt dat België een tragere ontwikkeling zal kennen t.o.v. de rest van West-Europa. Dit komt doordat er weinig Belgische bedrijven een speciaal belang in EV hebben en dat de oplaadinfrastructuur eerder zal gedreven worden door de elektrische wagens dan omgekeerd (International Consulting Group, 2010). Bovendien benadrukt het rapport dat de hoge prijs van de EV een probleem kan vormen indien men dit vergelijkt met het jaarlijks aantal gereden kilometers, waardoor de jaarlijkse besparing aan o.a. benzinekosten relatief klein blijft. Het rapport schat het aandeel EV registraties t.o.v. het totaal aantal nieuwe registraties in 2020 rond de 7% (zie figuur 1).

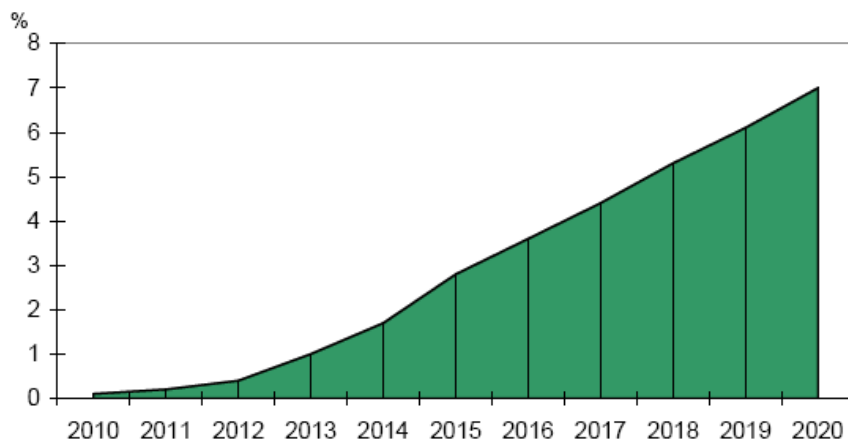
Tabel 1 - Prognose aantal nieuw verkochte EV in België

Jaar	Omzet	Groei	Gemiddelde prijs	Groei	Verkochte eenheden	Groei
	€ '000	%	€	%	'000	%
2010	6.747		28.110		0	
2011	26.439	291,9	26.710	-5,0	1	312,5
2012	52.527	98,7	26.000	-2,6	2	104,0
2013	132.829	152,9	25.300	-2,7	5	159,9
2014	220.523	66,0	24.250	-4,2	9	73,2
2015	353.916	60,5	23.190	-4,3	15	67,8
2016	442.321	25,0	22.140	-4,5	20	30,9
2017	511.160	15,6	20.380	-7,9	25	25,5
2018	663.647	16,1	18.980	-6,9	31	24,7
2019	666.855	12,4	17.920	-5,6	37	19,0
2020	728.347	9,2	16.520	-7,8	44	18,5
CAGR 2010-2020	39%		-5%		46%	

Noot: Originële waarden, uitgedrukt in dollar, werden geconverteerd naar euro volgens wisselkoers uit *De Standaard* van 19/05/2011: \$ 1 = € 0,7028

Bron: (International Consulting Group, 2010), geraadpleegd op 2 januari 2011 uit: http://www.just-auto.com/store/samples/2010_icg_ecars_europe_sample.pdf

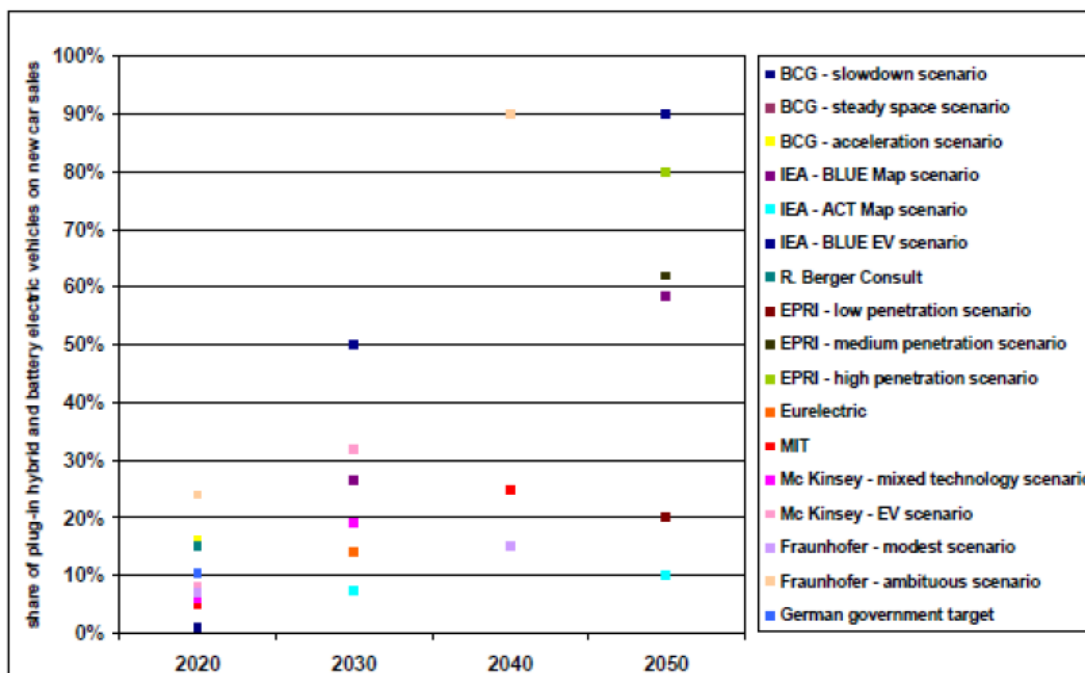
Figuur 1 - Evolutie aandeel elektrische voertuigen t.o.v. nieuwe autoverkoop



Bron: (International Consulting Group, 2010), geraadpleegd op 2 januari 2011 uit: http://www.just-auto.com/store/samples/2010_icg_ecars_europe_sample.pdf

Andere studies schatten de situatie (erg) verschillend in. Figuur 2 geeft een overzicht van het aandeel EV op nieuwe autoverkopen van 2020 tot 2050. Uit deze figuur volgt dat een penetratiegraad van 2% tot 25% mogelijk is. Zo is het verwachte aandeel EV t.o.v. het totale wagenpark volgens het Federaal Planbureau ongeveer 2% of zo een 183.000 wagens in 2020 (Devogelaer & Gusbin, 2010). Dit cijfer kan erg sterk veranderen indien men ook het aandeel plug-in hybride wagens (PHEV) in rekening brengt. Volgens een studie van Eurelectric (2007) zouden PHEV een marktaandeel behalen van 8% tot 20% in 2030. Uit interviews met experts, uitgevoerd door het Planbureau, zouden EV in België dan weer een marktaandeel van 15% kunnen halen (Devogelaer & Gusbin, 2010).

Figuur 2 - Aandeel PHEV/EV op nieuwe autoverkoop



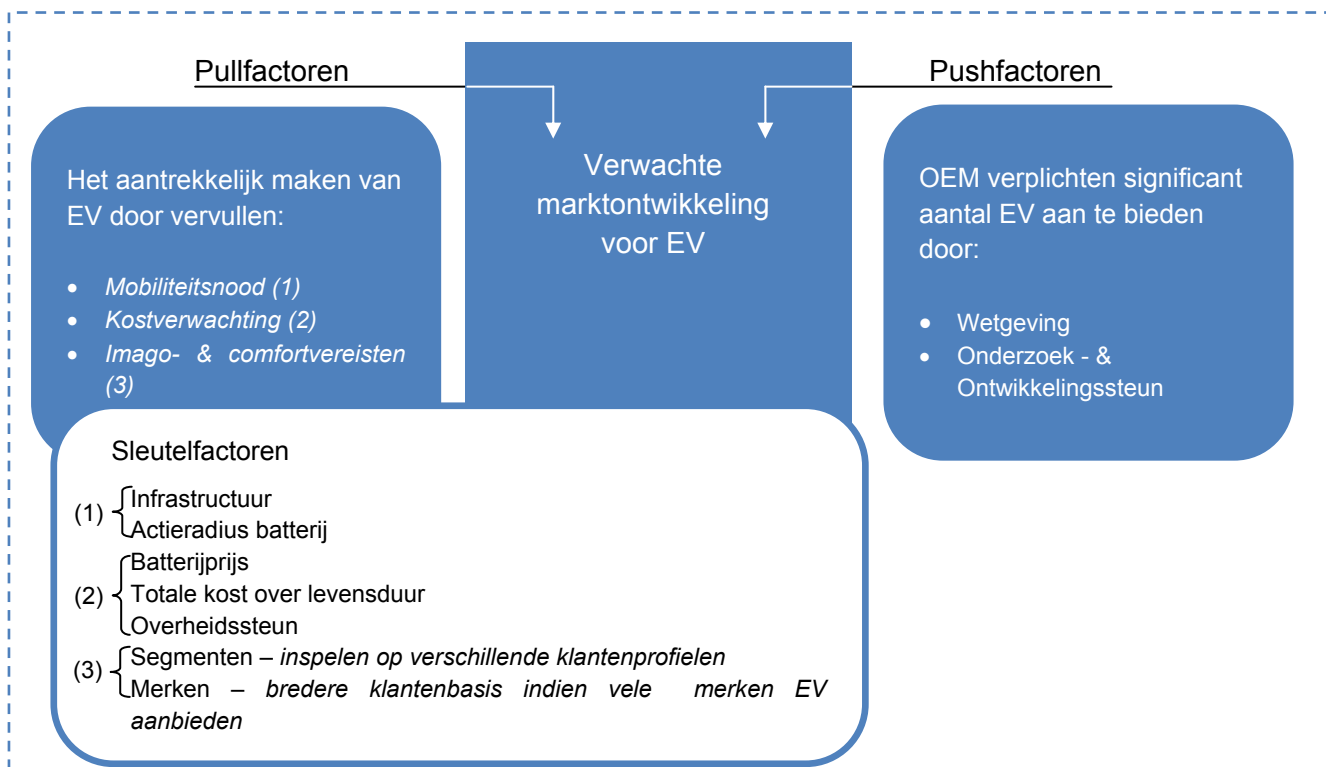
Bron: (Florian Hacker, 2009), geraadpleegd op 25 januari 2011 uit: http://acm.eionet.europa.eu/docs/ETCACC_TP_2009_4_electromobility.pdf

Het geschatte marktpotentieel is dus erg variabel en moeilijk in te schatten. Dit is een bekend fenomeen van disruptieve technologieën die nog niet volledig door de markt aanvaard zijn. Het maken van voorspellingen is dan ook erg gevaarlijk (Valentine-Urbschat & Bernhart, 2009). Bovendien zullen overheden erg belangrijk zijn in het stimuleren van EV, de acties die deze overheden ondernemen zijn eveneens moeilijk te voorspellen (Valentine-Urbschat & Bernhart, 2009).

Door deze onzekerheid van het geschatte aantal EV op de markt is het nuttig de criteria na te gaan die vraag en aanbod van elektrische voertuigen stimuleren. In een onderzoeksrapport van Roland Berger 'Powertrain 2020 – The Future Drives Electric' (2009) wordt de ontwikkeling van EV gekarakteriseerd door pull- en pushfactoren (zie figuur 3).

Pullfactoren dienen EV aantrekkelijker te maken door het vervullen van de mobiliteitsnood, kostverwachting, imago- en comfortvereisten van de eindgebruikers. Deze kunnen elk in twee sleutelfactoren onderverdeeld worden. Tot de pushfactoren behoren stimulansen die het aanbod van EV moeten aanmoedigen. Dit model zal verder aangevuld worden met andere (recentere) onderzoeken van o.a. The Boston Consulting Group (2010), Deloitte (2011) en ING (van Woelderen, 2011). Figuur 3 geeft een overzicht van de factoren die besproken zullen worden.

Figuur 3 - Pull- en pushfactoren die de marktontwikkeling van EV ondersteunen



Bron: Eigen samenstelling op basis van (Valentine-Urbschat & Bernhart, 2009) Geraadpleegd op 11 maart 2011 uit: http://www.rolandberger.com/media/pdf/Roland_Berger_Powertrain_2020_20110215.pdf

3.1.1 Pullfactoren

Het vervullen van de drie pullfactoren: mobiliteitsnood, kostverwachting, imago- en comfortvereisten zorgen ervoor dat EV aantrekkelijker zullen worden voor de consument. Valentine-Urbschat & Bernhart (2009) splitsen deze determinanten verder op in enkele sleutelfactoren. De volgende paragrafen verklaren elke factor (*zie cursief*) met haar bijhorende determinanten (*zie onderlijnd*).

Elektrische voertuigen zullen een even aantrekkelijk aanbod moeten bieden t.o.v. de klassieke wagen om op de *mobiliteitsnood* van de automobilist in te spelen. Dit wil zeggen dat er voorzien moet worden in een ruime oplaadinfrastructuur en de actieradius van de batterij voldoende groot moet zijn.

Er moet bovendien voldaan worden aan de *kostverwachting* van de consument bij de aankoop van een EV. Deze kost is enerzijds afhankelijk van de batterijprijs, onderhouds- en verbruikskosten (totale kost over levensduur), anderzijds van de steun die door de overheid gegeven wordt.

Tot slot dienen wagens te voldoen aan de *imago- en comfortvereisten* van de gebruiker. Men kan hierop inspelen door EV aan te bieden in voldoende consumentensegmenten. Er dient een gevarieerd aanbod te ontstaan van snelle, krachtige, zuinige, chique, kleine en grote modellen. Hierbij zullen klanten ook een merkenvoorkeur hebben (bv. BMW, Toyota, etc.). Indien elk van deze merken EV aanbieden in hun gamma zal er een bredere consumentenbasis ontstaan voor deze alternatieve wagens (Valentine-Urbschat & Bernhart, 2009).

In wat volgt worden de verschillende sleutelfactoren (i.e. mobiliteitsnood, kostverwachting en imago-/comfortvereisten) in detail besproken met hun respectievelijke determinanten.

Mobiliteitsnood

Indien elektrische voertuigen een groot marktpotentieel wil halen moeten deze even handig in gebruik zijn als wagens met een verbrandingsmotor. Enerzijds is er een uitgebreide oplaadinfrastructuur nodig, anderzijds moet de batterijcapaciteit voldoende groot zijn.

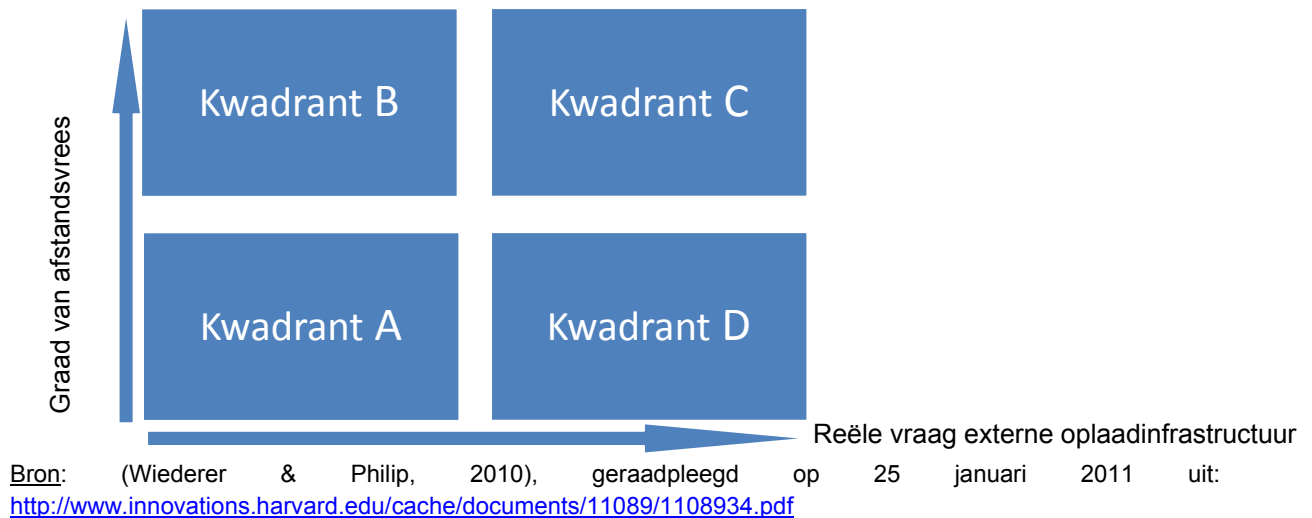
- Oplaainfrastructuur

De mogelijke infrastructuur komt in deel 2 - 'Oplaaadmogelijkheden voor elektrische voertuigen' verder aan bod. Nu wordt dieper ingegaan op het psychologisch belang van oplaadinfrastructuur en de mogelijkheid om deze infrastructuur thuis te voorzien.

Wiederer en Philip (2010) beschreven de psychologische factoren waar oplaadinfrastructuur dient aan te voldoen. Een van de begrippen die ze hanteren is 'afstandsvrees'. Dit psychologisch fenomeen beschrijft de vrees van automobilisten dat ze niet ver kunnen rijden met hun wagen uit schrik voor een lege accu. Momenteel zijn er testen in verschillende steden, waaronder Singapore, om data te verkrijgen over dit fenomeen. Uit dit onderzoek zal men vervolgens trachten in te schatten hoeveel laadstations er nodig zouden zijn om deze vrees voldoende terug te dringen. Wiederer en Philip (2010) ontwikkelden een matrix met de verschillende mogelijke graden van afstandsvrees t.o.v. de reële vraag naar externe

oplaadstations. Op deze manier ontstaat een generieke matrix zoals weergegeven in figuur 4.

Figuur 4 - Determinanten vraag naar oplaadinfrastructuur



In *kwadrant A* laden automobilisten voornamelijk thuis hun EV op. Bovendien is de afstandsrees laag. Onder deze condities zal enkel een beperkt aantal strategische oplaadstations noodzakelijk zijn, aangezien er geen significante vraag is in reële noch psychologische termen. In *kwadrant B* is er een kleine vraag naar oplaadmogelijkheden, maar door de grote angst van de consument om zonder elektriciteit te vallen wordt er een psychologische vraag gecreëerd. Dit heeft tot gevolg dat er een gelimiteerd aantal oplaadvoorzieningen geïnstalleerd zouden moeten worden op plaatsen die erg zichtbaar zijn. Zodoende wordt deze afstandsrees verkleind. *Kwadrant C en D* voorzien in een hoge vraag naar externe oplaadmogelijkheden. Dit vraagt om een groot aantal publieke oplaadplaatsen. De psychologische vrees heeft slechts een beperkte invloed op de oplaadinfrastructuur aangezien de reële vraag voldoende groot is om een oplaadnetwerk uit te bouwen.

De positie van de consument in deze matrix heeft een belangrijke invloed op het business model van de aanbieders van oplaadinfrastructuur. Zo biedt een *prijs per kWh* of een *abonnementsmodel* mogelijkheden voor kwadrant C en D. Er is immers een hoog gebruik van de infrastructuur. In kwadrant B heeft een prijs per kWh mogelijk een negatieve financiële impact aangezien er een psychologische (niet reële) vraag is naar oplaadinfrastructuur.

In de volgende paragraaf wordt een inschatting gemaakt in welk kwadrant België zich bevindt. Dit is enerzijds afhankelijk van de afstandsrees van Belgische automobilisten en anderzijds de reële vraag naar externe laadinfrastructuur. Vooraleer dieper op deze determinanten in te gaan is het nuttig het jaarlijks gebruik van wagens te bespreken.

Belgische wagens rijden gemiddeld 15.000 km per jaar, 90% van onze trips zijn kleiner dan 40 km en meer dan 95% van de trips zijn kleiner dan 80 km (International Consulting Group, 2010). De huidige accu's van elektrische wagens hebben een gemiddeld bereik van 120 à 150 km. Dit is dus voldoende om in de meeste gevallen na de rondtrip, thuis te kunnen opladen.

Vervolgens dient men de vraag te stellen in welke mate men in België thuis kan opladen en dus geen gebruik hoeft te maken van externe laadinfrastructuur. Het begrip ‘graad van thuisladen’ kan hierbij helpen en wordt uitgedrukt als:

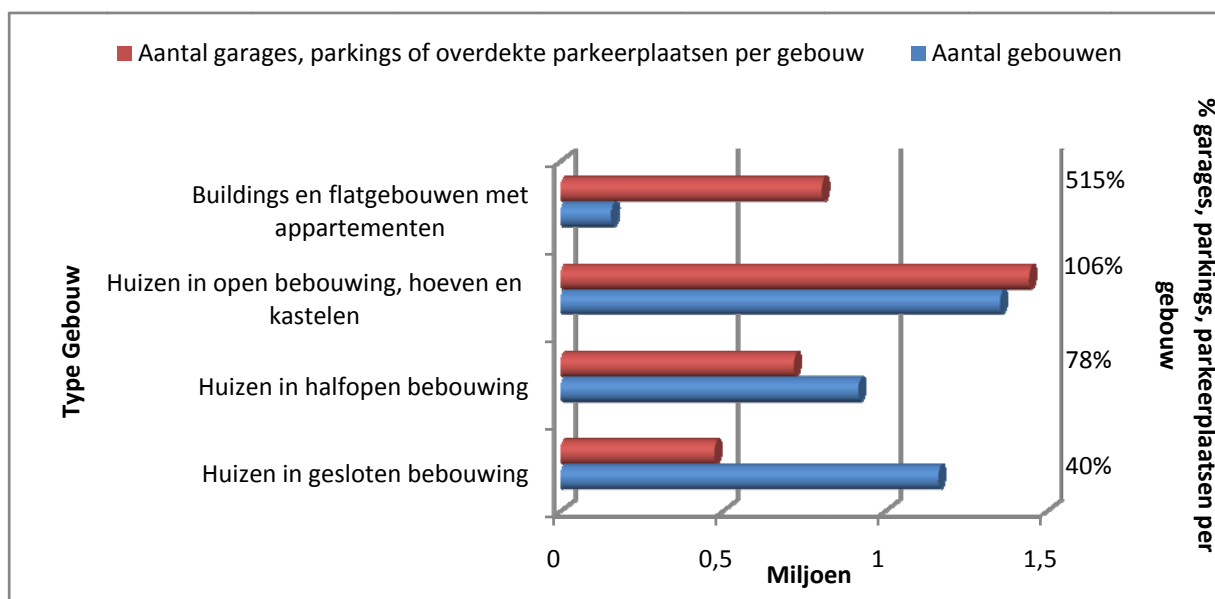
$$\text{Graad van thuisladen} = \frac{\text{Aantal oplaadbeurten thuis}}{\text{Totaal aantal oplaadbeurten}}$$

Indien deze ratio hoog zou zijn, is een beperkt aantal publieke laadmogelijkheden voldoende. Een kleine ratio noodzaakt een geografisch uitgebreid gebied en een relatief hoog aantal laadstations waar automobilisten hun EV kunnen opladen. Het is duidelijk dat dit een zeer belangrijke factor zal zijn in de ontwikkeling van een publieke laadinfrastructuur.

Er zijn nog geen exacte gegevens van deze graad beschikbaar, maar een belangrijke invloed zal zijn of men thuis de mogelijkheid heeft om de wagen op te laden. Het is aannemelijk dat deze mogelijkheid afhankelijk is of men thuis al dan niet beschikt over een garage, parking of overdekte parkeerplaats. Het is gemakkelijker voor huishoudens die over een dergelijke parkeerplaats beschikken om hun EV van energie te voorzien. Huishoudens die er niet over beschikken zullen meer afhankelijk zijn van publieke laadinfrastructuur.

Figuur 5 toont aan dat het percentage parkeergelegenheden per gebouw vrij hoog is. 40% van de huizen in een gesloten bebouwing beschikt over een garage, overdekte parkeerplaats of parking. Voor huizen in een halfopen- en open bebouwing loopt dit op tot 78%, respectievelijk 106%. Het aantal beschikbare parkeerplaatsen per flatgebouw is zelfs vijf keer zoveel. Dit indiceert dat Belgen een hoge graad van thuisladen zouden kunnen hebben waardoor er een beperkte publieke infrastructuur noodzakelijk is, maar een uitgebreider netwerk van oplaadstations thuis. Dit brengt België, afhankelijk van de afstandsvrees, in kwadrant A of B. Verder onderzoek is noodzakelijk om de sterkte van deze afstandsvrees na te gaan.

Figuur 5 - Parkeermogelijkheden per gebouwtype in België



Bron: Eigen samenstelling op basis van de statistieken van de databank van Statbel. Geraadpleegd op 15 januari 2011 uit: http://statbel.fgov.be/nl/statistieken/cijfers/economie/bouw_industrie/gebouwenpark/index.jsp

- Batterijperformantie

Een tweede factor die de mobiliteitsnood van autobestuurders beïnvloed is de batterijperformantie. Autobatterijen in de huidige voertuigen met verbrandingsmotor zijn traditioneel gebaseerd op lood. Deze vertonen, ondanks hun hoge gewicht, interessante kenmerken. Ze kunnen veel stroom leveren voor een korte periode wat nuttig is tijdens het starten van de wagen en ze zijn goedkoop (Electrification Coalition, 2009). De energiedichtheid¹ echter is erg laag, ongeveer 40 Wh/kg. De energiedichtheid is een belangrijke eigenschap voor elektrische auto's omdat deze het gewicht en -volume bepaald dat de batterij in het EV inneemt (Zerauto, 2010). Het hoge gewicht van de loodbatterij maakt dat deze niet erg geschikt is voor elektrische wagens. Nikkel-metaalhybrides bevatten superieure kenmerken t.o.v. loodbatterijen, maar kosten ook meer. Ze werden ondermeer gebruikt in vroegere generaties van elektrische wagens zoals de GM EV1 eind jaren 90 (Electrification Coalition, 2009). Dit type van batterijen wordt momenteel nog gebruikt in hybride wagens zoals de Toyota Prius. Voor de huidige en toekomstige EV wordt veel verwacht van lithium-ion batterijen. Deze maken gebruik van het lichtste metaal uit de periodieke tabel, hebben een hoge energie- en vermogensdichtheid² en een acceptabel batterijgewicht. Een hogere vermogensdichtheid zorgt ervoor dat EV beter zullen kunnen versnellen (Zerauto, 2010). Bovendien kennen dergelijke batterijen geen geheugeneffect, waardoor de capaciteit van de batterij lager lijkt te worden, naarmate deze meer opgeladen wordt (Wang, Xu, & Jones, 2011). Tabel 2 geeft een overzicht van de besproken batterijtypes.

Door technologische ontwikkelingen verwacht men dat de batterijcapaciteit sterk zal verbeteren in de toekomst. Volgens een ING-rapport (van Woelderren, 2011) zou de actieradius van een 200 kg lithiumbatterij in 2020 stijgen tot 350 km. Vandaag kan men met hetzelfde gewicht 100 à 170 km afleggen (van Woelderren, 2011).

Tabel 2 - Vergelijking huidige batterijtechnologieën

batterijtype	Energiedichtheid (Wh/kg)	Vermogensdichtheid (W/kg)	Levensduur (aantal laadcycli)	Euro/kWh	Gewicht 10 kWh batterij (kg)
Lood-zuur	25	200 - 300	500 - 1000	100 - 200	400
Nikkel-metaalhybride	50 - 75	10 - 1000	1000 - 2000	840	130 - 200
Lithium-ion	50 - 175	10 - 9000	> 7000	600 - 800	60 - 130

Bron: Eigen ontwerp op basis van (Florian Hacker, 2009); (Electrification Coalition, 2009); (van den Bulk, 2009); (Dinger, Martin, Mosquet, & e.a., Batteries for Electric Cars: Challenges, Opportunities and the Outlook to 2020, 2010) en (Valentine-Urbschat & Bernhart, 2009)

Kostverwachting

Naast het voorzien in de mobiliteitsbehoeften, is de kost van een EV voor vele consumenten bepalend. Om te beantwoorden aan deze kostverwachting dient de prijs van de batterij sterk te dalen. Deze heeft namelijk een belangrijke invloed in de totale kostprijs van een EV. Anderzijds dient men ook rekening te houden met de totale kost over de levensduur van de

¹ De energiedichtheid geeft aan hoeveel energie er per kilogram accu opgeslagen kan worden (Wikipedia, 2011)

² De vermogensdichtheid staat voor de arbeid per seconde die de accu per kilogram kan leveren (Wikipedia, 2011)

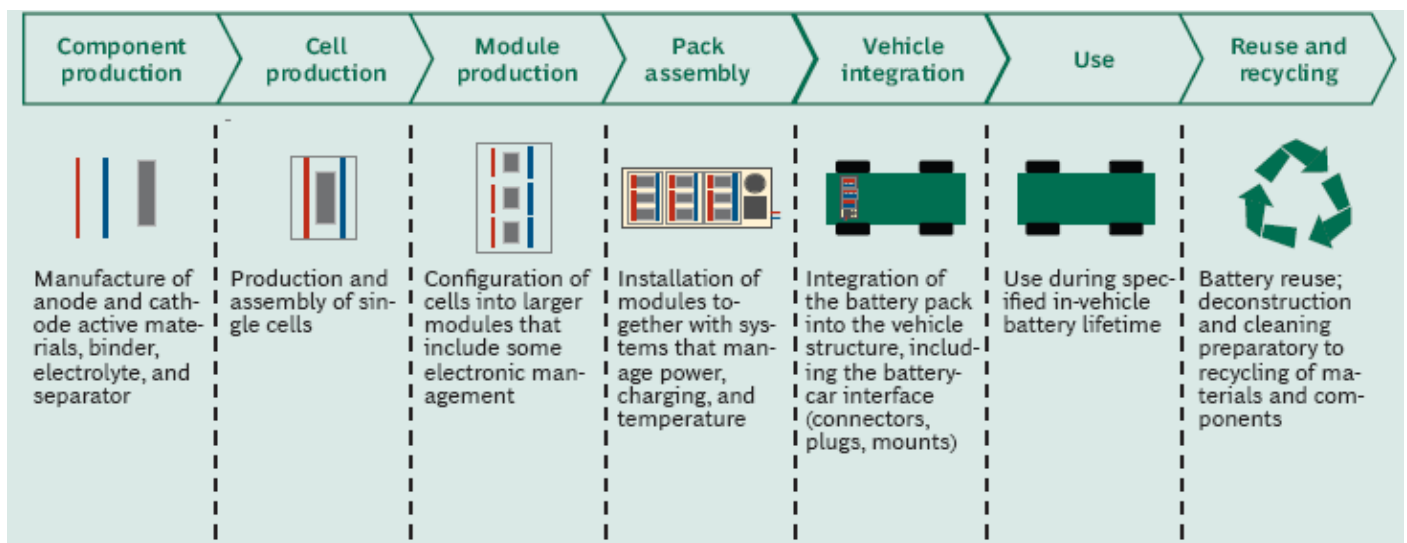
wagen. Dit houdt naast de aanschafprijs ook de verbruiks-, onderhouds- en depreciatiekosten in. Tot slot kan de aankoopprijs van een EV dalen door subsidies van de overheid. In de volgende paragrafen wordt de invloed van de batterijkost, de kosten over de levensduur van de wagen en het belang van overheidssteun besproken.

- Batterijkost

De evolutie van de batterijkost zal een belangrijke invloed hebben op de verkoopprijs van een EV. Zo volgde uit tabel 2 dat een lithium-ion-accu vandaag 600 à 800 euro/kWh kost. Indien er vanuit gegaan wordt dat een gemiddeld EV een accu van 20 kWh aan boord heeft, brengt dit een kost van 12.000 à 16.000 euro met zich mee.

Het is daarom interessant de waardeketen van de ontwikkeling van een batterij van nabij te bekijken. De waardeketen kan opgesplitst worden in een zevental stappen (figuur 6). In een eerste fase worden de verschillende componenten (anode, kathode, elektrolyet, etc.) van de batterij geproduceerd, vervolgens worden hieruit batterijcellen gemaakt. Indien de verschillende batterijcellen gecombineerd worden met extra controle-eenheden voor temperatuur, electronica, vermogen, etc. verkrijgt men een batterijpack. Dit wordt in een vijfde stap geïntegreerd met het voertuig waarna de batterij in een laatste fase gebruikt en gerecycleerd zal worden.

Figuur 6 - Waardeketen autobatterij



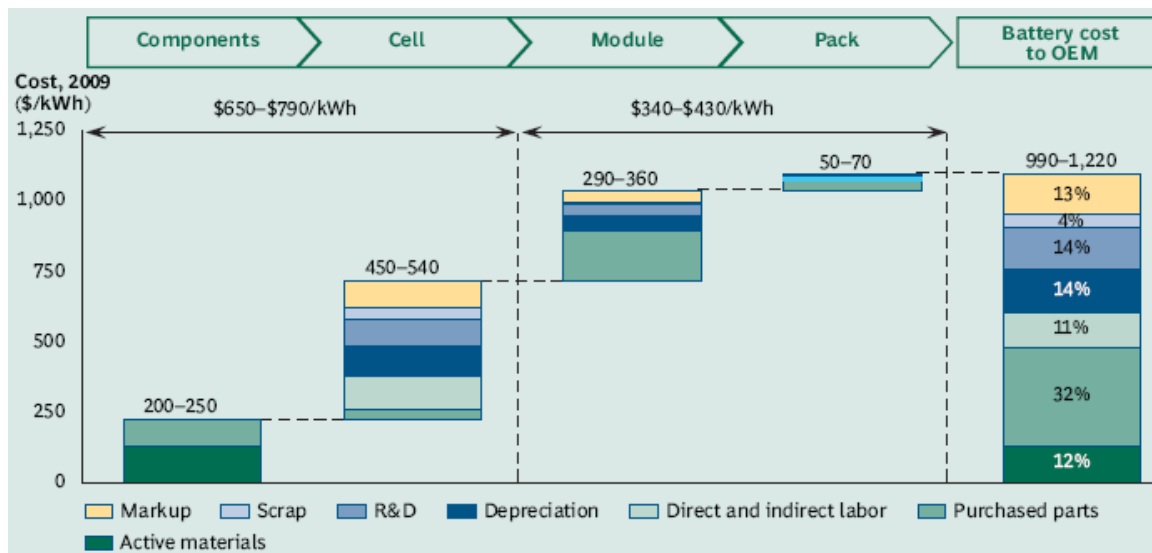
Bron: (Dinger, et al., Batteries for Electric Cars: Challenges, Opportunities, and the Outlook for 2020, 2010), geraadpleegd op 2 januari 2011 uit <http://www.bcg.com/documents/file36615.pdf>

The Boston Consulting Group (Dinger, et al., 2010) analyseerde via interviews met batterijfabrikanten, autoconstructeurs, academische experts en uit eigen onderzoek de koststructuur van een batterijcel. Hierbij nam men als basis een lithium-ion batterijcel. Deze batterijcel kost tussen de 990 en 1220 dollar/kWh (~700 à 860 euro/kWh³), waarbij de celfabrikant een marge van ongeveer 65% op de totale kosten neemt (figuur 7). Volgens Dinger e.a. (2010) zal de batterijkost in de toekomst sterk dalen. Dit is voornamelijk het gevolg van schaalvoordelen, leereffecten en een verder doorgedreven automatisatie. Deze laatste zal een positief effect hebben op de kwaliteit en het schrootpercentage (het aantal

³ Conversie dollar - euro volgens wisselkoers uit De Standaard van 19/05/2011: \$ 1 = € 0,7028

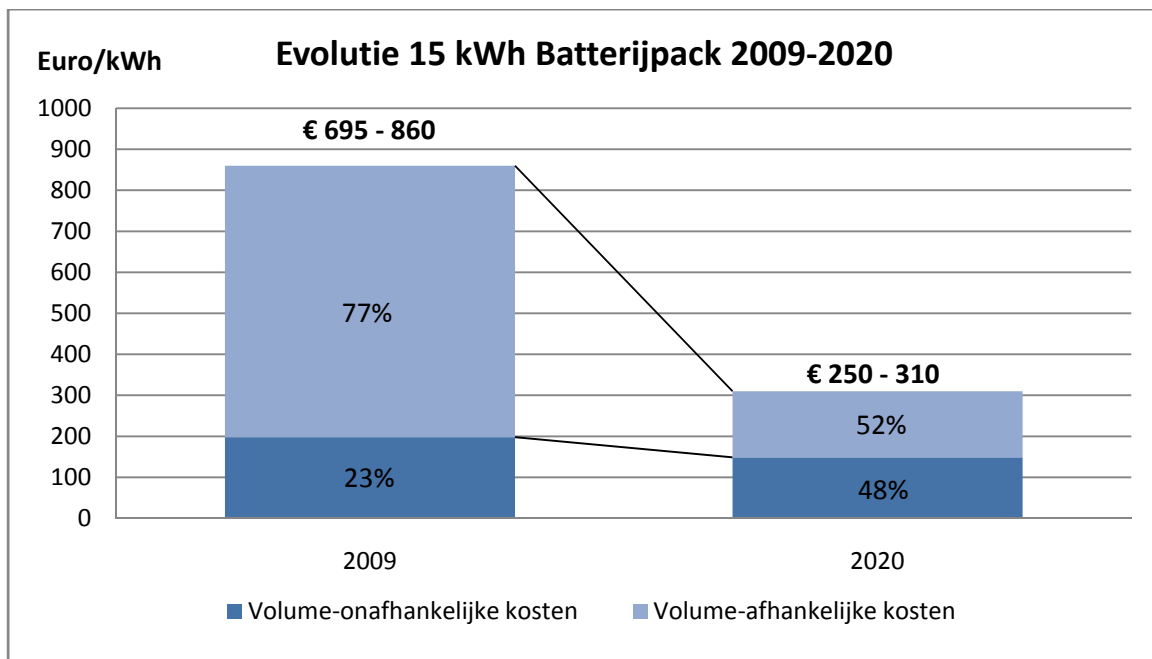
slecht geproduceerde eenheden). Dinger e.a. (2010) schatten dat een 25% van de kosten volumeonafhankelijk zal blijven. Volgens hun analyse zou de prijs die autoconstructeurs (Original Equipment Manufacturers - OEM) betalen, 60 tot 65% dalen. Hierdoor zou de prijs van een lithium-ionbatterij dalen tot 250 à 310 euro/kWh in 2020 (figuur 8). Dit stemt overeen met de analyse van Deutsche Bank (2009). Daarin werd gemeld dat de kost van lithium-ion batterijen over de komende 10 jaren met 50% dalen tot ongeveer 250 euro/kWh (Deutsche Bank, 2009).

Figuur 7 - Opsplitsing batterijkost voor Original Equipment Manufacturer (OEM)



Bron: (Dinger, et al., Batteries for Electric Cars: Challenges, Opportunities, and the Outlook for 2020, 2010), geraadpleegd op 2 januari 2011 uit <http://www.bcg.com/documents/file36615.pdf>

Figuur 8 - Evolutie batterijkost/kWh periode 2009-2020



Noot: Originele waarden, uitgedrukt in dollar, werden geconverteerd naar euro volgens wisselkoers uit *De Standaard* van 19/05/2011: \$ 1 = € 0,7028

Bron: (Dinger, Martin, Mosquet, & e.a., Batteries for Electric Cars: Challenges, Opportunities and the Outlook to 2020, 2010), geraadpleegd op 2 januari 2011 uit <http://www.bcg.com/documents/file36615.pdf>

- Totale kost over levensduur

Ondanks de groeiende aandacht voor ‘groene’ technologieën willen gebruikers slechts een gelimiteerde prijs betalen om *groen* te zijn. Zo blijkt uit een recent onderzoek van Deloitte (2011) dat 57% van de ondervraagden een EV overweegt aan te schaffen indien de aankoopprijs lager of gelijk is aan die van een klassieke wagen. Slechts 24% is bereid 1.500 euro of meer te betalen voor een EV (Deloitte, 2011)⁴. Dit betekent dat EV aantrekkelijk geprijsd moeten worden wat zowel de aankoopprijs als de *totale kosten over de levensduur* (Total Cost of Ownership – TCO) van de wagen betreft (Valentine-Urbschat & Bernhart, 2009).

Joost van den Bulk (2009) heeft in zijn masterproef ‘A cost- and benefit analysis of combustion cars, electric cars and hydrogen cars in the Netherlands’ deze kosten geschat. Volgens zijn onderzoek zou de kost per km van een EV goedkoper zijn dan deze van een wagen met verbrandingsmotor (ICE-wagen) en dit zowel bij een lage als een hoge verwachte energieprijzen (zie tabel 3). Iemand die 16.500 km/jaar rijdt en de wagen afschrijft over 4 jaar zal jaarlijks 5.280 à 5.445 euro betalen voor een EV, 16.500 voor een waterstofmodel en 5.940 à 6.105 euro voor een wagen met verbrandingsmotor (van den Bulk, 2009). Dit maakt dat, op basis van kostprijs, EV te verkiezen zijn t.o.v. waterstof- en verbrandingsmotorwagens.

Tabel 3 - Totale jaarlijkse kost/km in 2020 voor ICE, EV en H₂- wagens

Gemengd gebruik (45% in stad; 55% op snelwegen); afschrijvingsperiode van 4 jaar, 16.500 km/jaar

	ICE-auto (kost/km in €)	EV (kost/km in €)	H ₂ (kost/km in €)
Lage Energieprijs (0,26 euro/kWh)	0,36	0,32	1,00
Hoge Energieprijs (0,32 euro/kWh)	0,37	0,33	1,00

Bron: Eigen samenstelling op basis van (van den Bulk, 2009). Geraadpleegd op 23 januari 2011 uit <http://ebookbrowse.com/a-cost-benefit-analysis-of-combustion-cars-electric-cars-and-hydrogen-cars-in-the-netherlandsfinal-pdf-d39788523>

- Overheidssteun

Overheidssubsidies en belastingverminderingen zullen erg belangrijk zijn bij het stimuleren van EV. Deze kosten namelijk al snel 10.000 euro meer t.o.v. een gelijkaardig model met verbrandingsmotor. De Belgische overheid heeft een verschillende regeling ontworpen voor particulieren en bedrijven.

Particulieren kunnen vanaf 1 januari 2010 tot 31 december 2012 genieten van een belastingvermindering van 30% op de aankoopprijs van het EV. Deze vermindering kan maximaal 9.000 euro bedragen (Vlaamse Overheid, 2010). Wat de laadinfrastructuur betreft zal een laadpaal die geïnstalleerd wordt aan de buitenkant van de woning voor 40% van de investering, met een maximum van 250 euro, aan belastingvermindering kunnen genieten (Vlaamse Overheid, 2010).

Bedrijven kunnen tot 120% van de kosten voor een wagen die geen CO₂ uitstoot, aftrekken in de vennootschapsbelasting (Mobimix, 2011). Oplaadpunten kunnen genieten van een verhoogde investeringsaftrek van 13,5% en mogen versnelt afgeschreven worden over twee

⁴ De verdere resultaten van dit onderzoek worden besproken appendix I

jaar (De Broeck - Van Laere & Partners, 2010). Deze voordelen gelden voor investeringen in het jaar 2010, 2011 en 2012 (De Broeck - Van Laere & Partners, 2010).

Deze maatregelen blijken erg populair te zijn. Zo maakte Vlaams volksvertegenwoordiger Robrecht Bothuyne (CD&V) bekend dat Vlaanderen in 2010, 3.443.250 euro aan subsidies uitkeerde (Bothuyne, 2011). Dit kwam neer op ongeveer 40% steun op een totale investering van 8.643.125 euro in oplaadinfrastructuur (Bothuyne, 2011). Deze steunmaatregelen zullen in de beginfase, waar elektrische voertuigen nog niet aan de laagst mogelijke kosten verkocht worden, belangrijk zijn. Op langere termijn zal deze kost door technologische ontwikkeling en schaalvoordelen wellicht zakken.

Imago- en comfortvereisten

Naast het voldoen aan de besproken mobiliteits- en kostvoorwaarden dienen EV voor elk wat wils bieden om een groot marktpotentieel te bereiken. Het inspelen op de persoonlijke voorkeuren van de consument, door het aanbieden van EV van verschillende merken en wagens met specifieke kenmerken (bv. sportief, ecologisch, etc.), dragen bij tot het genereren van een bredere klantenbasis.

- Inspelen op verschillende klantenprofielen

In deze paragraaf wordt nagegaan wie de consumenten van EV zijn. Uit onderzoek (Andy Steinhubl, 2010) van consultingbureau Bain & Company komt de potentiële vraag voor elektrische wagens vanuit vier distinctieve segmenten. De ecobewuste 'green innovators', budgetbewuste 'cost-shoppers', risicoaverse 'laggards' en ten slotte de 'premium 2.0', de topklasse consumenten. Bain & Company identificeerde dat deze laatste groep de acceptatie van de nieuwe technologie zal leiden. Zo zouden er wereldwijd 350.000 potentiële premium klanten zijn die vandaag bereid zijn \$ 12.000 (~ € 8.400⁵) meer te betalen voor een elektrische wagen t.o.v. een vergelijkbare wagen met verbrandingsmotor. Volgens hetzelfde onderzoek zouden de kosten van de batterij tot 60% kunnen dalen in 2020 en zullen de andere consumentensegmenten snel volgen.

De resultaten van dit onderzoek komen overeen met wat men momenteel in België vaststelt. 8 van de 15 verkochte elektrische wagens in België waren Tesla Roadsters. Dit is een exclusieve sportwagen van € 84.000. De andere verkochte wagens maken deel uit van proefprojecten. Autoconstructeurs dienen in te spelen op de behoeften en noden van de verschillende klantenprofielen om zo de verkoop van EV te stimuleren.

- Merken

Het introduceren van kwaliteitsvolle, betrouwbare EV vraagt een enorme investering en niet alle autofabrikanten zijn momenteel in staat een uitgebreid gamma van EV aan te bieden (Valentine-Urbschat & Bernhart, 2009). Naarmate EV meer succesvol worden zullen andere autofabrikanten wellicht volgen. Valentine-Urbschat en Bernhart (2009) verwachten daarom dat vanaf 2015, gegeven het feit dat de batterijkosten zullen dalen, de meeste fabrikanten minstens een EV in hun portfolio zullen aanbieden. Indienen vele merken een EV in het

⁵ Conversie dollar - euro volgens wisselkoers uit De Standaard van 19/05/2011: \$ 1 = € 0,7028

portfolio opnemen zal dit de opkomst van EV ondersteunen. Merktrouwe klanten vinden op die manier hun gading in het gamma van elektrische wagens.

Conclusie Pullfactoren

Uit de besproken pullfactoren is vastgesteld dat enkel de mobiliteitsnood ondermaats scoort. Uit verschillende onderzoeken is gebleken dat men verwacht dat de kost van een elektrisch voertuig in de toekomst zal dalen. Dit komt in sterke mate door de technologische ontwikkelingen in de batterijsector. Daar bijna alle grote autofabrikanten onderzoek voeren naar een gamma van elektrische voertuigen is het aannemelijk dat elke consument een wagen zal vinden die bij zijn of haar imago- en comfortvereisten past. De grote uitdaging bevindt zich momenteel in de mobiliteitsnood. Deze bestaat enerzijds uit de performantie van de wagen, anderzijds uit de oplaadinfrastructuur. Eerstgenoemde zal sterk verbeteren naarmate de technologie meer op punt komt te staan. Hieruit volgt dat oplaadinfrastructuur de belangrijke uitdaging vormt. Daarom zal vanaf deel twee – ‘Opladmogelijkheden voor elektrische voertuigen’ gefocust worden op de mogelijke oplaadinfrastructuur voor elektrische wagens.

3.1.2 Pushfactoren

Pushfactoren beïnvloeden het aanbod op de markt van EV. Door wettelijke regulaties en onderzoek- en ontwikkelingssteun kan men het aanbod EV die autofabrikanten op de markt brengen verhogen.

Wetgeving

Watteeuw, Peeters & Sanctorum (2010) hebben een resolutie voorgesteld aan het Vlaamse parlement die het aanbod van EV moet verbeteren:

“De (Europese) overheid kan de elektrische wagen promoten, door de uitstootnormen voor alle wagens zo scherp mogelijk te stellen. De Europese milieubeweging Transport & Environment pleit bijvoorbeeld voor een norm van 80 gram CO₂ per kilometer tegen 2020, en van 60 gram CO₂ per kilometer tegen 2025” (Watteeuw, Peeters, & Sanctorum, 2010)

Volgens de huidige CO₂-regeling in de Europese Unie mag in 2013 de gemiddelde uitstoot van het jaarlijks verkochte aantal van nieuwe auto's van een autofabrikant niet hoger zijn dan 130 g/km (Valentine-Urbschat & Bernhart, 2009). Deze regel geldt eerst voor 65% van de wagenverkoop en stijgt vanaf 2015 tot 100% van de verkochte wagens. In 2020 verstrengt deze doelstelling tot 95 g/km (Valentine-Urbschat & Bernhart, 2009). Het verkopen van EV kan helpen deze norm te bereiken. Hoe effectief deze wetgeving is, hangt af van de controle en de gevolgen bij het overschrijven van de norm. Vanaf 2012 gelden volgende boetes in de EU per gram CO₂ die de norm van 130 g/km overschrijdt. De eerste gram CO₂-overschrijding kost 5 euro/voertuig; de tweede 15 euro/voertuig; de derde 25 euro/voertuig en vanaf de vierde gram (i.e. vanaf 134 g/km) dient men 95 euro per voertuig voor elke overschreden gram te betalen (Valentine-Urbschat & Bernhart, 2009).

Door deze maatregel zullen autofabrikanten de verkoop van wagens met een lage CO₂-uitstoot moeten bevorderen. Dit stimuleert dan ook het op de markt brengen van EV.

Onderzoek- en ontwikkelingssteun

Europa stelt tot 2018 leningen ter beschikking voor de Europese transportindustrie. Europa is bereid elk jaar 4 miljard te lenen aan onderzoek, ontwikkeling en innovaties die uitstoot verminderen en/of de energie-efficiëntie verbeteren (European Clean Transport Facility, 2008). Daarenboven zijn er verschillende lokale projecten. Zo zet Duitsland 500 miljoen euro opzij voor de ontwikkeling van e-mobiliteit (IPHE, 2010). Met deze steun tracht men onderzoek en ontwikkeling te stimuleren voor batterijtechnologie en het uitbouwen van een oplaadinfrastructuurnetwerk voor EV (IPHE, 2010). In 2020 wil Duitsland via deze maatregelen 1 miljoen EV op de wegen laten rijden (Garcia, 2010). Frankrijk heeft een gelijkaardig programma ter waarde van 400 miljoen euro (The Green Market, 2010) en stelt leningen ter waarde van 250 miljoen euro ter beschikking voor EV-projecten (Valentine-Urbschat & Bernhart, 2009). Vlaanderen investeert via het Vlaanderen in Actie Pact en de proeftuinprojecten 18,25 miljoen euro in de ontwikkeling en onderzoek naar elektrische wagens (Mobimix, 2010). Door deze steunmaatregelen wordt de kennis van EV en oplaadinfrastructuur bevorderd. De verschillende overheden hopen op die manier dat de ontwikkeling van EV versneld wordt.

Conclusie Pushfactoren

Het aanbod van EV wordt naast de autosector in belangrijke mate bepaald door wettelijke krachten en onderzoek- en ontwikkelingssteun. Verschillende overheden op nationaal en Europees niveau spelen op deze twee pijlers in. Voor een verder doorgedreven ontwikkeling van elektrische voertuigen zal echter meer initiatief noodzakelijk zijn.

3.2 Conclusie

Uit ons onderzoek is vastgesteld dat een exacte schatting van het aantal EV op de Belgische wegen erg moeilijk te maken is. Vandaar dat het bestuderen van de verschillende push- en pullfactoren een erg handig middel is om te zien hoe de vraag en het aanbod van EV verder gestimuleerd kunnen worden. Aan sommige van deze factoren zal door verdere technologische ontwikkelingen tegemoet gekomen worden. Men kan hierbij denken aan de kostprijs en de performantie van de batterij. Anderzijds zullen overheden door het verder ontwikkelen van een globale visie op het stimuleren van EV het aanbod kunnen versterken. Het creëren van een wettelijk kader betreffende CO₂-uitstoot en een verder doorgedreven ontwikkelingssteun voor EV kan helpen bij het behalen van deze doelstelling. Een andere sleutelfactor is de creatie van een globale laadinfrastructuur voor EV. Consumenten zullen enkel bereid zijn een EV aan te schaffen indien dit in (bijna) dezelfde mate kan voldoen aan de mobiliteit van een klassieke wagen. Daarom worden in deel II – ‘Oplaadmogelijkheden voor elektrische voertuigen’ en deel III – ‘Analyse oplaadmogelijkheden voor elektrische voertuigen’ de verschillende laadmogelijkheden diepgaand onderzocht.

DEEL II – Opladmogelijkheden voor elektrische voertuigen

Elektrische wagens zullen in de toekomst belangrijker worden in het Belgische wagenpark. Het proactief nadenken over hoe deze wagens opgeladen kunnen worden is dan ook noodzakelijk. In wat volgt wordt er een onderscheid gemaakt tussen draadloze en niet-draadloze laadmogelijkheden. Hoofdstuk 4 bespreekt bondig niet-draadloze oplaadmogelijkheden. Dit zijn oplaadpalen en batterijwisselstations. In hoofdstuk 5 worden de technologieën onderzocht die het draadloos verzenden van energie mogelijk maken. Er zal binnen dit geheel van draadloze systemen een vergelijkende analyse worden uitgevoerd om zo de meest geschikte draadloze technologie te bepalen voor het laden van EV.

4 Niet-draadloze oplaadmogelijkheden

Hoofdstuk 4 bekijkt de laadmogelijkheden waarbij EV van energie zullen voorzien worden aan de hand van een fysieke connectie tussen de wagen en het laadpunt. Eerst zullen laadpalen besproken worden, daarna wordt de lezer vertrouwd gemaakt met het concept van batterijwisselstations.

Laadpalen

Een eerste mogelijkheid bestaat erin EV te laden via laadpalen. Hierbij wordt de wagen via een stroomdraad verbonden aan het laadpunt. Men kan oplaadpalen in verschillende typen onderverdelen naargelang de snelheid en plaats waar de oplaadpaal zich bevindt. De snelheid dient afgestemd te worden op het gebruiksprofiel van de bestuurder (zie figuur 9).

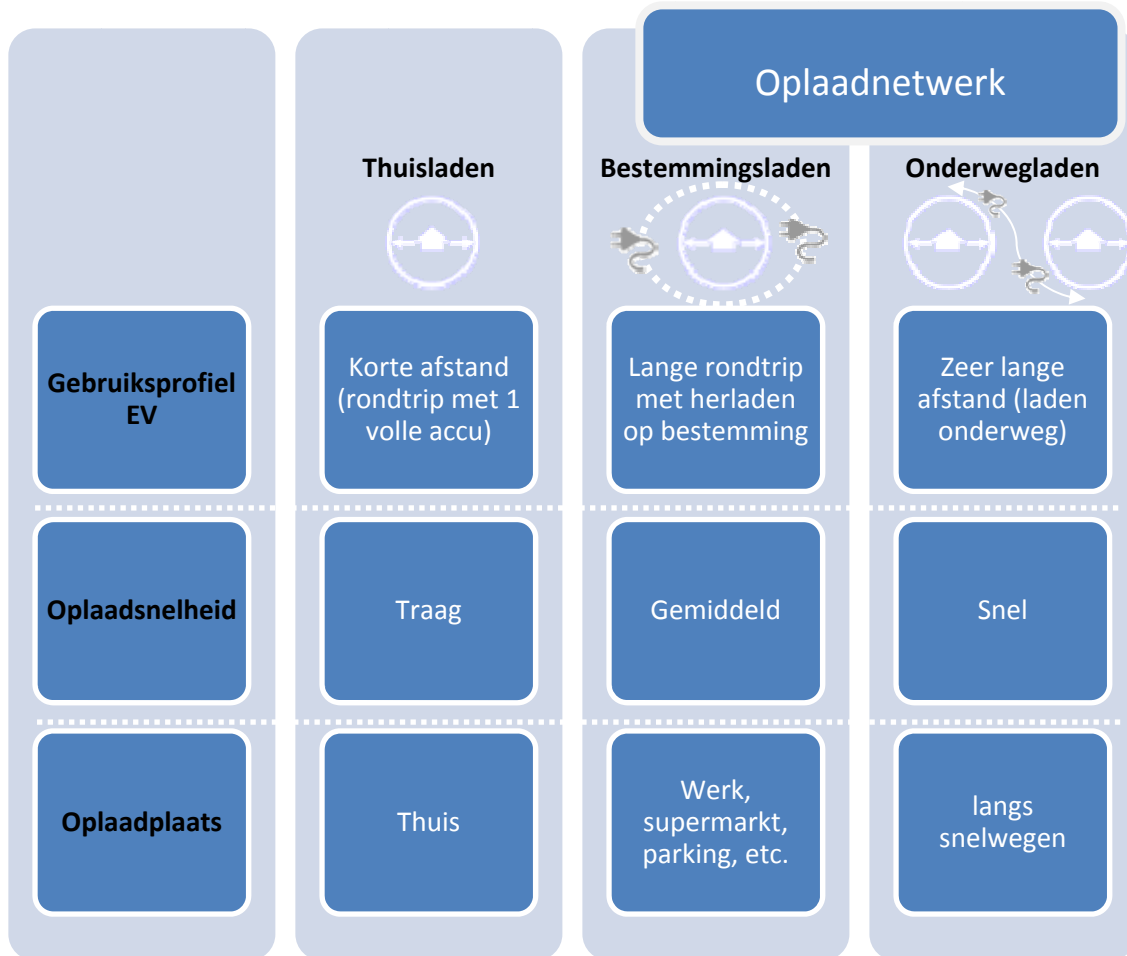
Bij *thuisladen*, waarbij het EV voornamelijk voor korte afstanden wordt gebruikt is een oplaadpaal met een normale laadsnelheid (7 à 8 uur om een batterij te laden) voldoende. De batterijcapaciteit is groot genoeg om telkens thuis te kunnen opladen.

Bij *bestemmingsladen* is de batterijcapaciteit van een EV niet voldoende om een volledige rondtrip te maken. Er dienen daarom laadpalen geïnstalleerd te worden in de omgeving van de gebruiker: op het werk, nabij supermarkten, op parkeerplaatsen in steden, etc. De laadsnelheid kan hierbij kort of lang zijn naargelang het type van oplaadinfrastructuur. In bedrijven is een trage oplaadsnelheid voldoende indien men ervan uitgaat dat de werknemer 8 uur op de bedrijfsplaats zal blijven. In de buurt van steden, supermarkten is een snellere laadtijd van belang.

Onderwegladen vindt plaats indien de automobilist een lange afstand aflegt waarbij de batterij meerdere malen moet opgeladen worden: bv. een trip van West-Vlaanderen naar Nederland. Hierbij is snelheid van groot belang. Dankzij snellaadpalen kunnen grote vermogens (> 50 kW) geleverd worden die 80% van de batterijcapaciteit kunnen laden in 10 minuten (EV Solutions, 2010). Dergelijke infrastructuur kan geïnstalleerd worden in de huidige tankstations langs snelwegen.

Een netwerk van oplaadpalen ontstaat bij bestemmingsladen en onderwegladen.

Figuur 9 - Overzicht gebruiksprofielen, snelheid en locatie oplaadinfrastructuur



Bron: Eigen ontwerp op basis van (Efacec, 2009)

Batterijwisselstations

Een tweede mogelijkheid voor het opladen van EV zijn batterijwisselstations. Dit systeem kan men het best vergelijken met een drive-in. De wagen wordt op rollen gezet en de (lege) batterij die zich oorspronkelijk in de wagen bevond zal worden gewisseld door een volle. Dit proces duurt volgens testen in Tokyo slechts 1 minuut (Better Place, 2010). Tijdens deze drie maand durende testperiode hebben taxi's 2.122 keer van batterij gewisseld in het wisselstation. Er is echter geen data bekend over de spreiding van deze testgegevens. Hierdoor kan de gemiddelde wisseltijd een vertekend beeld geven.

Figuur 10 toont de werking van het batterijwisselstation. Een auto rijdt het drive-in systeem in (figuur links), vervolgens wordt de hele batterijmodule gewisseld (figuur midden), waarna de wagen de rit kan vervolgen (figuur rechts).

Een speciaal kenmerk van dit concept is dat batterijwisselstations eigenaar worden van de autobatterij. Deze batterij zal dan via een leasesysteem aan de eigenaar van het EV verhuurd worden. Op die manier komt de kost voor de aankoop, het onderhoud, het herstel, het laden en eventuele garantieproblemen van de accu niet op rekening van de eigenaar van het EV, maar op die van het wisselstation. Zonder dit leasesysteem zal een automobilist geen batterij willen wisselen voor een andere waarvan de kwaliteit en levensduur niet gegarandeerd zijn.

Figuur 10 - Werking batterijwisselstation



Noot: een EV rijdt het wisselstation in (links), de batterijmodule wordt gewisseld (midden), het EV rijdt het wisselstation buiten (rechts)

Bron: Eigen samenstelling op basis van tekeningen Locografix uit

<http://www.popularmechanics.com/cars/alternative-fuel/electric/4336350> op 17 mei 2011

5 Draadloze oplaadmogelijkheden

Dit hoofdstuk bestudeert draadloze energieoverdrachtmogelijkheden en heeft tot doel de technologie naar voren te schuiven die het best past bij het laden van elektrische wagens. Voor een goed begrip van draadloze energieoverdracht dienen er eerst enkele begrippen en wetten uit de natuurkunde verklaard te worden. Sectie 5.1 bespreekt deze. In sectie 5.2 wordt een overzicht gegeven van de verschillende technieken om energie draadloos over te dragen. Elk van deze technieken wordt bestudeerd en zal nadien met elkaar vergeleken worden (sectie 5.3). Vanuit deze vergelijkende analyse wordt de technologie bepaald die het best past om EV op te laden. Sectie 5.4 sluit met een conclusie hoofdstuk 5 af.

Voor specifieke marktkenmerken en een praktisch, gecommmercialiseerd voorbeeld van draadloze technologie wordt de lezer verwezen naar de eigen geschreven onderzoeken in appendix II en III. Dit heeft tot doel de eerder besproken begrippen iets tastbaarder maken en de realiteit van draadloze energieoverdracht te benadrukken. De markcondities van draadloze technologie kan men nalezen in appendix II. In appendix III wordt er dieper ingegaan op een product dat het mogelijk maakt kleine elektronische toestellen op te laden: oplaadmatten.

5.1 Technische begrippen

Draadloze technologieën zijn gebaseerd op enkele fundamentele concepten van elektriciteit, magnetisme, resonantie en vermogenkoppeling.

Inductie is het natuurkundig verschijnsel waarbij over een geleider een elektrische spanning wordt opgewekt wanneer de geleider zich bevindt in een veranderend magnetisch veld of wanneer een geleidier beweegt in een magnetisch veld” (Wikipedia, 2011). Dit fenomeen laat het draadloos transport van energie toe op basis van kopeffecten.

Energiekoppeling neemt plaats wanneer er een uitwisseling van energie is naar een ander object. Deze kopeffecten kunnen vergeleken worden met een trein die een andere wagon meesleept. Door de mechanische koppeling van de locomotief en de wagon krijgt deze laatste een kracht die groter zal zijn dan de wrijving en traagheidskrachten die de trein stil proberen te houden. Magnetische koppeling ontstaat wanneer het magnetisch veld van het ene object reageert met een tweede object en in of op deze laatste een elektrische stroom opwekt. In tegenstelling tot mechanische koppeling zal er bij magnetische koppeling geen fysisch contact zijn tussen zender en ontvanger.” (WiTricity, 2009)

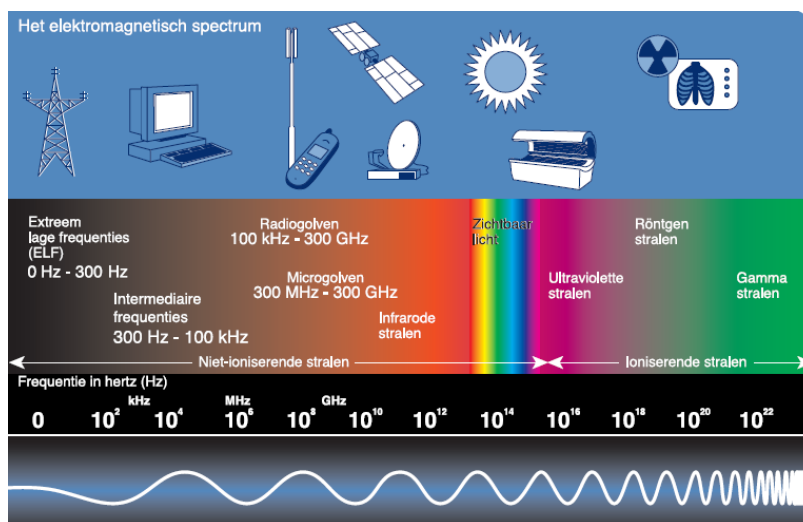
Resonantie is een natuurlijk verschijnsel dat voorkomt bij trillingen (Wikipedia, 2011). Indien men energie efficiënt wil toevoegen aan oscillerend systeem is het belangrijk de natuurlijke frequentie in acht te houden (WiTricity, 2009). Zo is een schommel een voorbeeld van een oscillerend systeem. “Als iemand op een schommel op willekeurige momenten een zetje geeft, dan gebeurt er niet veel. Maar als de schommelaar telkens precies op het juiste moment een klein zetje geeft, kan hij hoog zwaaien. Dat komt doordat de schommel de energie van elke zet behoudt (behoudens een klein verlies door wrijving) en bij de juiste timing de energie van elke zet steeds bij de beschikbare energie wordt opgeteld. De totale energie (die bestaat uit de som van de bewegingsenergie en de potentiële energie in het zwaartekrachtsveld) neemt zo voortdurend toe.” (Wikipedia, 2011).

Magnetische resonante koppeling neemt plaats wanneer twee objecten energie verzenden via een wisselend magnetisch veld, kenmerkend hierbij is dat de twee voorwerpen bijna dezelfde natuurlijke frequentie zullen hebben (WiTricity, 2009).

Elektromagnetische golven

Het elektromagnetisch spectrum (figuur 11) geeft het geheel weer van de soorten elektromagnetische golven. Dit spectrum kan verder onderverdeeld in ondermeer *extreem lage frequenties* (0 Hz – 300 Hz); *intermediaire frequenties* (300 Hz-100 KHz); *radiogolven* (100 KHz-300 GHz); infrarode stralen en het zichtbare licht. Het draadloos laden van elektrische wagens bevindt zich tussen het kHz- en MHz gebied. Om voldoende vermogen te leveren is namelijk een hoge frequentie noodzakelijk (Wang, Stielau, & Covic, 2005).

Figuur 11 - Het elektromagnetisch spectrum



Bron: Natuurkunde.nl, geraadpleegd op 21 maart 2011 via <http://www.natuurkunde.nl/artikelen/view.do?supportId=941301>

5.2 Competitieve analyse

In dit hoofdstuk worden de bestaande draadloze energieoverdrachtstechnologieën geanalyseerd. Men kan drie grote categorieën onderscheiden. De onderverdeling is gebaseerd op de afstand waarover energie verzonden kan worden. De diameter van de spoel bepaalt of de techniek tot het nabije, middellange of verre veld behoort (zie tabel 4).

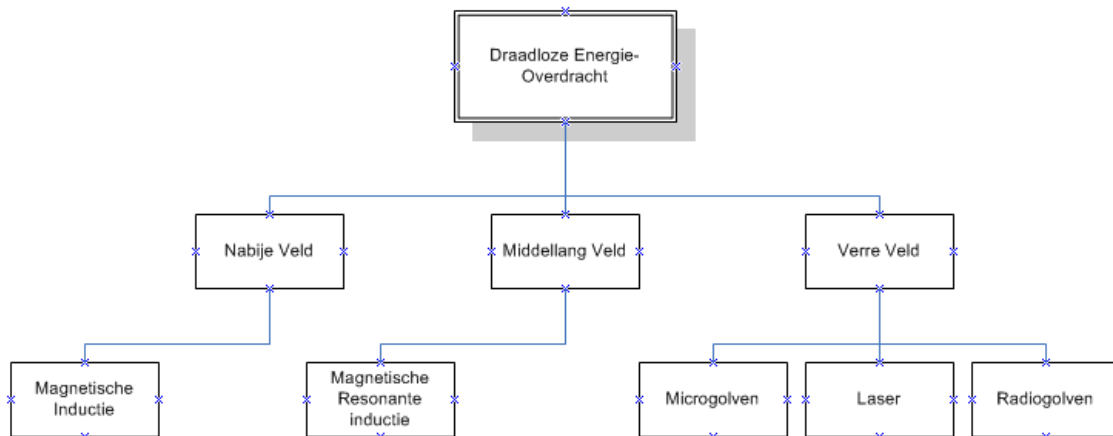
Figuur 12 geeft een overzicht van de besproken technologieën, dit zijn: magnetische inductie, magnetische resonante inductie, microgolven, lasers en radiogolven. De basis van elk van deze technologieën wordt kort besproken, waarna een vergelijkend kader zal opgesteld worden. Aan de hand van dit kader wordt bepaald welk van deze systemen interessant zou zijn om EV op te laden.

Tabel 4 - Onderverdeling draadloze energieoverdracht

	Kort	Middellang	Ver
Afstand	< 1 maal diameter	1-10 maal de diameter	>>> 10 maal diameter
Energieoverdracht	primaire spoel	van de primaire spoel	primaire spoel (tot honderden km's)

Bron: eigen ontwerp

Figuur 12 - Overzicht draadloze energieoverdrachtsystemen



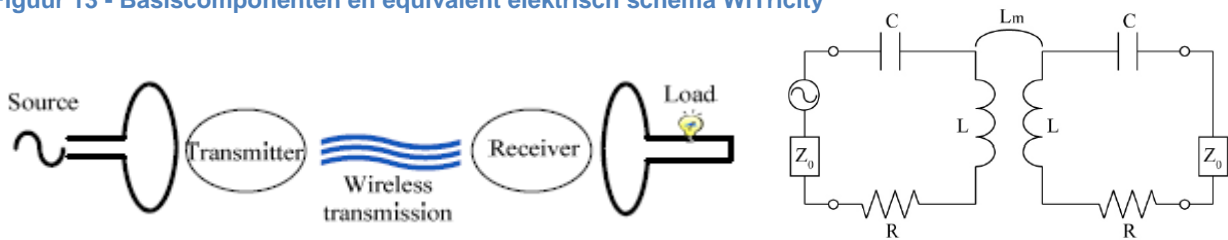
Bron: Eigen ontwerp

De technologieën om elektriciteit te verzenden in het beschreven **nabije veld** zijn gebaseerd op het principe van magnetische inductie. Zoals hierboven besproken is dit het fenomeen waarbij elektriciteit in een tweede spoel wordt opgewekt via een veranderend magnetisch veld. De koppeling die tussen de spoelen ontstaat, is niet afhankelijk van de voortplanting van elektromagnetische golven, energie wordt namelijk verzonden over een afstand die kleiner is dan de golflengte (Sample, Meyer, & Smith, 2011). Deze technologie is goed bestudeerd en kent vele praktische toepassingen: elektrische tandenborstels worden opgeladen via inductie en het is eveneens de basis van inductiekoken, waarbij de opgewekte wervelstromen in de bodem van de pan door een weerstand in warmte omgezet wordt. Het werkingsprincipe is relatief eenvoudig, veilig en goedkoop. Bovendien is de efficiëntie erg hoog (tot meer dan 90%) en is er weinig interferentie met andere toestellen. Het grootste nadeel van inductie is dat de afstand waarover energie verzonden kan worden erg beperkt is. Het Wireless Power Consortium (2010) heeft deze technologie gekozen als standaard voor lage vermogenstoepassingen (<5 W) waarvan oplaadmatten (zie appendix III) een bekend voorbeeld zijn. 'Qi' is het logo van deze standaard.

Indien energie over het **middellange veld** verzonden wordt, moet er gebruik gemaakt worden van magnetische resonante inductie. Dit systeem werkt volgens hetzelfde principe als "normale" magnetische inductie, maar resonantie wordt gebruikt om de efficiëntie en het bereik te verhogen. Resonante inductie vormt de basis van WiTricity-technologie. WiTricity is een Amerikaans bedrijf, opgericht in 2007 door ingenieurs van het Massachusetts Institute of Technology (MIT), dat deze technologie onderzoekt. In dit systeem ontvangt een eerste resonator energie van een externe bron. Een tweede resonator die fysiek is gescheiden van de eerste, zal de ontvangen energie doorleveren aan een externe belasting. De afstand tussen de twee resonators kan groter zijn dan de grootte van de eerste of tweede spoel (Wang, Ho, Fu, & Sun, 2010). Figuur 13 geeft de basiscomponenten en het elektrisch

schema van WiTricity weer. R stelt de verliezen voor die in de spoel ontstaan. L is de zelfinductie, C de capaciteit. De koppelcoëfficiënt beïnvloedt de mutuele inductie L_m .

Figuur 13 - Basiscomponenten en equivalent elektrisch schema WiTricity

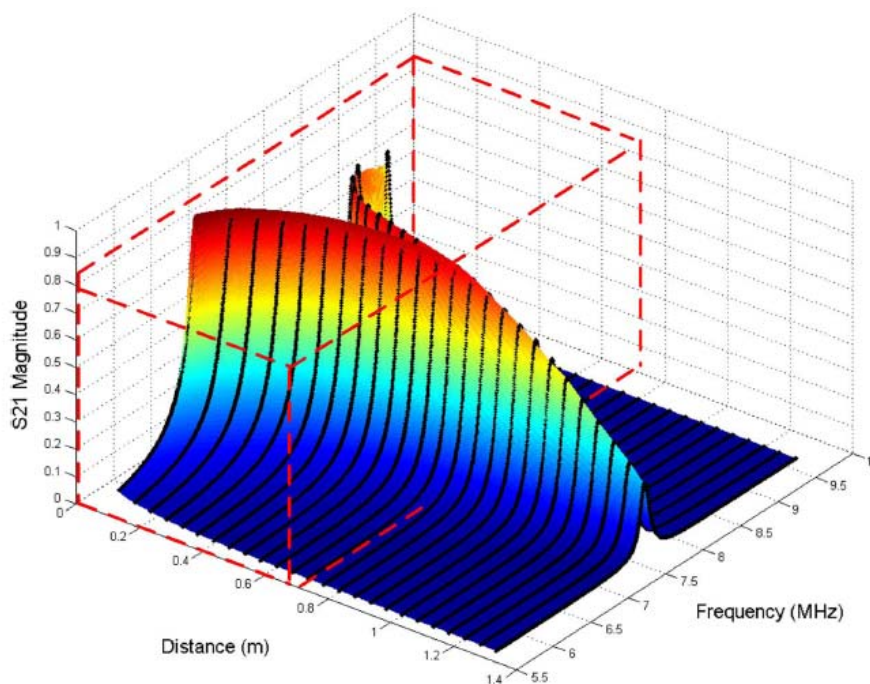


Bron: (Wang, Ho, Fu, & Sun, 2010); (Takehiro, Hiroyuki, & Yoichi, 2009)

Sample e.a. (2011) beschrijven dat de resonante frequentie van het systeem een functie is van de koppeling. Deze koppeling is op haar beurt afhankelijk van de afstand tussen de zend- en ontvangspoel. Een belangrijke eigenschap van gekoppelde resonators is dat de koppelsterkte de hoeveelheid energieoverdracht bepaald en niet de efficiëntie (Fletcher & Rossing, 1998). De efficiëntie zal namelijk afhankelijk zijn van het energieverlies door de weerstand in de spoel. Dus indien de koppeling erg klein is (en er dus een beperkte energieoverdracht is) kan de efficiëntie nog steeds hoog zijn door spoelen van een hoge kwaliteit te kiezen. Bovendien zal een deel van de energie die niet ontvangen wordt door de secundaire spoel door de primaire spoel terug opgevangen worden. De efficiëntie bij resonante inductie wordt bovendien niet verstoord door externe objecten (Xian, Qingxin, Haiyan, Yang, & Zhuo, 2010).

Een andere interessante eigenschap van resonante inductie is dat er een 'kritische afstand' bestaat. Indien deze kritieke waarde wordt overschreden zal het systeem geen energie meer kunnen overdragen aan maximale efficiëntie. Dat blijkt uit een recent rapport (Sample, Meyer, & Smith, 2011) van het Instituut voor Elektrische en Elektronische Ingenieurs (IEEE). Figuur 14 geeft dit 'magische' kader weer. Het kader wordt afgebakend door de bovengenoemde kritische afstand (op 0,7 m in figuur 14). Dit is het punt waar een hoge efficiëntie nog steeds mogelijk blijft. Indien de afstand tussen de twee spoelen kleiner is dan dan deze kritische waarde (linkerkant kader) is het systeem 'overgekoppeld' en is er een hoge vermogensoverdrachtefficiëntie S mogelijk tussen de primaire en secundaire spoel mits een goede frequentiesturing. Indien de afstand tussen de spoelen te groot wordt (rechts van kritische afstand), is het systeem 'ondergekoppeld' en zal de efficiëntie snel dalen. Dit is een unieke eigenschap die niet terugvonden word in het nabije of verre veld. Dit betekent dat door de frequentie optimaal te kiezen t.o.v. de afstand, er tot op een bepaald punt, een constant hoge efficiëntie mogelijk is.

Figuur 14 - 'Magisch kader' bij magnetische resonante inductie



Noot: Links van de 'kritische afstand' (op 0,7 m) is het systeem overgekoppeld. Door een goede frequentiesturing is een hoge energieoverdrachtsefficiëntie S_{21} , onafhankelijk van de afstand tussen primaire en secundaire spoel mogelijk. Rechts van de 'kritische afstand' is het systeem ondergekoppeld en daalt de energieoverdrachtsefficiëntie tussen primaire en secundaire spoel snel.

Bron: (Sample, Meyer, & Smith, 2011)

Een ander voordeel dat resonante inductie biedt is dat de afstand niet meer beperkt is tot enkele centimeters, maar men energie kan verzenden tot over enkele meters. Tussen zender en ontvanger mogen zich bovendien 'obstakels' bevinden zoals hout, plastic, steen, etc. De magnetische straling zal zich rond dit obstakel buigen en zo de ontvanger nog bereiken. Vragen dienen gesteld te worden met betrekking tot veiligheid van magnetische straling voor de mens. De gezondheidseffecten van deze straling op lange termijn zijn momenteel nog onvoldoende gekend zijn (SCENIHR, 2007).

Via microgolven, lasers en radiogolven kan men energie verzenden in het **verre veld**. Alanson P. Sample, David A. Meyer en Joshua R. Smith (2011) beschrijven in een publicatie van het IEEE de kenmerken van deze technologieën. De volgende paragraaf vat hun bevindingen samen.

Via microgolven kan er energie worden overgebracht tot over verschillende kilometers met een efficiëntie tot 90% (Sample, Meyer, & Smith, 2011). Het nadeel van deze verre afstandstechnologieën is dat er een afweging dient gemaakt te worden tussen de overdrachtsefficiëntie en de richting waarin de energie verzonden kan worden (Sample, Meyer, & Smith, 2011). Microgolven kunnen zeer gericht en ver energie verzenden aan een hoge efficiëntie, maar hebben als nadeel dat er een verfijnde apparatuur nodig is om de energie goed te richten (Xian, Qingxin, Haiyan, Yang, & Zhuo, 2010). Daarnaast mogen er geen objecten de straal tussen zender en ontvanger verhinderen (Sample, Meyer, & Smith, 2011). Een voorbeeld van het verzenden van energie via microgolven zijn zonnecrachtsatellieten. Deze satellieten vangen de zonnestraling op en zetten deze energie om in microgolven die verzonden worden naar een antenne op aarde. Vervolgens wordt de

ontvangen energie omgezet in elektriciteit (Sood, Kullanthasamy, & Shahidehpour, 2005). Een efficiëntie van meer dan 80% is via dit systeem haalbaar (Matsumoto, 2002).

Via radiogolven kan men wél energie verzenden in alle richtingen maar daalt de efficiëntie zeer snel t.o.v. de afstand tussen zender en ontvanger. De vermogensdensiteit is namelijk afhankelijk van $1/r^2$ (Sample, Meyer, & Smith, 2011). Hierdoor is het ontvangen vermogen op grote afstanden veel kleiner dan wat verzonden was (Sample, Meyer, & Smith, 2011). Bovendien is het maximaal verzonden vermogen beperkt tot 5 W, zoniet kan men niet voldoen aan de veiligheidsnormen opgelegd door de Federal Communications Commission (EE Times, 2010). Radiogolven kunnen doorheen verschillende materialen gaan zoals muren, maar dit verdunt de straal en dus ook de beschikbare energie ervan. Metalen platen zullen radiogolven reflecteren waardoor er geen energieoverdracht mogelijk zal zijn (Rosu).

Door gebruik te maken van lasers kan men eveneens energie verzenden. Deze hebben heel wat voordelen bij het aansturen van toestellen. Zo kan men heel precies energie zenden over zeer grote afstanden. Bovendien biedt het een oplossing aan plaatsen waar geen stroomvoorziening mogelijk is via het klassieke stroomnetwerk: afgelegen plaatsen of locaties waar het onmogelijk is stroomdraden te leggen (bv. in vliegtuigen). Het werkingsprincipe is als volgt: een zender neemt stroom af van een primaire bron (industriële elektrisch netwerk, generator, batterij), vervolgens wordt een monochromatische straal gegenereerd die door vacuüm of lucht kan gaan tot aan een fotonvoltaïsche (PV) ontvanger. Deze PV-cellen converteren de laserstraal op haar beurt tot elektriciteit. Momenteel beperkt lastertechnologie zich voornamelijk tot militaire toepassingen en deze in de luchtvaartindustrie. Een van de nadelen van deze technologie is dat de conversie van elektrische stroom in licht erg inefficiënt is. Bovendien is de omzetting van licht in elektriciteit via fotonvoltaïsche cellen ook inefficiënt (40-50%) en zorgt de atmosferische absorptie voor een extra verlies (OptoIQ, 2006). Vragen kunnen gesteld worden i.v.m. de veiligheid van deze technologie, de wetgeving rondom hoogenergetische lasers staat momenteel nog niet op punt. Tot slot dienen zender en ontvanger in een zelfde zichtlijn te staan, er mogen geen obstakels opduiken die de laserstraal kunnen breken (Karalis, Joannopoulos, & Soljačić, 2007).

5.3 Vergelijking draadloze laadtechnieken

In dit hoofdstuk wordt nagegaan welke technologie te verkiezen is voor het opladen van EV. In tabel 5 en figuur 15 worden de besproken technieken in kaart gebracht. Figuur 15 toont aan dat er een negatief verband bestaat tussen afstand en efficiëntie en dat geen enkel systeem meer efficiënt is dan de klassieke stroomdraad. Lasers kunnen energie verzenden tot enkele kilometers, maar zijn erg inefficiënt. De klassieke inductie verliest weinig energie, maar deze kan slechts enkele centimeters overbruggen.

Voor het opladen van elektrische wagens zijn de verre veld technologieën minder interessant. Microgolven vragen een onverstoord zichtlijn en een erg precies positioneringssysteem tussen zender en ontvanger (Xian, Qingxin, Haiyan, Yang, & Zhuo, 2010). Via radiogolven kan men slechts een beperkt vermogen zenden en lasers hebben o.a. als grote nadeel de atmosferische absorptie. Bovendien maken dergelijke verre veldtechnologieën gebruik van hoge frequenties die schadelijk voor de mens zijn. Het leveren van grote vermogens (die noodzakelijk zijn voor het laden van EV) kunnen niet gehaald worden onder de bestaande veiligheidsnormen. Dit maakt dat de verre veld technologieën niet erg toepasbaar zijn voor het laden van EV.

Het laden van EV met technieken uit het nabije of middellange veld is praktischer. Zo zijn er al verschillende ondernemingen die dergelijke inductieve systemen op de markt gebracht hebben of plannen dit te doen. In de volgende paragraaf wordt onderzocht of een voorkeur kan uitgedrukt worden voor magnetische inductie of magnetische resonante inductie.

In het nabije veld, heeft inductie als nadeel dat indien men het vermogen wil verhogen, het noodzakelijk is de spoelen zwak te koppelen en dit via een ijzeren kern (Xian, Qingxin, Haiyan, Yang, & Zhuo, 2010). Een zwakke koppeling zorgt voor een grotere verstrooiing van de stralen in de omgeving (Dhaens & Perik, 2011). Bovendien is de relatieve positie van zender en ontvanger zeer belangrijk bij magnetische inductie. Indien zender en ontvanger niet goed gepositioneerd zijn t.o.v. elkaar daalt de efficiëntie sterk. Magnetische resonante inductie biedt een oplossing aan deze nadelen doordat het systeem sterk gekoppeld is en er meer speling kan zijn op de relatieve positie van zender en ontvanger. Deze techniek vraagt daarentegen een zeer precieze frequentiesturing.

In deze masterproef zal een voorkeur worden uitgedrukt voor magnetische resonante inductie (WiTricity) doordat deze techniek een grotere speling toelaat tussen zender en ontvanger. Op die manier is het niet noodzakelijk voor de automobilist de wagen te parkeren op een zeer specifieke positie. Dit komt de gebruiksvriendelijkheid van het systeem ten goede. Bovendien ontstaat er bij WiTricity minder strooistraling bij het verzenden van grote vermogens dankzij de sterke koppeling.

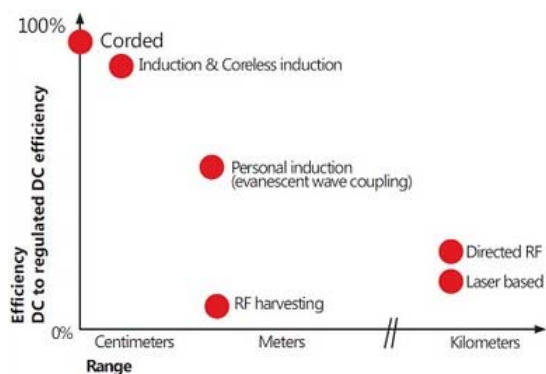
Niettemin is het bewezen dat magnetische inductie eveneens toelaat elektrische wagens te laden. Aangezien beide systemen mogelijk zijn om accu's te laden zal in wat volgt magnetische (resonante) inductie in de term 'draadloos laden' worden omvat, maar zal de focus bij het verdere onderzoek bij magnetische resonante inductie liggen.

Tabel 5 - Vergelijkingskader draadloze technologieën

	Nabije Veld	Middellange veld	Verre Veld		
Technologie	Magnetische Inductie	Magnetische Resonante inductie	Microgolven	Radiogolven	Laser
Voordelen	<ul style="list-style-type: none"> - goed gekend - efficiëntie 	<ul style="list-style-type: none"> - groter werkingsgebied - Afstanden tot enkele meters mogelijk - zelfde efficiëntie in bepaald werkingsgebied, onafhankelijk van afstand - sterk gekoppeld - geen unieke zichtlijn vereist 	<ul style="list-style-type: none"> - afstand - efficiëntie 	<ul style="list-style-type: none"> - afstand 	<ul style="list-style-type: none"> - afstand - snel inzetbaar - afgelegen plaatsen van energie voorzien
Nadelen	<ul style="list-style-type: none"> - werkingsgebied - belang van goede alignatie - efficiëntie daalt snel als afstand vergroot - bij zwakke koppeling -> strooistraling - veiligheid 	<ul style="list-style-type: none"> - recente technologie - noodzaakt goede frequentie-sturing - kwaliteit van de spoelen is zeer belangrijk - veiligheid 	<ul style="list-style-type: none"> - Unieke zichtlijn vereist - verfijnde apparatuur noodzakelijk - veiligheid 	<ul style="list-style-type: none"> - metalen platen weerskaatsen straling - beperkt vermogen leverbaar door wetgeving - efficiëntie 	<ul style="list-style-type: none"> - geen objecten tussen zender en ontvanger mogelijk - efficiëntie - wetgeving - atmosferische absorptie - veiligheid

Bron: Eigen ontwerp

Figuur 15 - Efficiëntie versus afstand van verschillende energieoverdrachtstechnologieën



Bron: (Leung, Chan, Lit, Tam, & Chow); geraadpleegd op 21 oktober 2010 via <http://www.ietytec.org/papers/N01.pdf>

5.4 Conclusie

In hoofdstuk 5 zijn de verschillende draadloze energieoverdrachtsystemen kort geanalyseerd en vergeleken. Uit de analyse is gebleken dat verre veld technieken omwille van efficiëntie en veiligheidsaspecten het minst geschikt zijn om elektrische wagens te laden.

Magnetische inductie (in het nabije veld) en magnetische resonante inductie (in het middellange veld) zijn beter in staat elektrische wagens op te laden. In dit hoofdstuk is een voorkeur uitgesproken voor magnetische resonante inductie. Deze techniek wordt in de literatuur met de merknaam WiTricity benoemd.

Dankzij magnetische resonante inductie is het minder noodzakelijk zender en ontvanger zeer goed te positioneren ten opzichte van elkaar. Mits een goede frequentiesturing kan een hoge efficiëntie bereikt worden. Via magnetische inductie is de positionering van zender en ontvanger wel zeer belangrijk. Dit maakt het systeem minder gebruiksvriendelijk doordat de wagen zeer specifiek gestationeerd zal moeten worden. Bovendien is de koppeling via WiTricity-laden sterk. Dankzij deze sterke koppeling ontstaat er minder strooistraling in de omgeving van de wagen.

In de komende secties zal de term 'draadloos laden' gebruikt worden voor inductieve technologie (hetzij via resonante inductie, hetzij via klassieke inductie).

DEEL III – Analyse oplaadmogelijkheden voor elektrische voertuigen

Deel III gaat dieper in op de voorgestelde laadsystemen uit hoofdstuk 4 en 5. Dit deel zal de verschillende laadtechnieken vergelijken vanuit een technisch, financieel en strategisch perspectief. Het technisch gedeelte zal zich beperken tot een praktische voorstelling hoe dergelijke systemen werken. Het financiële en strategische gedeelte zal uitgebreider besproken worden.

6 Analyse voorgestelde oplaadinfrastructuur

Hoofdstuk 6 vergelijkt de verschillende laadtechnieken vanuit een technisch, financieel en strategisch perspectief.

In sectie 6.1 worden de assumpties en parameters besproken die in het financiële model gebruikt zullen worden. Vervolgens worden laadpalen, batterijwisselstations en draadloos laden in respectievelijk sectie 6.2, 6.3 en 6.4 technisch en economisch besproken. Sectie 6.5 zal de resultaten uit de financiële modellen van de verschillende laadsystemen samenbrengen en vergelijken. Alvorens de strategische vergelijking aan te vatten, zal sectie 6.6 enkele algemene aandachtspunten voor laadinfrastructuur toelichten. Deze zijn noodzakelijk voor een goed begrip van de strategische analyse (sectie 6.7). Deze strategische analyse is opgesteld uit eigen onderzoek waaraan experts met diverse achtergronden hebben deelgenomen. In sectie 6.8 worden de besproken elementen van hoofdstuk 6 geconcludeerd.

6.1 Parameters en assumpties voor financiële analyse

Er worden heel wat assumpties genomen voor de uitwerking van de financiële modellen. Dit voor de eenvoud van het model en om binnen de doelstellingen van deze thesis te werken. Verdere uitbreidingen zijn noodzakelijk en zullen in het onderdeel 'verder onderzoek' worden aangegeven. Doch biedt dit model een eerste raamwerk ter analyse. Dit hoofdstuk zal een overzicht geven van de parameters en assumpties die nadien gebruikt zullen worden. Specifieke assumpties binnen een bepaalde laadtechniek zullen in de desbetreffende sectie worden besproken.

Het financiële model is opgebouwd uit opbrengsten en kosten. Dit model beperkt zich tot de opbrengsten die rechtstreeks voortvloeien uit het gebruik van de laadsystemen. Hieronder worden verstaan de prijs die automobilisten per keer betalen voor het gebruik van een laadpunt of de jaarlijkse abonnementsprijs die klanten betalen om een jaar lang van de laadinfrastructuur te kunnen genieten. In een eerste model zal de rentabiliteit worden nagegaan indien enkel een prijs wordt aangerekend indien men van de laadinfrastructuur gebruik maakt. Een tweede model zal van de abonnementsformule uitgaan waardoor de klant ongelimiteerd gebruik kan maken van de laadinfrastructuur. Hoewel we beseffen dat er nog meer opbrengstenmodellen bestaan en onderliggende combinaties mogelijk zijn, zal dit onderzoek zich beperken tot bovenvermelde situaties. Andere opbrengsten zoals financiële of uitzonderlijke opbrengsten worden niet in rekening genomen bij het ontwerp van het model.

Wat de kosten betreft, worden er twee soorten van kosten opgenomen. De investeringskost en de operationele kosten. De investeringskost zal verder opgesplitst worden in de aanschafprijs van het laadsysteem en de installatiekost. Betreffende de operationele kosten zal, voor de eenvoud van het model, enkel rekening gehouden worden met de energiekosten om de batterijen te laden en de onderhoudskosten.

In de financiële analyse worden de kosten en opbrengsten opgenomen in een verdisconteerd kasstromenmodel om het rendement van de investering te bepalen. De interne opbrengstvoet wordt als evaluatiecriteria genomen om de drie laadtechnieken te

analyseren. Bij deze vergelijking dient men er zich, zoals eerder vermeld, bewust van te zijn dat er geen rekening werd gehouden met alle operationele kosten.

Investeringsperiode, afschrijvingstermijn en inflatie

Als beginperiode van de investering wordt het jaar 2020 genomen. Vanaf deze tijdsperiode wordt een significant aantal elektrische wagens verwacht (Vanbrussel & Hofs, 2011). Er wordt vanuit gegaan dat de initiële investering ineens gemaakt zal worden en niet verspreid wordt over de volgende jaren. Bovendien wordt er geen rekening gehouden met inflatie, maar het mag verondersteld worden dat door deze inflatie prijzen zullen stijgen.

Kilometrage en verbruik

Op basis van onderzoek van de International Consulting Group (2010) wordt het gemiddeld jaarlijks gebruik van een EV op 15.000 km vastgelegd. Het energieverbruik wordt op basis van het gemiddelde verbruik van een Nissan Leaf bepaald op 0,15 kWh/km (Bollier, 2010).

Kenmerken laadpunt

De levensduur van een oplaadsysteem wordt vastgelegd op 10 jaar (Wiederer & Philip, 2010). Verder wordt er geassumeerd dat de batterijen geladen worden door een laadpunt van gemiddelde snelheid (7,3 kWh/h). De gemiddelde jaarlijkse onderhoudskost wordt op basis van onderzoek van Wiederer en Philip (2010) en de Westminster City Council (2009), geschat op 10% ten opzichte van de begininvestering.

Aantal benodigde laadpunten

- Voor laadpalen en draadloze laadsystemen

In de berekeningen wordt het benodigd aantal laadpunten geschat op 25.000. Dit volgt uit twee inschattingmethoden die hierna worden toegelicht.

In een eerste model wordt vanuit de verschillende scenario's van het te verwachten aantal elektrische voertuigen, de totaal geschatte vraag aan elektriciteit berekend. Vanuit deze elektriciteitsvraag zal een inschatting gemaakt worden voor het benodigde aantal laadpunten. In een tweede model wordt het aantal laadpunten geschat vanuit het aantal tankstations dat vandaag de dag ICE-wagens bedient.

Methode I – Inschatting benodigde laadpunten vanuit elektriciteitsvraag

Zoals besproken in hoofdstuk 3 wordt de vraag naar EV geschat tussen de 200.000 en 1.000.000 wagens. In dit eerste model zullen 5 scenario's verondersteld worden: een zeer laag (200.000 EV), een laag (400.000 EV), een gemiddeld (600.000 EV), een hoog (800.000) en een zeer hoog (1.000.000 EV) aantal verkochte EV. Vanuit deze verschillende penetratiegraden wordt het verwacht aantal gevraagde kWh berekend. Hierbij wordt de gebruiksgraad van de laadpunten gevarieerd tussen laag (10%) en hoog (30%). Verder wordt verondersteld dat een gemiddeld EV 15.000 km/jaar rijdt en deze een constant verbruik heeft van 0,15 kWh/km. Tabel 6 geeft een overzicht van de berekeningen weer.

Tabel 6 - Verwachte elektriciteitsvraag in publieke laadstations

		# EV 2020	Gem. kWh/EV/jaar		% extern laden			Geschatte vraag in mln. kWh in 2020		
			Actieradius	Gem. kWh/km	laag	gem.	hoog	laag	gem.	hoog
Verwachte penetratiegraad	Zeer Laag	200.000	15.000	0,15	10%	20%	30%	45,0	90,0	135,0
	Laag	400.000	15.000	0,15	10%	20%	30%	90,0	180,0	270,0
	Gemiddeld	600.000	15.000	0,15	10%	20%	30%	135,0	270,0	405,0
	Hoog	800.000	15.000	0,15	10%	20%	30%	180,0	360,0	540,0
	Zeer Hoog	1000.000	15.000	0,15	10%	20%	30%	225,0	450,0	675,0

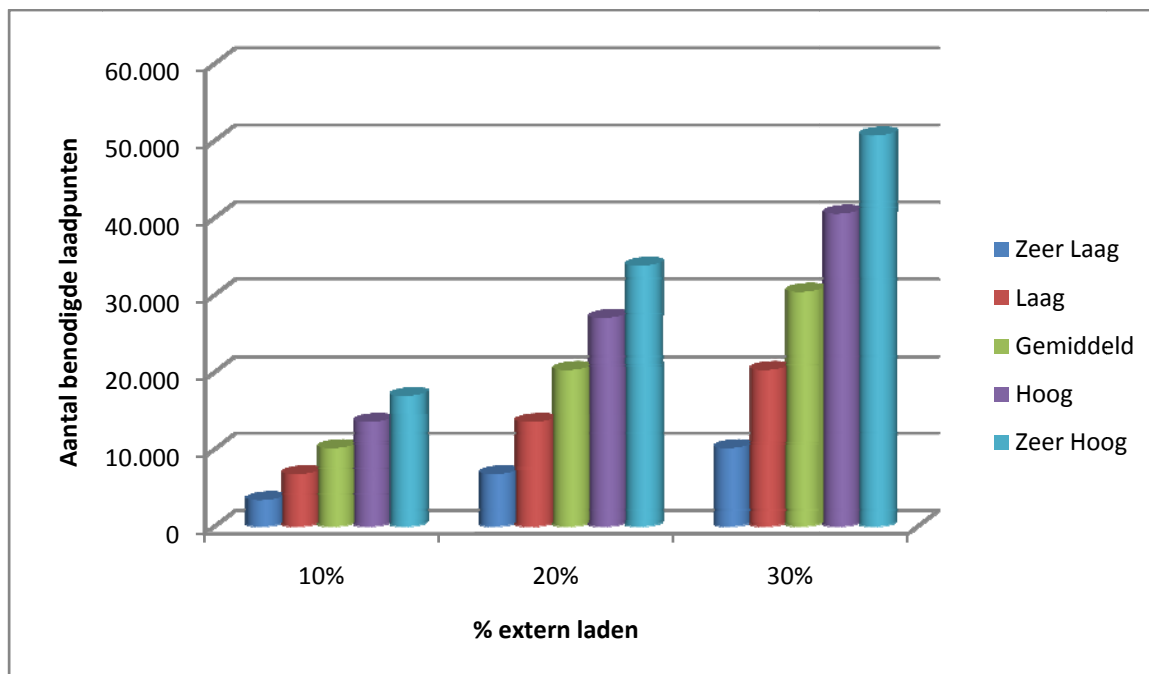
Bron: eigen berekeningen

Vervolgens wordt het aantal laadstations geschat dat nodig is om aan deze elektriciteitsvraag te voldoen (formule 1.1). Hierbij wordt verondersteld dat het laadpunt 5 uur/dag in gebruik zal zijn (Wiederer & Philip, 2010).

$$\# \text{ Benodigde laadpunten} = \frac{\text{Gevraagd aantal kWh/jaar}}{365 \frac{\text{dagen}}{\text{jaar}} \times 7,3 \frac{\text{kWh}}{\text{Laadpunt}} \times 5 \frac{\text{uur}}{\text{dag}}} \quad (1.1)$$

In België zijn op die manier, afhankelijk van de graad van extern opladen, tussen de 3.400 en 50.000 oplaadpunten noodzakelijk (zie figuur 16).

Figuur 16 - Aantal benodigde publieke laadpunten



Bron: eigen berekeningen

Methode II - Inschatting benodigde laadpunten vanuit het huidige aantal tankstations

In dit tweede model zal het aantal benodigde laadpunten geschat worden aan de hand van formule 1.2.

$$\# \text{ tankstations}_{ICE\text{-wagen}} \times \text{actieradius}_{ICE\text{-wagen}}^2 = \# \text{ laadpunten}_{EV} \times \text{actieradius}_{EV}^2 \quad (1.2)$$

Deze formule stelt dat het benodigd aantal tankstations om de huidige ICE-wagens te bedienen afhankelijk is van de actieradius die een ICE-wagen heeft. Vanuit deze stelling wordt het benodigd aantal laadpunten berekend. De actieradius van een EV is immers bekend. De actieradius wordt berekend door het gemiddeld verbruik van de wagen te vermenigvuldigen met de gemiddelde tankinhoud.

De Volvo S40 1.8 momentum zal als referentie dienen voor de ICE-wagen. Deze heeft een tankinhoud van 55 liter en een gemengd verbruik van 7,2 liter/100 km (Autogids). Uit deze gegevens volgt een actieradius van 760 km.

De elektrische Volvo C30 zal als referentie dienen voor het EV. Deze heeft een actieradius van 150 km (Volvo, 2009). Dit volgt uit een verbruik van 0,15 kWh/km en een batterijcapaciteit van 24 kWh waarvan 22,7 kWh wordt gebruikt voor de aandrijving van de wagen (Volvo, 2009).

In 2010 waren er volgens het Fonds voor de Analyse van Aardolieproducten 3.258 tankstations in België (FAPETRO, 2010).

Indien bovenvermelde gegevens in formule 1.2 worden ingevuld, zijn er vandaag 83.600 laadpunten noodzakelijk. In de financiële modellen zal echter 2020 als referentiejaar genomen worden. Daarom dienen de actieradiussen voor beide typen van wagens aangepast worden. Er wordt verondersteld dat het aantal tankstations constant zal blijven.

Lotus heeft door een optimalisatie van het materiaalgebruik 'de auto van 2020' ontwikkeld. Hierdoor is het verbruik in een ICE-wagen 23% lager (Inia, 2010). De actieradius van de Volvo S40 zou dan stijgen tot 990 km. Van Woelderen (2011) schat de actieradius van een EV in 2020 in op 350 km.

Indien deze vernieuwde gegevens in formule 1.2 worden ingevuld zouden er 26.000 laadpunten noodzakelijk zijn in 2020. Dit aantal bevindt zich in figuur 16 tussen het gemiddelde en hoge scenario bij 20% extern laden. Daarom zullen 25.000 laadpunten als basis dienen in de ontwikkeling van de financiële modellen.

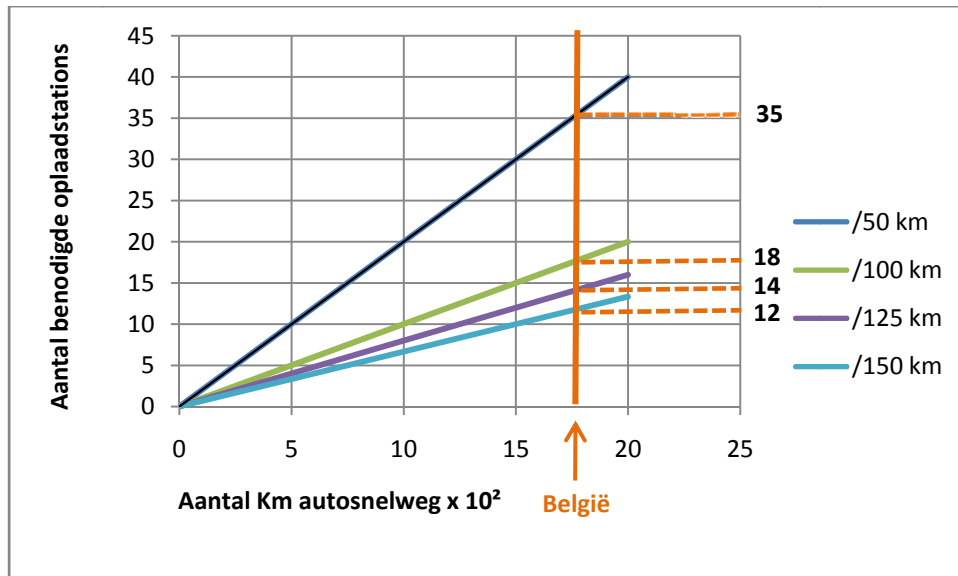
- Voor batterijwisselstations

Er wordt verwacht dat batterijwisselstations zich in de eerste plaats zullen vestigen langs snelwegen. Het aantal benodigde wisselstations wordt daarom berekend op basis van het aantal kilometer autosnelweg België heeft. In 2009 was dit 1.763 km en dit bleef het afgelopen decennium min of meer constant (Eurostat, 2011). Er wordt verondersteld dat in 2020 het aantal kilometer autosnelweg niet significant zal veranderen.

Vanuit deze cijfers kan men schatten hoeveel batterijwisselstations er noodzakelijk zijn langs de Belgische autostrades. Figuur 17 toont het benodigde aantal afhankelijk van de spreiding

van de wisselstations. De oranje lijn in figuur 17 duidt het aantal kilometer autosnelweg in België aan. Rechts in de grafiek is weergegeven met hoeveel stations deze situatie overeenstemt. Dit zijn er 12 wisselstations indien er om de 150 km een geplaatst wordt en 35 indien elke 50 km een wisselstation gebouwd wordt. In deze studie zal, vanuit het financiële oogpunt, van de meest voorzichtige situatie worden uitgegaan: er is slechts een wisselstation om de 150 km nodig, 12 in totaal.

Figuur 17 - Aantal benodigde batterijwisselstations



Bron: Eigen ontwerp

Aantal elektrische voertuigen en gebruiksgraad

Zoals vermeld in model 2 bevindt het aantal benodigde laadpunten zich tussen het gemiddelde en het hoge scenario. In de financiële modellen die volgen zal er verder worden gerekend met het gemiddelde scenario. In dit scenario rijden er 600.000 EV op de wegen. Voor de eenvoud van het model wordt aangenomen dat het aantal automobilisten met een EV over de levensduur van de laadsystemen constant zal blijven en dat 50% van deze automobilisten gebruik zal maken van externe laadinfrastructuur. Verder wordt verondersteld dat de laadpunten een gebruik zullen kennen van 20% oftewel ongeveer 5 uur/dag. Dergelijke gebruiksratio wordt realistisch geacht door Wiederer & Philip (2010) die hiervoor verschillende experts hebben geïnterviewd. Deze ratio lijkt ons ook in België aanneembaar aangezien uit figuur 5 (zie hoofdstuk 3) volgde dat het merendeel van de huizen beschikt over een garage, parking en overdekte parkeerplaats.

Elektriciteitsprijs

De kost van elektriciteit voor huishoudens (jaarverbruik tussen 2.500 and 5.000 kWh) is het afgelopen decennium met meer dan 20% gestegen: van 11,71 eurocent/kWh in het jaar 2000 naar 14,49 eurocent/kWh in 2010 (Eurostat, 2011). In deze studie is de verwachte elektriciteitsprijs in 2020 gebaseerd op twee scenario's. In het eerste scenario zal de elektriciteitsprijs zich in de periode 2010-2020 verderzetten zoals deze zich het afgelopen decennium heeft voorgedaan. Dit resulteert in 2020 in een elektriciteitsprijs van 0,18 euro/kWh. In een tweede scenario wordt verwacht dat de elektriciteitsprijs sterker zal stijgen

door een schaarste in elektriciteitsproductie (Energieraad, 2011). In ons model wordt een elektriciteitsprijs van 0,25 euro/kWh verondersteld. In wat volgt zal er gewerkt worden met de elektriciteitsprijs die door consumenten betaald moet worden. De elektriciteitsprijs voor industriële verbruikers is beduidend goedkoper, maar volgens de assumpties in de besproken modellen zal er nog niet voldoende vraag naar elektriciteit zijn om van deze industriële tarieven te kunnen genieten.

Overzicht gebruikte parameters en assumpties

Tabel 7 geeft een overzicht van de gebruikte parameters en assumpties.

Tabel 7 - Overzicht gebruikte parameters en assumpties

Parameter	Assumptie
Startjaar investering	2020
Tijdperiode investering	1 jaar
Inflatie	0%
Jaarlijks kilometrage	15.000 km/jaar
Gemiddeld verbruik EV	0,15 kWh/km
Levensduur laadpunt	10 jaar
Laadsnelheid	7,3 kWh/h
Onderhoudskosten	10%
# laadpalen	25.000
# draadloze laadpunten	25.000
# batterijwisselstations	12
Aantal EV	600.000 en blijft constant
Aantal EV dat extern laadt	50%
Gebruiksgraad laadpunt	20% ~ 5 uur/dag
Electriciteitsprijs scenario I	0,18 euro/kWh
Electriciteitsprijs scenario II	0,22 euro/kWh

Bron: Eigen ontwerp

6.2 Laadpalen

Laadpalen zijn veruit de meest gekende techniek om EV op te laden. Wereldwijd zijn er vele producenten die dergelijke systemen aanbieden en zijn overheden, autoconstructeurs, laadpuntfabrikanten en standaardinstanties aan het samenwerken om deze techniek verder op punt te stellen. In België zijn er momenteel een 110-tal laadpalen in werking (De Standaard, 2011). In sectie 6.2.1. worden de verschillende typen van laadpalen gekarakteriseerd en het werkingssysteem uitgelegd. Nadien wordt de financiële situatie geanalyseerd (6.2.2).

6.2.1 Technische kenmerken

De International Electrotechnical Commission (IEC) definieert in het document IEC 61851-1 de algemene eisen waaraan EV moeten voldoen om opgeladen te worden via een geleidende verbinding. De IEC definieert vier verschillende modes:

Mode 1

“The connection of the EV to the a.c. supply network utilizing standardized socket-outlets at the supply side, single-phase or three-phase, and utilizing phases, neutral and protective earth conductors.” (Van den Bossche, 2000)

Hierbij wordt het EV opgeladen via het normale stopcontact. Dit stemt overeen met een 16A/230V aansluiting. Hierdoor kan tot 3,68 kW vermogen geleverd worden aan het EV. Dit vermogen stemt overeen met een normale oplaadtijd. In verband met de veiligheid hiervan maakt Ir. P. Van den Bossche de bedenking dat een veilig gebruik afhangt van de aanwezigheid van een verliesstroomschakelaar en aarding. In oudere huizen is dit niet altijd het geval, waardoor gevaarlijke situaties kunnen ontstaan bij fouten (Van den Bossche, 2000).

Mode 2:

“The connection of the EV to the a.c. supply network utilizing standardized socket-outlets, single-phase or three-phase, and utilizing phase’s, neutral and protective earth conductors together with a control pilot conductor between the EV and the plug or in-cable control box.” (Van den Bossche, 2000)

In mode 2 wordt een extra veiligheid ingebouwd in de stroomkabel en het voertuig. Deze wordt slechts zeer zelden in Europa gebruikt (Van den Bossche, 2000).

Mode 3:

“The direct connection of the EV to the a.c. supply network utilizing dedicated EV supply equipment where the control pilot conductor extends to equipment permanently connected to the a.c. supply” (Van den Bossche, 2000)

In mode 3 maakt men gebruik van speciale oplaadinfrastructuur die al dan niet publiek gebruikt kan worden. De ‘*control pilot conductor*’ heeft een controle- en communicatiefunctie. Het controleert of de aarding nog steeds intact is, het verzekert dat er geen spanning op de stroomdraad staat indien er geen EV is op aangesloten en controleert of de stroomdraad

goed is verbonden. Fysisch gezien omvat de ‘*control pilot conductor*’ een extra draad die geaard is. Indien de kabel breekt, wordt het laadcircuit volledig afgesloten (Van den Bossche, 2008). Deze oplaadinfrastructuur komt voor in een 16A/230V en 32A/230V-aansluiting. Bij deze laatste kan er een vermogen van meer dan 7 kW geleverd worden.

Mode 4:

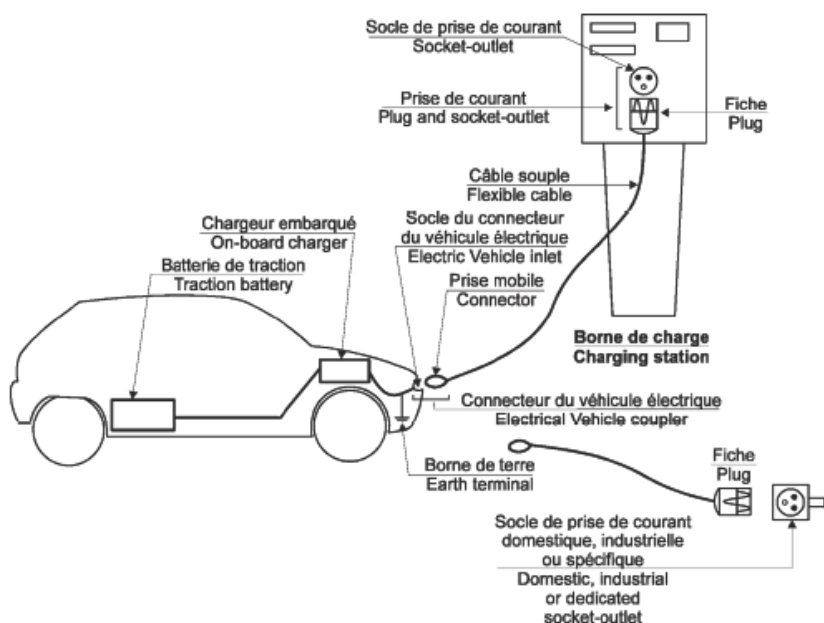
“*The indirect connection of the EV to the a.c. supply network utilizing an off-board charger where the control pilot conductor extends to equipment permanently connected to the a.c. supply.* (Van den Bossche, 2000)

Dit vraagt een erg zware en dure infrastructuur. Het EV wordt via gelijkstroom zeer snel opgeladen. Zo wezen testen van het bedrijf EV Solutions uit dat een 25 kWh batterij in slechts 10 min. voor 80% opgeladen kan worden (EV Solutions, 2010).

Werkingsprincipe

Het werkingsprincipe van het oplaadsysteem is vrij eenvoudig. Men steekt de oplaadkabel in het conventionele stopcontact of oplaadstation en verbindt deze met de wagen. Vervolgens zal er stroom vloeien naar een omvormer en lader die ingebouwd is in het EV. De omvormer zorgt ervoor dat de wisselstroom omgezet wordt in gelijkstroom waardoor de batterij kan opgeladen worden. De lader (on-board charger) controleert of de batterij correct wordt geladen. Een schematische voorstelling wordt weergegeven in figuur 18. Bij publiek opladen kan men een herkenningsysteem installeren via bv. *radio frequency identification (RFID)*. Hierdoor kan het opladen enkel geactiveerd worden nadat de oplaadpaal de gebruiker is herkend. Indien de identiteit gecontroleerd is kan het laden starten, dit is meestal te merken aan een lichtsignaal in de paal.

Figuur 18 - Schematische voorstelling werking laadpaal



Bron: (Van den Bossche, Defining and Developing Standards, 2009) geraadpleegd op 26 januari 2011 uit: http://www.park-charge.ch/documents/P_Van_den_Bossche1.pdf

Laadsnelheid

De laadsnelheid voor het opladen van een batterij hangt af van verschillende factoren: de fase van het stroomnetwerk, de spanning en stroomsterke (zie tabel 8). Zo kan een 1-fasig netwerk bij 230 volt en 16 A een vermogen van 3,68 kW leveren (Vermogen = Spanning x stroomsterkte). Bij een 3-fasig netwerk berekent men het verstuurd vermogen door de spanning te vermenigvuldigen met de stroomsterkte en $\sqrt{3}$ indien men geen rekening houdt met de $\cos\phi$ (eNovates, 2010).

Tabel 8 - Verband stroomsituatie en laadsnelheden

Aansluiting	Spanning (a)	Stroomsterkte (b)	Geleverd vermogen (c) = (a x b)	Laadtijd batterij (25kW) (d) = (25kW/c)	Laadtijd batterij (50kW) (e) = (25kW/c)
1-fase	230 V	16A	3,68 kW	7,1 u	14,2 u
1-fase	230 V	32A	7,36 kW	3,05 u	7,1 u
3-fase	400 V	16A	11,07 kW	2,26 u	4,52 u
3-fase	400 V	32A	22,14 kW	1,13 u	2,26 u

Bron: eigen berekening op basis van formules (eNovates, 2010), geraadpleegd op 19 mei 2011 uit <http://www.enovates.com/index.php/nl/mnuemobility/mnutechnology>

Deze laadsnelheden kunnen dalen tot 10 à 30 min. door gebruik te maken van snellaadpalen. Het Nederlandse bedrijf, Epyon, bracht de Epyon Terra 50.1 op de markt waar het uitgaand vermogen 50 kW kan bedragen.

6.2.2 Financiële Analyse

De kosten van een oplaadpaal kunnen onderverdeeld worden in de investeringskost en de operationele kosten. De investeringskost bestaat uit de kostprijs van de paal zelf en de plaatsingskosten. De operationele kosten worden berekend aan de hand van de geleverde energie, de elektriciteitsprijs en de onderhoudskosten.

Kosten

- Investeringskost

De kosten voor de aanschaf en plaatsing van een oplaadpaal zijn relatief bescheiden. Zo is op basis van eigen onderzoek vastgesteld dat de installatie van een oplaadpaal met een trage snelheid tussen de 1.000 à 2.000 euro kost, die van gemiddelde snelheid tussen de 4.000 en 6.000 euro. Een snelle oplaadpaal zal een investering van meer dan 40.000 euro vergen (zie tabel 9). In de toekomst zal deze prijs wellicht dalen door schaalvoordelen. Toch mogen deze voordelen niet overschat worden aangezien de plaatsingskosten voornamelijk uit manueel werk bestaan en de componenten waaruit een oplaadpaal is opgebouwd reeds basisproducten zijn.

In het financiële model zal gewerkt worden met een laadpaal van gemiddelde snelheid (vermogen van 7,3 kW/h). Tabel 9 leert ons dat een dergelijke laadpaal een gemiddelde investeringskost van 5.000 euro vergt.

- Operationele kosten

De operationele kosten kunnen verder worden opgesplitst in energie- en onderhoudskosten. Zoals beschreven in de assumpties zal worden gerekend met een elektriciteitskost van 0,18 euro/kWh (scenario I) en 0,25 euro/kWh (scenario II). Bovendien wordt aangenomen dat de efficiëntie van deze overdracht 100% zal zijn.

Uit eigen onderzoek met laadpunteleveranciers worden de onderhoudskosten tussen de 150 en 750 euro/jaar geschat. Voor dit bedrag wordt de laadpaal om de 6 maanden fysisch gecontroleerd en onderhouden (150 euro/jaar), implementeert men een data-, controle-, sturing- en facturatiesysteem (420 euro/jaar) en biedt men een SMS-betalingsmogelijkheid aan (180 euro/jaar).

Op basis van de assumpties uit 6.1 wordt de kost per kWh berekend voor een laadpaal indien die door één persoon gebruikt zou worden. Tabel 9 leert ons dat een kost per kWh te verwachten is van € 0,32 à € 0,39 voor een trage laadpaal. Voor een laadpaal van gemiddelde snelheid stijgt dit tot 0,60 à 0,67 euro/kWh. Een snelle laadpaal kost de gebruiker bijna het viervoudige (2,40 - 2,47 euro/kWh).

Tabel 9 - Vergelijkingstabel laadpalen

Laadsnelheid	Traag	Gemiddeld	Snel ⁶
Spanning/stroomsterkte	230 V/16 A	230 V/32 A	400 V/80A
Geleverd vermogen	3,68kW	7,36kW	50 kW
Laadtijd	7 - 8 u	4 - 5 u	< 1 u
Locatie	Thuis, werk	Thuis, werk, publieke plaatsen	Langs snelwegen
Aanschaf + installatiekost (€)	1000 – 2000	4300- 5600	> 40 000
Onderhoudskosten (€)	150 - 200	150-750	500-1500
Kostprijs/kWh (€)*	0,32-0,39	0,60-0,67	2,40-2,47

*Noot: *gemiddelde aanschaf- en installatiekost; gemiddelde onderhoudskost; levensduur 10 jaar; kilometrage 15.000 km/jr.; 0,15 kWh/km*

Bron: Eigen ontwerp

Opbrengsten

Er zijn verschillende modellen mogelijk om inkomsten te genereren. In de financiële analyse zullen twee betaalformules besproken worden.

Een eerste mogelijkheid bestaat erin een *prijs per kWh* te vragen. Hierbij berekent men de inkomsten aan de hand van het aantal uren het laadstation effectief gebruikt wordt, vermenigvuldigd met de verbruikte energie en de prijs die per kWh gevraagd wordt door het laadpunt.

Een andere mogelijkheid bestaat erin te werken met een *abonnementsformule*. Zo kan men via het Belgische Blue Corner een abonnement afsluiten voor 150 euro per jaar waardoor men onbepaald het EV kan laden in een netwerk van laadpalen. De totale inkomsten worden dan berekend door de abonnementsprijs te vermenigvuldigen met het aantal klanten.

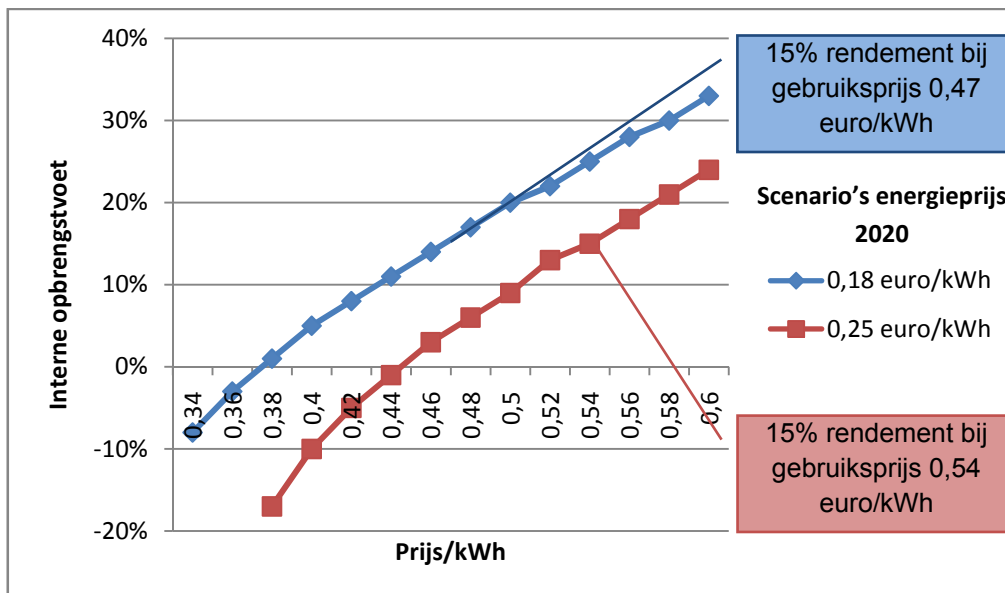
⁶ Op basis van Epyon Terra 51 Charge Station

Betaalformule I - Prijs per kWh

Om de opbrengsten te berekenen indien een prijs per kWh gevraagd wordt, hangen deze in sterke mate af van de gevraagde prijs en de gebruiksgraad van het betreffende laadpunt. Momenteel is er weinig informatie beschikbaar over de gebruiksgraad van laadstations en de betalingsbereidheid van klanten. In de berekeningen die volgen zal, op basis van eerste onderzoeken (Wiederer & Philip, 2010), verder gewerkt worden met een gemiddelde gebruiksgraad van 20%. Dit betekent dat het laadpunt ongeveer 5 uur per dag wordt gebruikt.

Uit Figuur 19 volgt dat een oplaadstation minstens 0,37 euro/kWh (scenario I – 0,18 euro/kWh) à 0,44 euro/kWh (scenario II – 0,25 euro/kWh) moet aanrekenen om een positieve opbrengstvoet te genereren. Indien een rendement van 15% is gewenst stijgt dit tot 0,47 à 0,54 euro/kWh. Dit betekent een marge van 161% op een elektriciteitskost van 0,18 euro/kWh. En een marge van 116% t.o.v. de elektriciteitskost in scenario II.

Figuur 19 - Interne opbrengstvoet laadpalen bij variërende prijs per kWh



Noot: 300.000 gebruikers, 15.000 km/jr.; 0,15 kWh/km, gemiddeld laadstation (7,3 kW geleverd vermogen); 10 jaar levensduur; 10% onderhoudskosten per jaar; € 5.000 aanschaf- en installatiekosten; gebruiksgraad van 20%
Bron: Eigen berekeningen

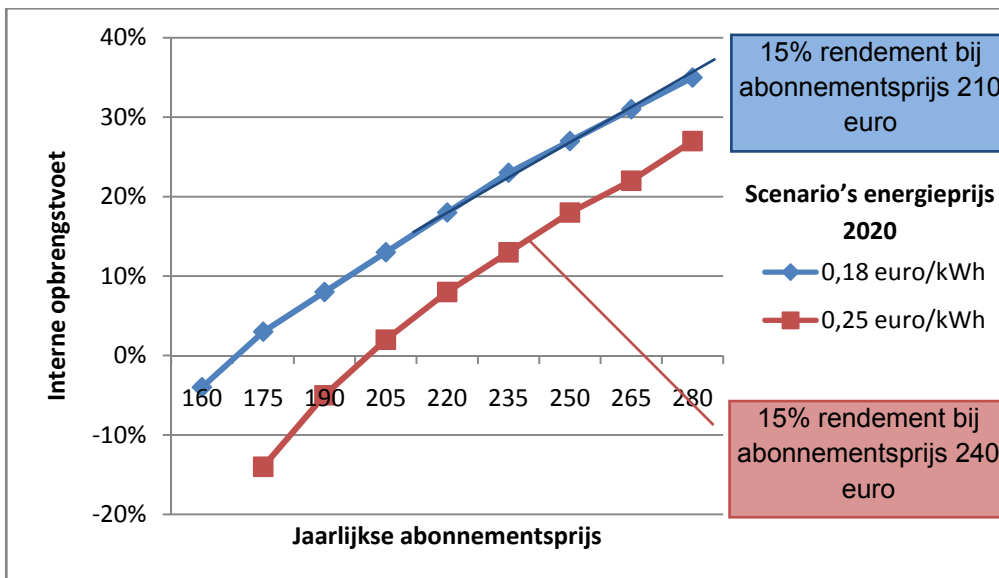
Betaalformule II – Abonnement

Een tweede mogelijkheid bestaat erin een jaarlijkse abonnementsprijs te vragen voor een ongelimiteerd gebruik van de laadpalen. Er zal worden nagegaan welk interne opbrengstvoet te verwachten is bij een verschillende abonnementsprijs.

Zoals vermeld in de assumpties (6.1) wordt in dit model verondersteld dat van de 600.000 bestuurders die over een elektrisch voertuig beschikken, hiervan 50% een abonnement zal aanschaffen. Verder wordt ervan uitgegaan dat de gebruiksgraad van de laadpunten 20% is.

Uit figuur 20 volgt dat om een positief operationeel resultaat te verkrijgen een abonnementsprijs van minstens 170 euro/abbonement (scenario I) en 200 euro/abbonement (scenario II) noodzakelijk is. Een interne opbrengstvoet van 15% is mogelijk vanaf een abonnementsprijs van 210 euro (scenario I) en 240 euro (scenario II).

Figuur 20 - Interne opbrengstvoet laadpalen bij variërende abonnementsprijs



Noot: 300.000 abonnees; 15.000 km/jr.; 0,15 kWh/km; gemiddeld laadstation (7,3 kWh geleverd vermogen); 10 jaar levensduur; 10% onderhoudskosten per jaar; € 5.000 aanschaf- en installatiekost; gebruiksgraad van 20%
Bron: Eigen berekeningen

6.3 Batterijwisselstations

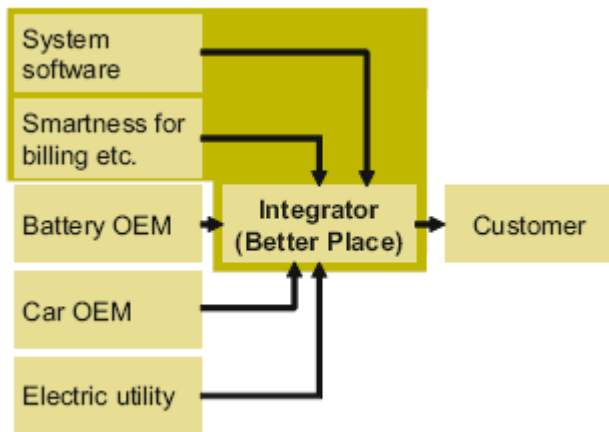
Batterijwisselstations zijn tot op heden niet gecommercialiseerd in België. Better Place is een van de enige bedrijven ter wereld die dit concept heeft ontwikkeld en in een ver stadium heeft getest. Momenteel zijn er testen in Australië, Canada, Denemarken, Israël en Noord-Amerika. De bespreking van de technische kenmerken (6.3.1) en financiële aspecten (6.3.2) zal, omwille van het beperkt aantal marktspelers, gebaseerd zijn op bedrijfsinformatie van Better Place.

6.3.1 Technische kenmerken

Better Place, een Amerikaans bedrijf opgericht in 2007, ontwikkelt en test momenteel dit systeem. In Better Place's bedrijfsvisie worden elektrische wagens verkocht zonder batterij. Better Place neemt namelijk deze batterijkost op zich (Deutsche Bank, 2010). Op die manier is de prijs van een EV competitiever t.o.v. wagens met een verbrandingsmotor. Figuur 21 geeft het concept van Better Place weer.

Better Place werkt samen met auto- en batterijfabrikanten (voor het standaardiseren van het batterijwisselsysteem) en energieleveranciers (betreffende het maken van afspraken voor stroomvoorziening om de batterijen op te laden). Better Place draagt toegevoegde waarde bij door deze spelers te integreren tot één batterijwisselconcept, met daaraan toegevoegd een doordacht softwaresysteem en uitgebreide klantenservice. Zo biedt men een energieplanningssysteem aan waardoor automobilisten hun route kunnen plannen en adviseert Better Place op haar beurt wanneer en waar men het best kan herladen. Bovendien zijn er nog andere diensten die aangeboden worden zoals rechtstreekse aanwijzingen tijdens de autorit naar het dichtstbijzijnde wisselstation of laadpunt. Better Place's inkomstenmodel bestaat uit een abonnementsformule waarbij men een maandelijkse bijdrage/km betaalt. Deze bijdrage moet de investering in infrastructuur, de kost en onderhoud van de batterij dekken. Dit model is vergelijkbaar met deze van mobiele telefonie. Zo verkoopt de netwerkprovider (bv. Base, Proximus, Mobistar) een telefoontoestel aan verlaagde prijs in ruil voor een telefoniecontract van 1 à 2 jaar waarbij de klant een bepaald aantal minuten kan bellen. Better Place levert een batterij in de aangekochte wagen van de klant en zal gedurende 3 à 4 jaar batterijen en elektriciteit leveren aan deze klant. Zo zou Better Place, oplaadinfrastructuur voorzien bij de abonnee thuis en haar omgeving. Deze infrastructuur communiceert met Better Place die de klant factureert naargelang het contractplan (bv. 500 km/maand, ongelimiteerd aantal km/jaar). De elektriciteit die bij de gebruiker thuis verbruikt wordt voor het opladen van de batterij komt op rekening van Better Place.

Figuur 21 - Concept Better Place



Bron: (McKinsey & Company, 2009), Geraadpleegd op 11 maart 2011 uit http://www.mckinsey.com/App Media/Reports/Belux/Energy_efficiency_in_Belgium_full_report.pdf

6.3.2 Financiële analyse

Momenteel zijn er zeer weinig algemene financiële gegevens beschikbaar. Daarom zal eerst de case 'Better Place in Israël' besproken worden. Deutsche Bank (2010) heeft de financiële situatie van Better Place in dat land geanalyseerd. Vervolgens zal vanuit deze gegevens een inschatting voor België gemaakt worden.

Case - 'Better Place in Israël'

Israël is een interessante testmarkt voor dit project omwille van verscheidene redenen. Ten eerste is Israël is een relatief *kleine markt*. In 2010, werden er in 216.430 nieuwe wagens verkocht, waarvan 181.526 personenwagens (Ben-Gedalyahu, 2011). Bovendien is de geografische oppervlakte met haar 22.000 km² redelijk klein en is Israël dichtbevolkt (365,3 inwoners/km²). Het merendeel van de bevolking woont in steden die met een beperkt aantal wegen met elkaar verbonden zijn. De *benzineprijs* in Israël behoort tot de hoogste in de wereld. De overheid *ondersteunt* dit testproject van Better Place dan ook om de aanvaarding van elektrische wagens te versnellen en zo minder afhankelijk te worden van dure buitenlandse olie. Tot slot zijn er heel wat *bedrijfsvoertuigen* in Israël. Volgens een rapport van Deutsche Bank zijn 50-60% van het aantal nieuwe ingeschreven voertuigen bedrijfswagens (Deutsche Bank, 2010). Deze worden door bedrijven aangeboden als een deel van de arbeidsvoorwaarden. Dit houdt voor de bedrijven een belangrijk risico in. Als olieprijsen blijven stijgen de komende jaren kan dit een significante impact hebben op de koststructuur. Door samenwerking met ondernemingen als Better Place kan deze kost beter ingeschat worden. Better Place heeft ondertussen meer dan 90 leasecontracten afgesloten met bedrijven, goed voor een potentiële markt van 45.000 wagens (Ackerman, 2010). Deutsche Bank onderzocht de prognoses van Better Place en indien ze haar doelstelling: 70 wisselstations, 81.000 abonnees in 2015 en 160.000 abonnees in 2016 haalt, zou dit een omzet van \$ 370 miljoen (in 2015) en \$ 500 miljoen (in 2016) betekenen. Indien elektriciteitskosten, personeelskosten, marketing, onderhoud, afschrijvingen en overhead afgetrokken worden zou Better Place een operationele marge van 40% halen tussen 2015 en 2016 (zie tabel 10).

Tabel 10 - Better Place's rentabiliteit

	4Q 2015	4Q 2016
Aantal abonnementen	81500	110100
Inkomsten per abonnement (\$)	4560	4560
Totale inkomsten (in miljoen \$)	372	502
Elektriciteitskosten (in miljoen \$)	38	51
Personeelskosten (in miljoen \$)	29	40
Marketingkosten (in miljoen \$)	10	13
Onderhoudskosten (in miljoen \$)	10	13
Overheadkosten (in miljoen \$)	38	53
EBITDA	247	332
afschrijvingen	100	127
EBIT	148	205
EBIT marge	39,7%	40,8%

Bron: (Deutsche Bank, 2010), geraadpleegd op 22 januari 2011 uit:

In wat volgt wordt nagaan of het Better Place concept geïmplementeerd zou kunnen worden in België. Net als Israël heeft België een relatief klein landoppervlak (22.072 t.o.v. 30.528 km²) en een gelijkaardige bevolkingsdichtheid (333,18 t.o.v. 341,44 inw./km²). Bovendien zijn ook in België de grootsteden verbonden via een beperkt aantal autostrades waardoor de investering in infrastructuur beter kan verlopen.

Volgens Febiac reden er begin 2010 ongeveer 5,1 miljoen personenwagens op de wegen (Febiac, 2010), waarvan 575.000 bedrijfswagens (Vacature Magazine, 2011), oftewel 9% en werden er bijna 550.000 nieuwe wagens ingeschreven (Febiac, 2011).

Het percentage bedrijfswagens is veel minder dan in Israël (9% t.o.v. 50%). In België zijn bovendien de brandstofprijzen iets gematigder wat de adoptie van EV kan vertragen. De overheid steunt de aankoop van elektrische wagens door een belastingsvermindering toe te kennen van 30% op de aankoopprijs met een maximum van 9.000 euro (aanslagjaar 2012).

Een samenvatting van deze gegevens wordt weergegeven in tabel 11. Hieruit volgt dat Israël en België gelijkaardige geografische kenmerken vertonen en het concept, op basis van deze geografische factoren, haalbaar kan zijn.

Tabel 11 - Vergelijking Israël - België

	Israël	België
Bevolkingsaantal	7 353 985	10 423 493
Oppervlakte (km²)	22 072	30 528
Bevolkingsdichtheid (inw./km²)	333,18	341,44
Verkochte Personenwagens	181 526	547 347
Waarvan bedrijfswagens	50-60%	9%
Benzineprijs (US\$/l)	1,87	1,57
Ranking Wereldwijd	3	15
Ondersteuningsmaatregelen overheid	Belasting aankoop elektrische wagen 10%	Belastingsvermindering 30% op aankoopprijs
Marktpotentieel	45.000	?

Bron: Eigen ontwerp

Kosten

- Investeringskost

De bouw van een batterijwisselstation kost ongeveer € 350.000 (Yarow, 2009). Er zal vanuit gegaan worden dat wisselstation om de 150 km noodzakelijk is. Dit betekent dat er in totaal 12 stations gebouwd zullen worden. Dit brengt een totale investering van € 4.200.000 met zich mee.

Verder zal geïnvesteerd moeten worden in een batterijvoorraad. Elektrische voertuigen die in het drive-in systeem rijden krijgen immers een nieuwe batterij mee. In hoofdstuk 3 verwacht men in 2020 dat een batterij 250 euro/kWh kost. Er zal worden geassumeerd dat elk EV een batterij van 20 kWh aan boord heeft en dat er 2 batterijen per EV voorzien worden over het gehele netwerk van batterijstations.

- Operationele kosten

Er zal, net zoals bij laadpalen, ervan uitgegaan worden dat 300.000 mensen van het laadsysteem gebruik zullen maken. Om een optimale vergelijking te behouden met laadpalen en draadloze laadsystemen zal er ook deze keer geen rekening worden gehouden met personeels-, marketing- en overheadkosten.

Opbrengsten

Er zullen twee betaalformules geanalyseerd worden.

In een eerste model wordt ervan uitgegaan dat de automobilist bij elke batterijwissel een gebruikskost moet betalen en het wisselstation een gebruiksgraad zal kennen van 20%. Dit betekent dat van de 15.000 die men per jaar rijdt, er voor 3.000 km gebruik zal gemaakt worden van wisselstations. Er wordt verondersteld dat de autobestuurder voor deze 3.000 km het wisselstation 15 maal bezoekt. Dit betekent dat de batterij gewisseld wordt indien deze een afstand heeft afgelegd van 200 km. In 2020 zou een batterij een bereik hebben van 350 km in ideale omstandigheden. Deze ideale omstandigheden worden echter zelden bereikt (rijden zonder airconditioning, zuinige rijsteil, geen ruitenwissers, etc.). Vandaar dat er gekozen werd de batterij na een kortere afstand te wisselen.

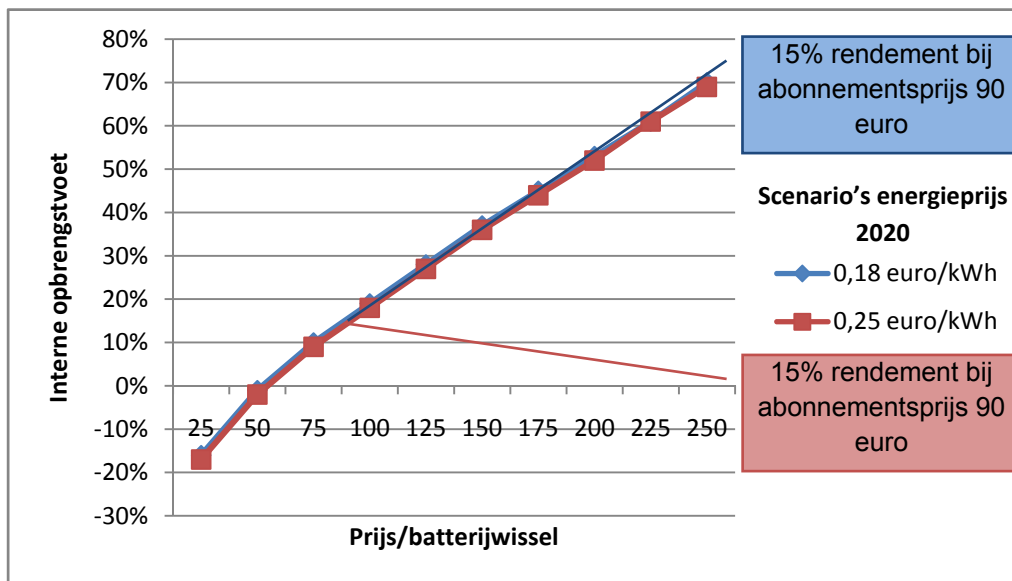
In een tweede betaalformule wordt ervan uitgegaan dat de gebruiker een abonnement aankoopt. Via dit abonnement kan de gebruiker onbeperkt de batterij van het EV wisselen.

Betaalformule I - Prijs per kWh

Uit deze betaalformule volgt (zie figuur 22) dat om een positieve opbrengstvoet te verkrijgen de klant, onafhankelijk van de twee elektriciteitsprijsscenario's, ongeveer 50 euro per wisselbeurt zal moeten betalen. Indien een rendement van 15% wordt vereist stijgt dit tot 90 euro/wisselbeurt. Er werd verondersteld dat de batterij een capaciteit heeft van 20 kWh. Van hieruit volgt dat de klant 2,5 euro/kWh betaalt indien de interne opbrengstvoet 0% bedraagt en 4,5 euro/kWh bij een gewenste opbrengstvoet van 15%.

Het is opmerkelijk dat in batterijwisselstations de variërende elektriciteitskost een beperkte rol speelt. Dit is te wijten aan de hoge begininvestering in het gebouwenpark en de batterijvoorraad.

Figuur 22 - Interne opbrengstvoet batterijwisselstation bij variërende prijs per wisselbeurt

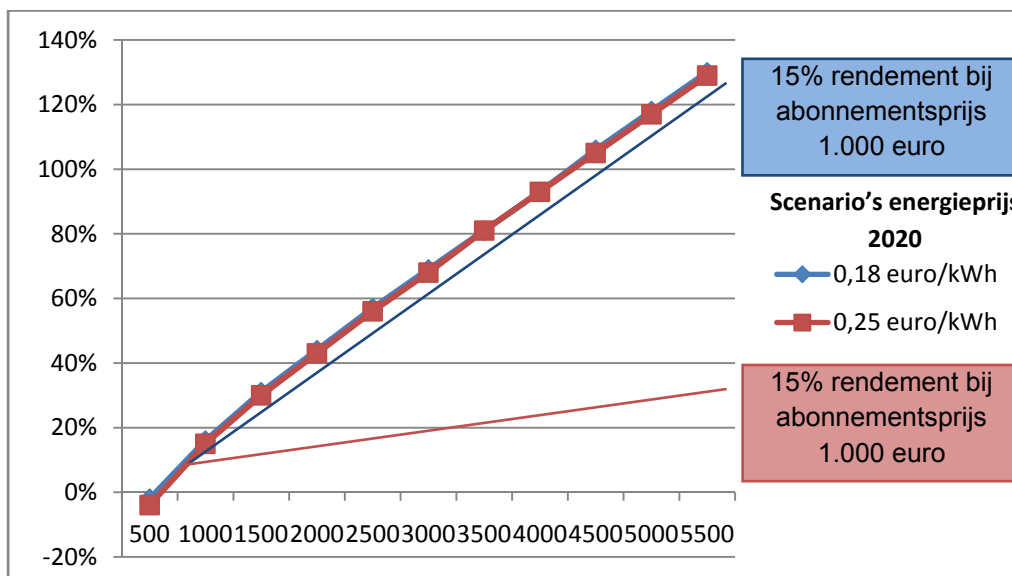


Noot: 12 laadstations; € 350.000/laadstation; 300.000 gebruikers; 15.000 km/jr.; 0,15 kWh/km, 10 jaar levensduur; 10% onderhoudskosten per jaar; 2 batterijen per EV; 20 kWh/batterij; batterijkost 250 €/kWh; gebruiksgraad 20%
Bron: Eigen berekeningen

Formule II – Abonnement

Figuur 23 geeft de opbrengstvoeten weer bij een verschillende jaarlijkse abonnementsprijs. Uit de analyse blijkt dat minstens een jaarlijkse abonnementsprijs van 590 euro gevraagd moet worden om een positief opbrengstvoet te genereren. Een abonnementsprijs van minstens 1.000 euro is noodzakelijk voor een rendement van 15%.

Figuur 23 - Interne opbrengstvoet batterijwisselstation bij variërende abonnementsprijs



Noot: 12 laadstations; € 350.000/laadstation; 300.000 abonnees; 15.000 km/jr.; 0,15 kWh/km, 10 jaar levensduur; 10% onderhoudskosten per jaar; 2 batterijen per EV; 20 kWh/batterij; batterijkost 250 €/kWh; gebruiksgraad 20%
Bron: Eigen berekeningen

6.4 Draadloos laden

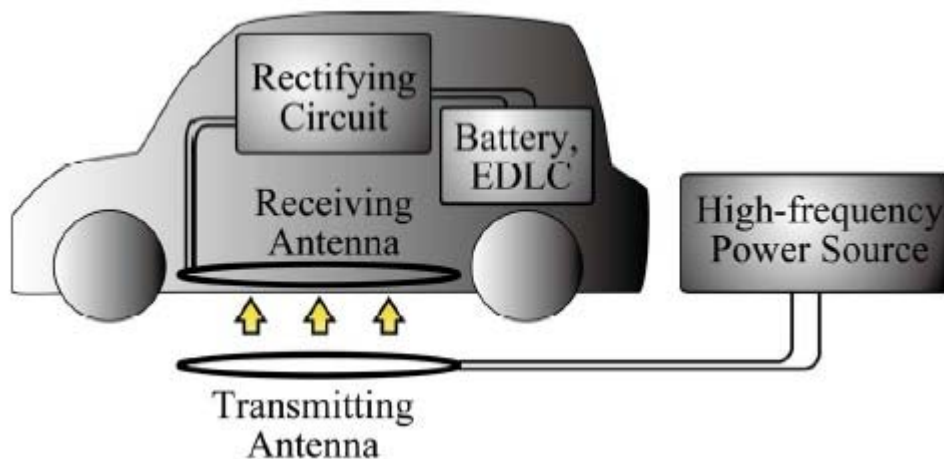
In dit deel worden de technische en economische aspecten van draadloos laden bestudeerd. Voor het technische gedeelte (6.4.1) wordt beroep gedaan op wetenschappelijke artikels en expertinterviews. Daarnaast wordt de huidige wetgeving betreffende magnetische straling besproken. Voor de economische analyse (6.4.2) zal gebruik gemaakt worden van een kasstromenmodel zoals besproken in de financiële analyse van laadpalen en batterijwisselstations.

6.4.1 Technische kenmerken

T. Imura, H. Okabe en Y. Hori (2009) hebben experimenten uitgevoerd om EV draadloos op te laden via magnetische resonante koppeling (WiTricity-technologie). Ze verkiezen deze technologie boven die van normale inductie omdat WiTricity tegemoetkomt aan de drie sleutelfactoren: WiTricity kan van een relatief grote afstand overbruggen, heeft een hoge efficiëntie en is in staat een groot vermogen te leveren. Wij bespreken de resultaten uit hun onderzoek (Takehiro, Hiroyuki, & Yoichi, 2009).

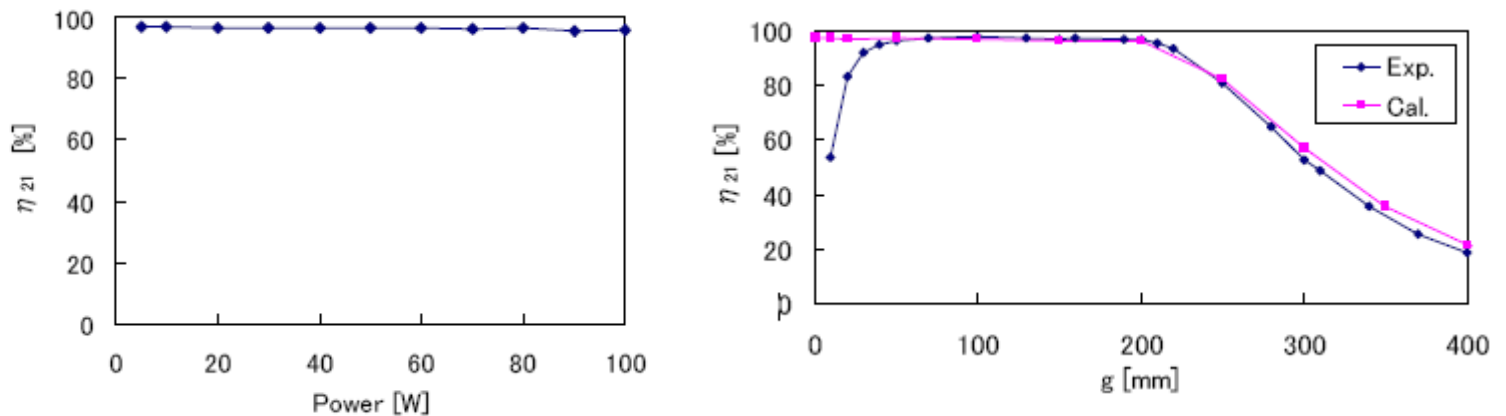
Takehiro e.a. (2009) bestudeerden ontvangers die voldoende klein zijn om onder een EV geplaatst te kunnen worden. Een vereenvoudigd systeem voor het laden van EV is weergegeven in figuur 24. Een eerste antenne zendt energie naar een tweede via een magnetisch resonante koppeling. Deze laatste antenne verstuurt vervolgens de energie naar een gelijkrichter die de wisselstroom in gelijkstroom omzet, waarna de batterij geladen kan worden. In de studie gebruikten ze een antenne met een straal van 15cm, een hoogte van 3 mm en een dikte van 2 mm. Deze kan namelijk gemakkelijk op de bodem van een EV geplaatst worden. In het experiment lieten ze de afstand tussen zender en ontvanger variëren tussen 10 en 40 cm. Tot op 20 cm werd een maximale efficiëntie van 97% behaald (zie figuur 25, rechts). Indien de afstand tussen de spoelen groter wordt, daalt de koppelcoëfficiënt. Desondanks blijft de efficiëntie erg hoog. Theoretisch is de efficiëntie niet afhankelijk van de hoeveelheid vermogen die verstuurd worden en zal daarom constant blijven, dit wordt bevestigd in het experiment (zie figuur 25, links). Men liet het vermogen van 0 tot 100 W stijgen, de efficiëntie bleef constant. Verder onderzoek is noodzakelijk voor hogere vermogens zodat ook de warmte-effecten in kaart gebracht kunnen worden.

Figuur 24 - Concept WiTricity-laden



Bron: (Takehiro, Hiroyuki, & Yoichi, 2009)

Figuur 25 - Efficiëntie van de vermogensoverdracht tussen zend- en ontvangspoel van WiTricity met wisselend vermogen (links); met wisselende afstand tussen de spoelen (rechts)



Bron: (Takehiro, Hiroyuki, & Yoichi, 2009)

Dit systeem is voorgelegd aan experts. Deze bevestigden dat het technisch mogelijk moet zijn dit systeem te ontwerpen én waarbij het kan voldoen aan de huidige regelgeving betreffende de gezondheidseffecten op de mens (ICNIRP-waarden) en ten aanzien van de elektromagnetische compatibiliteit op elektronica (EMC-normen). Voor verdere informatie en de totstandkoming van de ICNIRP normen wordt de lezer verwezen naar de eigen geschreven onderzoeken in appendix IV.

Belangrijk om op te merken is dat het technisch haalbaar is om via (resonante) inductie wagens te laden. Verschillende experts en experimenten bevestigen dit. Onze experts benadrukken dat voornamelijk stationair laden geen probleem zal vormen. Het dynamisch laden, waardoor een EV continu wordt opgeladen tijdens het rijden is een andere zaak. Hierbij zal het niet overschrijven van de veiligheidsnormen voor mens en elektronische apparatuur een belangrijke uitdaging vormen.

6.4.2 Financiële analyse

Doordat het draadloos opladen van wagens nog niet volledig technisch op punt staat en gecommmercialiseerd werd zal deze financiële analyse slechts een eerste voorzichtige uitspraak kunnen doen van wat het te verwachten rendement is.

Om een eerste indicatie te krijgen van de te verwachte investeringskost is, werd onderzocht uit welke componenten het draadloze systeem is opgebouwd en wat de kostprijs van deze materialen is. Deze gegevens werden ons ter beschikking gesteld door Flander's Drive.

Er zullen net als in de financiële analyse van laadpalen en batterijwisselstations twee situaties worden bestudeerd. Een formule waarbij de gebruiker betaald voor de verbruikte energie en een formule waarbij men een abonnement aanschaft om ongelimiteerd van de laadinfrastructuur gebruik te kunnen maken.

- Investeringskost

Uit een eerste voorzichtige schatting blijkt dat een inductief laadsysteem een investering zal vragen van minstens 7.000 euro. Dit omvat de materiaal- en plaatsingskosten.

De *materiaalkosten* van een inductief laadsysteem bedragen bijna 5.000 euro. Tabel 12 geeft een overzicht van het materiaalgebruik en de materiaalkost van een draadloos laadsysteem. Hierbij dient vermeld te worden dat in deze materiaalkost nog geen rekening werd gehouden met de kostprijs van elektronica die voor de communicatie zorgt tussen het laadsysteem met het stroomnet en het laadsysteem met de wagen.

De *plaatsingskosten* van het draadloze systeem in de wagen en het wegdek kunnen oplopen tot ongeveer 1.600 euro. De installatiekosten in de wagen worden tussen de 200 en de 600 euro geschat. Deze kostindicatie werd ons meegedeeld door Evatran. Evatran is een Amerikaans bedrijf dat dergelijke systemen binnenkort op de markt zal uitbrengen. Voor de plaatsingskosten van het laadsysteem in het wegdek wordt verondersteld dat deze gemiddeld tussen de 500 à 1.000 euro zullen bedragen.

Tabel 12 - Indicatie materiaalkost draadloos laadsysteem

Road Module		Primary Inverter		Secondary (Pick-up)	
Component	Prijs (€)	Component	Prijs (€)	Component	Prijs (€)
Primary cable	124,67	Rectifier	300,00	Rectifier	300,00
Feeding cable	61,60	DCDC converter	320,00	DCDC converter	320,00
Tubes	15,50	Filter	40,00	Filter	40,00
Concrete module	450,00	Inverter	370,00	Compensation	5,00
Alu plates	126,00	Compensation	5,00	Secondary coil	200,00
Ferrites	300,00	Primary coil	200,00	Heat sink	600,00
Dowels	21,43	Heat sink	600,00	Cabling and connectors	40,00
Concrete bases	340,00	Cabling and connectors	40,00		
Subtotaal	€ 1.439,20	Subtotaal	€ 1.875,00	Subtotaal	€ 1.505,00
Totaal = €4.819,20					

Noot: Deze prijzen zijn louter indicatief; er werd geen rekening gehouden met de kostprijs van elektronica die voor de communicatie tussen het laadsysteem/stroomnet en het laadsysteem/wagen zorgt.

Bron: Eigen ontwerp op basis van gegevens ter beschikking gesteld door Flanders' Drive

- Operationele kosten

Voor de operationele kosten wordt, zoals in de assumpties vermeld, enkel rekening gehouden worden met de energie- en onderhoudskosten. Er wordt verondersteld dat het inductieve laadsysteem de wagen met gemiddelde snelheid zal laden en er dus ongeveer 7,3 kW vermogen per uur naar het EV wordt geleverd.

De energieoverdracht van een draadloos systeem is minder efficiënt in vergelijking met de voorgaande laadsystemen. In dit model wordt er vanuit gegaan dat de efficiëntie 80% zal bedragen. De onderhoudskosten per laadpunt worden geschat op 150 euro per jaar. Dit bedrag is lager dan de onderhoudskosten van laadpalen. Dit komt omdat de materialen van inductieve systemen minder onderhevig zijn aan slijtage en corrosie.

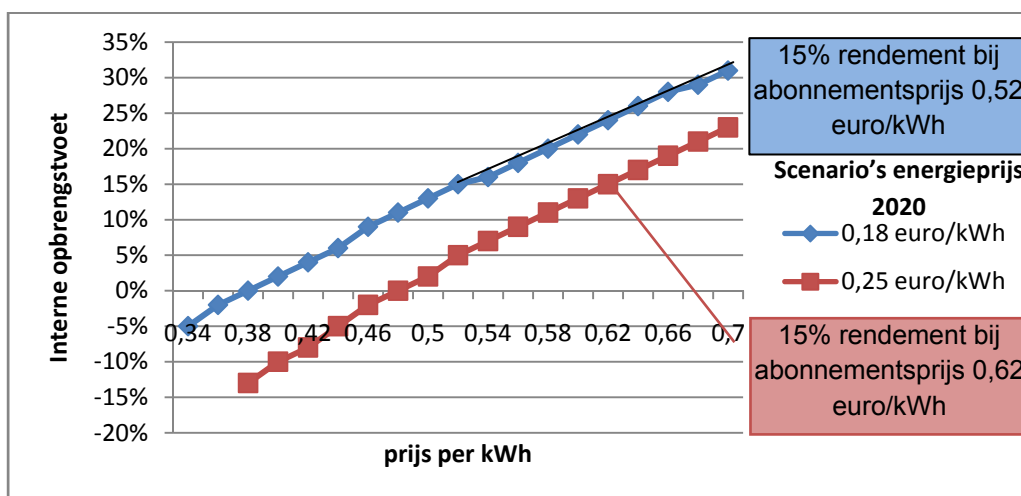
Opbrengsten

De opbrengsten bestaan enkel uit de geldstromen die ontstaan door de een prijs per kWh aan te rekenen (betaalformule I) of uit de verkoop van abonnementen (betaalformule II).

Betaalformule I - Prijs per kWh

Uit Figuur 26 volgt dat een draadloos oplaadpunt minstens 0,38 euro/kWh (scenario I – 0,18 euro/kWh) à 0,48 euro/kWh (scenario II – 0,25 euro/kWh) moet vragen aan de gebruiker om een positieve opbrengstvoet te genereren. Indien een rendement van 15% is gewenst, stijgt dit tot 0,52 à 0,62 euro/kWh. Dit betekent een marge van 189% t.o.v. de elektriciteitsprijs uit scenario I en een marge van 148% in scenario II.

Figuur 26 - Rendement draadloos laden bij variërende prijs per kWh



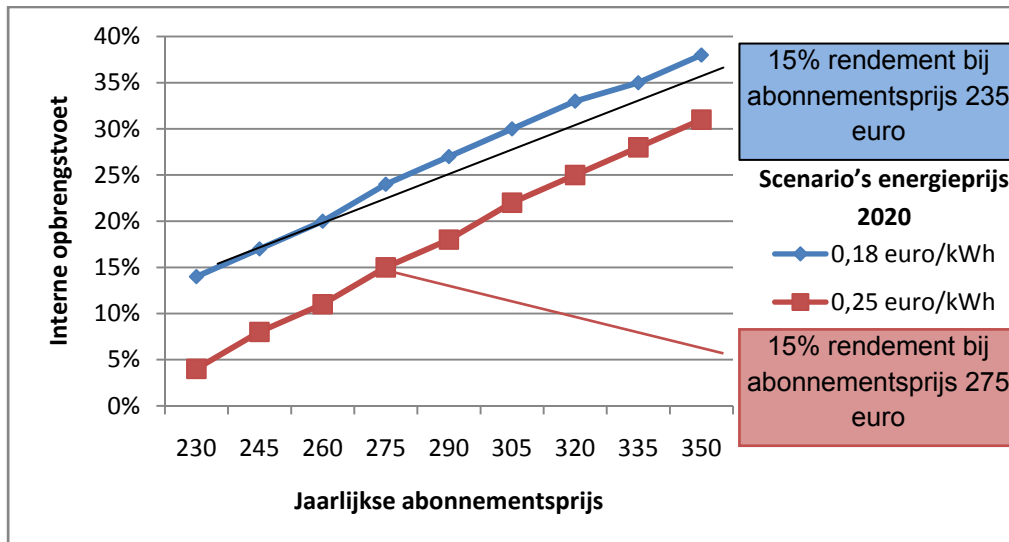
Noot: 300.000 gebruikers; 15.000 km/jr.; 0,15 kWh/km, gemiddeld draadloos laadpunt (7,3 kWh geleverd vermogen); 10 jaar levensduur; € 150 onderhoudskosten per jaar; € 7.000 aanschaf- en installatiekost; gebruiksgraad 20%; efficiëntie 80%

Bron: Eigen berekeningen

Betaalformule II – Abonnement

Een tweede mogelijkheid bestaat erin een jaarlijkse abonnementsprijs te vragen voor een ongelimiteerd gebruik van de draadloze laadpunten. Uit figuur 27 volgt dat om een positief rendement te verkrijgen een abonnementsprijs van minstens 177 euro/abbonement (scenario I) en 218 euro/abbonement (scenario II) noodzakelijk is. Een interne opbrengstvoet van 15% is mogelijk vanaf een abonnementsprijs van 235 euro (scenario I) en 275 euro (scenario II).

Figuur 27 - Rendement draadloos laden bij variërende abonnementsprijs



Noot: 300.000 abonnees; 15.000 km/jr.; 0,15 kWh/km, gemiddeld draadloos laadpunt (7,3 kWh geleverd vermogen); 10 jaar levensduur; € 150 onderhoudskosten per jaar; € 7.000 aanschaf- en installatiekost; gebruiksgraad 20%; efficiëntie 80%

Bron: Eigen berekeningen

6.5 Overzicht resultaten uit financiële analyse

Tabel 13 geeft een schematisch overzicht van de resultaten uit de verschillende besproken financiële analyses. Zoals vermeld in sectie 6.1 bieden deze resultaten slechts een eerste raamwerk ter analyse. Er zijn meerdere opbrengstenmodellen mogelijk dan de twee situaties die in dit onderzoek besproken zijn. Bovendien zijn er met heel wat operationele kosten geen rekening gehouden. Dit voor de eenvoud van het model en om binnen de doelstellingen van deze thesis te blijven.

Uit deze vergelijkende tabel volgt dat batterijwisselstations erg duur zijn in vergelijking met de twee andere laadtechnieken. Zo dienen gebruikers minstens 50 euro per batterijwissel te betalen. Er werd verondersteld dat een gemiddelde autobatterij een capaciteit zal hebben van 20 kWh. Dit betekent dat de batterijwissel 2,5 euro/kWh kost bij een interne opbrengstvoet van 0% en 4,5 euro/kWh bij een opbrengstvoet van 15%. Dit is beduidend meer dan de 0,37 en 0,38 euro/kWh die laadpalen en draadloze laadpunten vragen om een interne opbrengstvoet van 0% te genereren. Het is opvallend dat energieprijsschommelingen bij batterijwisselstations een zeer kleine invloed hebben op de interne opbrengstvoet. Dit is te wijten aan de hoge investering in de infrastructuur en de batterijvoorraad. De interne opbrengstvoet bij laadpalen en draadloze oplaadsystemen zijn meer afhankelijk van energieprijzen.

Uit de financiële analyse blijkt dat het kostenverschil tussen laadpalen en draadloos laden miniem is. In scenario I, waarbij in 2020 een elektriciteitskost van 0,18 euro/kWh verwacht wordt, is bij een interne opbrengstvoet van 15% het prijsverschil slechts 5 eurocent/kWh. In een abonnementsformule kost een jaarabonnement draadloos laden (scenario I) 25 euro meer in vergelijking met een jaarabonnement bij laadpalen.

Ondanks dit kleine prijsverschil moeten uitspraken zoals *draadloos laden is bijna even goedkoop als laadpalen* genuanceerd worden. In het financiële model is de kostprijs van een draadloos systeem geschat volgens eerste indicatieve gegevens. Exacte kostcijfers zijn tot op heden niet publiek bekend.

Tabel 13 - Overzicht resultaten uit financiële analyse

	Interne opbrengstvoet	Laadpalen		Batterijwisselstation		Draadloos laden	
		0%	15%	0%	15%	0%	15%
Prijs/gebruik (euro/kWh)	Scenario I 0,18 euro/kWh	0,37	0,47	2,5	4,5	0,38	0,52
	Scenario II 0,25 euro/kWh	0,44	0,54	2,5	4,5	0,48	0,62
Abonnement (euro/jaar)	Scenario I 0,18 euro/kWh	170	210	590	1000	177	235
	Scenario II 0,25 euro/kWh	200	240	590	1000	218	275

Bron: Eigen berekeningen

6.6 Algemene aandachtspunten laadinfrastructuur

Alvorens de drie laadtechnieken strategisch te vergelijken in sectie 6.7, is een goed begrip van enerzijds standaarden (6.6.1) en anderzijds de problematiek van privénetten (6.6.2) noodzakelijk.

6.6.1 Gebrek aan standaarden

Voor de drie typen van laden: laadpalen, batterijwisselstations en draadloos laden is er momenteel nog geen unieke standaard ontwikkeld. De ontwikkeling van zulke standaarden is belangrijk zodat autoconstructeurs en laadpuntproducenten een geharmoniseerd geheel kunnen vormen.

Het ontbreken van een standaard bij *laadpalen* ligt niet zozeer aan de technologie, deze is goed ontwikkeld. De finale goedkeuring in een regulerend kader van standaardorganisaties ontbreekt echter (Wiederer & Philip, 2010). België, Duitsland, Nederland en Zweden hebben de ‘Mennekes-stekker’ als standaard gekozen (Mobimix, 2010). In een antwoord op een parlementaire vraag van Peter van Dalen (2011) over het al dan niet wenselijk zijn van een Europese standaard, antwoordde de Commissie:

“De Commissie acht het wenselijk dat er zo spoedig mogelijk geharmoniseerde normen komen voor de interoperabiliteit van oplaadpunten voor elektrische voertuigen. Daarmee worden immers het best de belangen gediend van de producenten van elektrische voertuigen en de toestellen in kwestie alsook van de gebruikers van elektrische voertuigen.” (Europese Commissie, 2011)

Er zijn echter momenteel twee typen van stekkers binnen de EU: dit is de ‘Mennekes’ en de ‘Frans/Italiaanse’ stekker. Het probleem is dat deze typen van stekkers niet interoperabel zijn. Dit is een absolute noodzaak om de toegankelijkheid en uitbouw van laadinfrastructuur te bevorderen, aldus de Commissie:

“Om de ontwikkeling van de interne markt voor elektrische voertuigen te bevorderen en het opwerpen van marktbelemmeringen te ontmoedigen is het absoluut noodzakelijk dat stekkers, oplaadpunten en elektrische voertuigen interoperabel zijn. Dit zou de gebruikers in staat stellen hetzelfde oplaadpunt te gebruiken voor verschillende elektrische voertuigen. Bovendien zouden zij hun voertuigen zowel in het buitenland als in eigen land gemakkelijk kunnen opladen. Het zou ook het opladen aan publiek toegankelijke oplaadstations en de uitrol van oplaadinfrastructuur vergemakkelijken. Ten slotte zou het de lidstaten ervan afhouden individueel maatregelen te nemen die ertoe kunnen leiden dat de oplossingen elkaar overlappen.” (Europese Commissie, 2011)

De Europese Commissie heeft daarom de opdracht gegeven aan de Europese Normalisatie-Instellingen (ENI) om nieuwe normen te publiceren of de bestaande normen opnieuw te bekijken met het doel de interoperabiliteit van oplaadpunten/-apparatuur voor elektrische voertuigen te garanderen. De Europese Commissie drong bij deze instellingen aan om medio 2011 een standaard te ontwikkelen en goed te keuren, maar de ENI's hebben zich niet vastgelegd op deze streefdata's. In het ontwikkelen naar een standaard wil de Europese Commissie haar wetgevende macht in eerste instantie niet uitoefenen:

“De Commissie wil niet via wetgeving een oplossing opleggen en heeft de taak daarom aan de normalisatie-instellingen toevertrouwd. Zij heeft op dezelfde manier gehandeld bij de harmonisatie van de interface van laders voor mobiele telefoons. Als geen vooruitgang wordt geboekt, kan de regelgevende aanpak alsnog als optie worden overwogen.” (Europese Commissie, 2011)

Bij het *inductieve laden* speelt de technologische onzekerheid wel mee. Momenteel is er nog erg veel onderzoek en ontwikkeling voor het laden van EV via inductieve laadsystemen. Dit geldt ook voor de ontwikkeling van een batterijstandaard voor *batterijwisselstations*. Op langere termijn is het standaardiseren van dergelijke systemen noodzakelijk.

6.6.2 Problematiek privénetten

Tot op heden is het doorleveren van elektriciteit naar een derde de taak van een erkend netbeheerder. Indien elektriciteit wordt geleverd door een niet-erkende netbeheerder wordt dit aanzien als een privénet en dit is verboden. Bovendien is voor de doorlevering van elektriciteit een vergunning (de leververgunning) vereist. De Vlaamse Reguleringsinstantie voor de Elektriciteits- en Gasmarkt (VREG) vestigde in haar ontwerpmededeling (VREG, 2010) de aandacht op deze problematiek van privénetten en leveringsvergunningen voor laadpuntbedrijven. In wat volgt worden de belangrijkste punten van deze ontwerpmededeling besproken:

- *Privénetten*

Europa vraagt (richtlijn 2009/72/EG) dat voor elk distributienet, opgebouwd uit elektriciteitslijnen of gasleidingen, een netbeheerder moet worden aangeduid. Een net waarvoor geen beheerder bestaat is een privénet en wordt in principe verboden, dit betekent met andere woorden dat er een verbod is op de doorlevering van energie.

In principe zijn bijvoorbeeld vakantieparken privénetten: er wordt namelijk energie doorgeleverd naar de vakantiehuizen zonder dat er een netbeheerder deze private lijnen controleert. Europa voorziet voor deze situatie echter een uitzondering: de elektriciteit valt namelijk onder een breder dienstenpakket. Het aanbieden van slaapgelegenheid, ontspanning, etc. weegt meer door dan het leveren van elektriciteit.

Oplaadpunten geven eveneens elektriciteit door en dit is dus in principe verboden. De VREG stelt daarom een afwijking van deze Europese richtlijn voor waarbij laadpunten die gelegen zijn op privédoelgebied en via één enkel toegangspunt verbonden worden met het publieke distributienet, zonder openbaar domein te overschrijden, gedoogd kunnen worden.

- *Leveringsvergunningen*

Een leveringsvergunning, aan te vragen bij de VREG, is een toelating om elektriciteit en/of aardgas te kunnen leveren aan eindgebruikers. Er is geen vergunning noodzakelijk in volgende gevallen: (1) indien elektriciteit, opgewekt via decentrale productie, en via een directe lijn één enkele afnemer bevoorradt, (2) indien elektriciteit geleverd wordt via een directe lijn als onderdeel van een breder dienstenpakket. Hierbij kan men denken aan het bovenvermelde huren van een bungalow in een vakantiepark; het huren van een studentenkot; etc. De geleverde elektriciteit is ondergeschikt aan het verlenen van de dienst

'woongelegenhed'. Onder een directe lijn verstaat de VREG een elektrische leiding die geen fysisch deel is van het elektriciteitsdistributienet én waarbij de nominale spanning kleiner of gelijk is aan 70 kV.

In de *beginfase* kan de levering van elektriciteit door oplaadpalen in een breder dienstenpakket aanzien worden. De kostprijs van de elektriciteit is namelijk een klein onderdeel van de totaalkost, gezien de begininvestering voor de aankoop en installatie van het oplaadpunt. Bij twijfel of elektriciteit kadert in een breder dienstenpakket, dient men 'de mobiliteit' van de eindafnemers na te gaan. Hieraan wordt voldaan als er voldoende andere laadstations zijn waar de gebruiker elektriciteit kan afnemen, zodoende dat de automobilist niet moet 'tanken' bij dat specifieke oplaadpunt.

In de *maturiteitsfase* zal het verkopen van elektriciteit wél gaan doorwegen in de totaalprijs. De investeringskost zal namelijk grotendeels terugverdiend zijn.

De VREG adviseert dat een leveringsvergunning noodzakelijk is voor elk toegangspunt (de plaats waar elektriciteit wordt afgenomen van het publieke distributienet en van waaruit directe lijnen naar de individuele laadpunten vertrekken) omwille van de volgende redenen:

- Gevaar voor een *monopoliesituatie* in de beginfase. Een niet-marktconforme prijs zou gevraagd kunnen worden aangezien de eindconsumenten niet of zeer moeilijk van leverancier zullen kunnen veranderen. Via een leveringsvergunning is rapportering vereist aan de regulator. Dit verhoogt de transparantie t.o.v. de verschillende marktspelers.
- Volgens de VREG zijn er een aantal leveranciers, die wél over een leveringsvergunning beschikken, bezig met gelijkaardige laadpuntprojecten. Indien concurrenten niet over zo een vergunning zouden moeten beschikken zou dit tot een *oneerlijke situatie* kunnen leiden.

De VREG adviseert daarom dat een vergunning noodzakelijk is voor elk toegangspunt. Vervolgens zijn er twee mogelijkheden.

- Het laadpuntenbedrijf levert energie door, op het toegangspunt staat een vergunde leverancier (1)

Hierbij stelt de VREG dat het laadpuntenbedrijf geen vergunning nodig heeft. Het laadpuntenbedrijf kiest een elektriciteitsleverancier die energie levert tot aan het toegangspunt. Vervolgens primeert de brede dienstverlening: de doorlevering van elektriciteit van het toegangspunt naar de individuele laadpunten; de plaatsing, onderhoud en controle van de oplaadpalen

- Het laadpuntenbedrijf levert energie door én staat op het toegangspunt als leverancier (2)

Hierbij is wel een leveringsvergunning nodig. De VREG maakt hierbij wel de bemerking dat de huidige procedure tot het verkrijgen van deze vergunning niet aangepast is aan dit type van bedrijf. Het laadpuntenbedrijf wil enkel elektriciteit leveren aan de eigen individuele laadpalen en niet aan derden (bv. gezinnen van stroom voorzien). Daarom raadt de VREG aan een nieuwe specifieke vergunning te creëren met een aangepaste procedure.

6.7 Strategische analyse oplaadmogelijkheden

De drie oplaadtechnologieën worden vergeleken op basis van een uitgebreide set criteria, voorgesteld door A. Senart, Scott, Kurth en Gaëlle Le Roux (2010). Deze criteria (zie tabel 14) bieden een goed perspectief over de verschillende dimensies (ontwerp, ontwikkeling en implementatie) van een product. Deze analyse is uitgevoerd aan de hand van interviews met experts van diverse achtergronden. Verder is door deze experts een wegingsfactor toegekend aan de voorgestelde criteria. Deze criteria zijn vervolgens onderverdeeld in drie categorieën. Er werd een score 1 toegekend aan factoren die zeer belangrijk zijn, een score 2 van factoren die minder belangrijk zijn en tot slot een score 3 aan de minst belangrijke factoren.

Betrouwbaarheid, veiligheid, gebruikssnelheid, gebruiksaanvaardbaarheid en gebruikservaring zijn gegroepeerd tot de belangrijkste criteria. De tweede groep van criteria bevat standaardonafhankelijkheid, schaalbaarheid, maturiteit van de technologie, penetratiegraad en mate van gebruiksvriendelijkheid. In de laatste categorie kozen experts voor het rendement op de investering, bedrijfs- en overheidsonafhankelijkheid, onderhouds- en herstelgemak en aanpasbaarheid.

Dit vergelijkingskader stelt ons in staat een erg voorzichtige uitspraak te doen over welke technologie globaal genomen te verkiezen is en op welke punten een bepaalde laadtechniek een competitief voordeel heeft. De wegingsfactoren en toegekende scores bevatten een zekere mate van suggestiviteit die bediscussieerd kan worden. Alvorens laadpalen (6.7.1), batterijwisselstations (6.7.2.) en draadloos laden (6.7.3) te onderzoeken worden eerst de gebruikte criteria (vet gedrukt, onderlijnd en cursief aangeduid) en subfactoren (vet gedrukt) besproken.

De **ontwerpcriteria** zijn gelinkt aan het al dan niet hebben van een coherente bedrijfsstrategie en goed technologiemanagement. Het **rendement op de investering** meet de monetaire opbrengsten over een specifieke periode t.o.v. de investering en werkingskosten. **Bedrijfs- en overheidsonafhankelijkheid** vertellen ons de mate van afhankelijkheid t.o.v. externe partners of de overheid. **Standaardonafhankelijkheid** meet in welke mate de technologie afhankelijk is van nationale of internationale standaarden. **Schaalbaarheid, maturiteit van de technologie** en **penetratiegraad** geven weer hoe snel de technologie kan uitgebreid worden, de maturiteit van de infrastructuur en de tijd die nodig is en om de oplaadmethode te introduceren of in welke mate ze beschikbaar is.

De **implementatiecriteria** drukken uit in welke mate de technologie aanvaard is en hoe deze gebruikt dient te worden. De **mate van gebruiksvriendelijkheid** meet hoe gemakkelijk het systeem te installeren of te integreren is in de bestaande omgeving. Het **onderhouds- en herstelgemak** geeft weer hoe handig het systeem te onderhouden, te herstellen en te verbeteren is. De **betrouwbaarheid** meet het risico op het uitvallen van het systeem. De **veiligheid** geeft ons inzicht in welke mate gebruikers in een onveilige situatie terechtkomen. De **gebruikssnelheid** meet hoe snel en efficiënt de technologie werkt. De **gebruiksaanvaardbaarheid** leert ons in welke mate het systeem aanvaardt zal worden door gebruikers (bv. negatieve gevolgen van de technologie op het milieu, maakt het minder aanvaardbaar). De **gebruikservaring** vertelt hoe handig het oplaadsysteem voor de gebruikers is.

Het **ontwikkelingscriterium** focust op het langdurige succes van de technologie. Zo is het noodzakelijk dat het systeem voldoende aanpasbaar is. De **aanpasbaarheid** meet de mogelijkheid of het systeem gemakkelijk te wijzigen is bij een verandering van de behoeften van de gebruiker of de technologie, of er gemakkelijk verbeteringen kunnen worden aangebracht worden en of mogelijke fouten gecorrigeerd kunnen worden.

Tabel 14 - Strategisch vergelijkingskader oplaadsystemen

	Ontwerp							Implementatie							Ontwikkeling
	Rendement investering	Bedrijfsafhankelijkheid	Overheidsafhankelijkheid	Standaardafhankelijkheid	Schaalbaarheid	Maturiteit technologie	Penetratiegraad	Mate van Gebruiksvriendelijkheid	Onderhouds – en herstelgemak	Betrouwbaarheid	Veiligheid	Gebruikssnelheid	Gebruiksaaanvaardbaarheid	Gebruikservaring	Aanpasbaarheid
Laadpalen	●	◐	◐	◐	●	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐	●
Batterijwisselstations	◐	◐	◐	○	◐	◐	◐	◐	◐	◐	●	●	◐	◐	◐
Draadloos laden	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐
Wegingsfactor	2	3	3	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	3

Scores: ● = voldoet in sterke mate aan het criteria; Wegingsfactor: 1=belangrijkste, 3=minst belangrijkste
 Bron: eigen ontwerp op basis van expertinterviews en (Senart, Kurth, & Roux, 2010)

6.7.1 Laadpalen

Een laadpaal vraagt een beperkte begininvestering en onderhoudskost. Men kan er al een installeren vanaf 1.000 à 2.000 euro. Snellaadpalen kunnen daarentegen meer dan 40.000 euro kosten. Indien de verbruiks- en controlekosten voor een laadpaal, die men privé installeert, in rekening worden gebracht komt dit neer op ongeveer 500 euro/jaar. Dit omvat de elektriciteitsrekening van een wagen met een kilometrage van 15.000 km (~300 à 400 euro/jaar) en de controle- en onderhoudskosten (~150 euro/jaar). Gezien de beperkte investeringskost verwacht men bij een voldoende grote acceptatie van EV een vrij hoog *rendement op de investering* voor laadpalen.

De *bedrijfsafhankelijkheid* is hoog omdat er geen verplichtte samenwerking is tussen autofabrikanten en laadpaalproducenten. Laadpalen kennen een zekere mate van *overheidsafhankelijkheid* door de eerder besproken problematiek van privénetten. Doordat er nog geen uniforme Europese standaard bestaat voor de connectie tussen het stopcontact en de laadpaal is er een matige score voor *standaardafhankelijkheid*. Dit standaardprobleem zal echter in de nabije toekomst weggewerkt worden.

Experts kenden een hoge score toe aan de *maturiteit van de technologie*. Een laadpaal bevat weinig nieuwe elektrische componenten. Deze technologische maturiteit en de beperkte investering maken laadpalen gemakkelijk *schaalbaar*. Verder zorgt het vrij eenvoudige en gekende gebruiksprincipe ervoor dat laadpalen goed aanvaardbaar zijn. De *gebruiksvriendelijkheid* scoort matig tot hoog. Enerzijds is een laadpaal dankzij haar beperkte grootte gemakkelijk te integreren in het bestaande landschap, anderzijds moeten er fundamenteën voorzien worden en speelt het esthetische aspect van dergelijke palen in de omgeving mee. Doordat laadpalen gebruik maken van elektrische basiscomponenten worden er weinig problemen verwacht met *onderhouds- en herstelwerken*. Wel dient bemerkt te worden dat men verwacht meermaals de laadpalen en stroomdraden te zullen moeten controleren doordat deze onderhevig zijn aan slijtage en weersomstandigheden.

De huidige generatie laadpalen zijn vrij tot zeer *betrouwbaar*. Er zijn weinig problemen bekend met het niet werken van laadpalen door technische problemen. Bij snelladen dient wel rekening gehouden te worden met de warmteontwikkeling in de stroomdraden. Andere problemen die men kan verwachten is een overbelasting van het stroomnet indien grote laadpaalnetwerken op het elektriciteitsnet worden aangesloten.

Een matige score wordt toegekend aan *veiligheid*. Er ontstaan grote krachten in de kabels van laadpalen, dit kan problemen opleveren indien de draad beschadigd is of foutief wordt losgekoppeld. Bovendien zorgen loshangende kabels voor een extra veiligheidsprobleem.

Snelheid wordt door experts matig gescoord. Een lege batterij opladen neemt klassiek tussen de 4 en 8 uur in beslag. Dit is zeer lang. Snellaadpalen zouden een oplossing kunnen bieden, maar blijken naast erg duur ook nadelig te zijn voor de batterij. Zo wordt de batterij minder efficiënt, wordt deze sterk verhit en zal de levensduur dalen (Fleischer & Sauer, 2011). Bovendien zorgen snellaadpalen voor een extra verbruikspiek in het elektriciteitsnetwerk.

Men verwacht een grote *gebruiksaanvaardbaarheid* van laadpalen. De consument is immers goed bekend met het opladen van allerlei elektronische toestellen via het stroomnetwerk. Het laden van een EV via het net is een kleine stap verder. De *gebruikservaring* scoort matig daar er nog steeds een manuele handeling van de gebruiker vereist is. Experts verwachten weinig problemen om verbeteringen aan te brengen of om in te spelen op nieuwe behoeften en noden van consumenten. Dit maakt dat laadpalen gemakkelijk *aanpasbaar* zijn.

6.7.2 Batterijwisselstations

Er wordt een lage score toegekend aan het *rendement op de investering* bij batterijwisselstations. Zo is het opzetten van de infrastructuur erg duur. Deutsche Bank (2010) schat de investeringskost van één wisselstation op € 350.000. Verder is de logistiek die batterijwissels met zich meebrengt erg onpraktisch en duur. Batterijwisselstations hebben meerdere batterijen per klant in beheer nodig en er dient plaats voorzien te worden om deze batterijen te herladen en op te slaan. Dit in combinatie met de extra veiligheidsmaatregelen die genomen moeten worden voor deze stockage maakt de kost van een dergelijk station erg hoog.

Batterijwisselstations zijn erg afhankelijk van autoconstructeurs en standaarden (lage score *bedrijfs- en standaardafhankelijkheid*). De batterijen moeten immers compatibel zijn met het automatische wisselsysteem en in meerdere automodellen passen. Daarom is het van cruciaal belang voor batterijwisselstations om overeenkomsten te sluiten met batterij- en autofabrikanten. Om deze standaardproblemen te onderzoeken is met steun van de Europese Commissie het consortium EASYBAT opgericht. Dit consortium onderzoekt o.a. systemen om de samenwerking tussen batterij en het EV te verbeteren (Europese Commissie, 2011).

De *maturiteit van deze technologie* is deels bewezen met uitgebreide testen in Israël, Denemarken, Australië en Amerika. Een lage score wordt toegekend aan de *schaalbaarheid* en *penetratiegraad*. Het vergt enige tijd om deze laadmethode te introduceren. Om automobilisten te overtuigen gebruik te maken van batterijwisselstations dient er o.a. een voldoende grote (inter)nationale infrastructuur gebouwd te worden. Dit zal de afstandsrees van automobilisten verkleinen. Het uitbouwen van een dergelijk netwerk is gemakkelijker voor kleine landen zoals België en voor landen waar er een sterke nationale interesse is voor alternatieve transportvormen (Senart, Kurth, & Roux, 2010). Er worden weinig problemen verwacht om dergelijke systemen te bouwen in het huidige landschap, maar er dienen aan heel wat formaliteiten (zoals vergunningen) voldaan te worden. *Gebruiksvriendelijkheid* scoort daarom matig.

De *veiligheid* voor de gebruikers is erg hoog aangezien alles geautomatiseerd verloopt. Doordat er geen fysieke handeling vereist is van de gebruiker of er een rechtstreeks contact ontstaat tussen de batterij is de kans op elektrocutie zo goed als onbestaande. Deze verdoorgedreven automatisatie, door middel van ingewikkelde robotische systemen, maken *herstellingen en onderhoud* erg duur. Ook ligt de *betrouwbaarheid* van deze ingewikkelde systemen minder voor de hand t.o.v. de eenvoudige laadpalen. Een ander aandachtspunt is slijtage. Door het veelvuldig wisselen van de batterijen kunnen de connectiepunten die batterij en auto verbinden uitslijten.

Een van de grote voordelen van batterijwisselstations is de *gebruikssnelheid*. Het wisselen van de batterij duurt gemiddeld één minuut (Abuelsamid, 2010), wat zelfs veel sneller is dan een klassieke tankbeurt.

De verwachte *gebruiksaanvaardbaarheid* is nog onzeker, enerzijds is het drive-in systeem voldoende gekend bij de consumenten, anderzijds is er een grote weerstand van de gebruikers te verwachten. De consument is immers nooit zeker van de levensverwachting en kwaliteit van de gewisselde batterij. Batterijwisselstations moeten nadenken hoe ze zich verantwoordelijk zullen stellen indien een batterij van inferieure kwaliteit in een EV geplaatst wordt.

Batterijwisselstations scoren erg goed op *gebruikservaring*. Er is geen handeling van de automobilist vereist gedurende het wisselproces. Automobilisten kunnen in hun wagen blijven zitten terwijl de batterij vervangen wordt.

Batterijwisselstations zijn moeilijk *aanpasbaar*. Door snelle technologische ontwikkelingen m.b.t. batterijtechnologie zou een wisselstation niet of veel minder nodig kunnen zijn. Enerzijds zullen er volgens experts batterijen ontwikkeld worden die een actieradius hebben van 300 km en meer. Dit is voor de meeste ritten ruimschoots voldoende. Een ander punt is dat men verwacht dat autofabrikanten zullen kiezen voor een betere gewichtsverdeling van de wagen. Batterijen worden dan in kleine stukken verdeeld en zo verspreid over het hele voertuig. BMW heeft een conceptauto ontwikkeld, de BMW-ActiveE waarbij delen van de batterij op de vroegere brandstoftank en vooraan in de transmissietunnel geplaatst zijn (BMW, 2011). Om op deze ontwikkeling te kunnen inspelen zijn erg dure infrastructurele aanpassingen in batterijwisselstations noodzakelijk. Dit ligt niet voor de hand.

6.7.3 Draadloos laden

Het *rendement op de investering* van draadloze systemen bevindt zich tussen batterijwisselstations en laadpalen. Er zijn relatief betaalbare systemen op de markt voor het inductief laden van wagens of andere (industriële) toepassingen. Inductief laden scoort matig op *bedrijfs-, overheids- en standaardonafhankelijkheid*. Er moeten immers contracten gesloten worden met autofabrikanten om dit systeem in de wagens te implementeren en er bestaat nog geen standaard met betrekking tot inductieve overdracht voor grote vermogenstoepassingen. Voor lage vermogenstoepassingen zoals oplaadmatten is die er, zoals besproken in appendix III, wel.

Er is een zekere mate van overheidsafhankelijkheid omwille van de problematiek van de privénetten en de wetgeving rondom magnetische straling. Eens de technologie op punt staat verwachten experts geen problemen om dit systeem verder uit te breiden (*schaalbaarheid*). De *maturiteit van de technologische* om EV draadloos op te laden is laag. Er is nog veel onderzoek en ontwikkeling nodig. De *penetratiegraad* is erg laag en de meeste inductieve laadsystemen zitten nog in de testfase. Volgens experts zal het dan ook nog even duren voor het inductief laden van wagens aan het grote publiek geïntroduceerd kan worden.

Inductief laden is erg *gebruiksvriendelijk* om in de bestaande omgeving te introduceren. Het heeft als voordeel t.o.v. de klassieke laadpalen dat er geen opzichtige palen het landschap verstoren. Verder zijn inductieve laadsystemen erg *onderhoudsvriendelijk*. Er immers geen fysiek contact tussen zender en ontvanger waardoor er weinig slijtage optreed (Huang, Boys,

Covic, & Budhia, 2009; Budhia, Covic, & Boys, 2010). Bovendien is het systeem erg resistent voor water en stof (Huang, Boys, Covic, & Budhia, 2009). Het systeem is relatief *betrouwbaar*, indien het veld verstoord wordt door een vreemd voorwerp zal het onmiddellijk uitvallen, toch zijn fouten nooit voor de volle 100% uit te sluiten. Wat de *veiligheid* betreft is het volgens de experts mogelijk om onder de huidige veiligheidsnormen te blijven, zeker wat het stationair laden betreft. Toch dient opgemerkt te worden dat de langetermijneffecten van magnetische straling nog onvoldoende gekend zijn (SCENIHR, 2007). In een natte omgeving worden geen veiligheids- of operationele problemen verwacht (Budhia, Covic, & Boys, 2010).

De *snelheid* van opladen varieert afhankelijk van het verstuurd vermogen. Lage vermogenstoepassingen waarbij de veiligheidsnormen worden gerespecteerd zijn haalbaar, maar voor grotere vermogens is nog verder onderzoek noodzakelijk. De mate van *gebruiksaanvaardbaarheid* is onzeker. Enerzijds is er een zeer hoge *gebruikservaring* te verwachten, de manuele handelingen voor de gebruiker zijn beperkt. Anderzijds is er een zekere weerstand en vrees van gebruikers voor toestellen die straling opwekken. Voor laadpuntovergebruikers hebben draadloze laadsystemen als voordeel dat er minder vandalisme wordt verwacht. Het gehele systeem is immers ingebed in de grond.

Tussen de geïnterviewde experts was er geen consensus omtrent de aanpasbaarheid. Sommige verwachten dat het systeem handig aan te passen zal zijn, anderen verwachten meer moeilijkheden.

6.7.4 Conclusie strategische analyse

Gezien de beperkte omvang van het aantal experts die het strategisch kader hebben gescoord dienen de conclusies die hierna beschreven worden erg voorzichtig worden geïnterpreteerd. Er waren bovendien niet altijd harde objectieve cijfers voorhanden om de verschillende criteria te scoren. Een zekere mate van subjectiviteit is niet uit te sluiten. Desalniettemin is het opmerkelijk dat aan bepaalde criteria door de verschillende experts eenzelfde score werd toegekend en het merendeel eenzelfde visie voor laadinfrastructuur op korte termijn had.

Wat de criteria van eerste categorie betreft, is vastgesteld dat laadpalen het best scoren wat betrouwbaarheid en gebruiksaanvaardbaarheid betreft. Batterijwisselstations scoren beter op veiligheid en gebruikssnelheid. Het inductieve laden scoort op geen enkel criteria individueel beter dan batterijwisselstations of laadpalen. Indien er rekening gehouden wordt met de volgende groep van criteria (waarde 2) scoren laadpalen op elk van deze criteria beter of gelijk t.o.v. batterijwisselstations en draadloos laden. Indien de minst belangrijke factoren in rekening genomen worden scoren laadpalen eveneens beter.

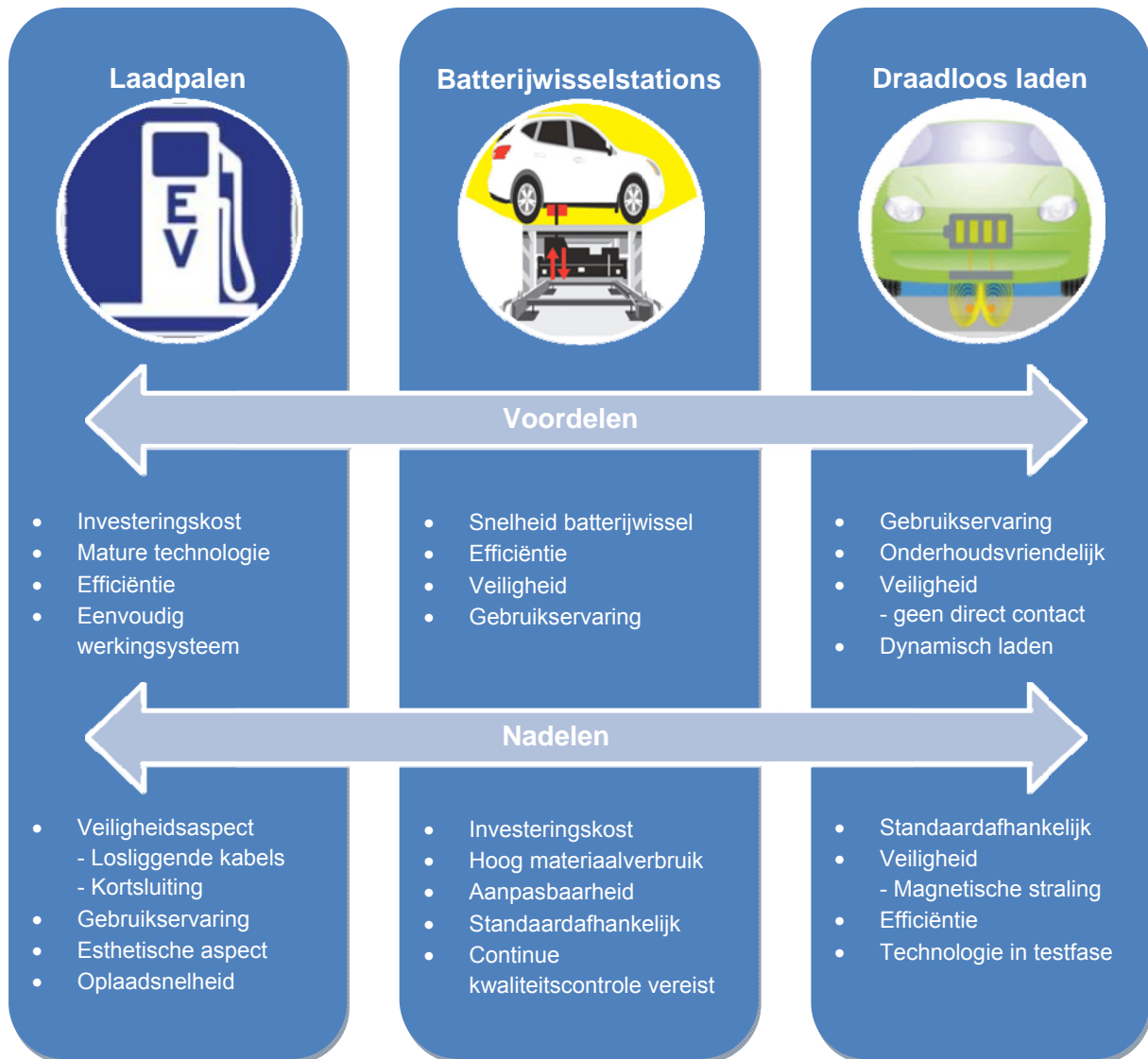
Over de verschillende factoren heen zien experts in een eerste fase het meest potentieel in laadpalen voor het laden van EV. Deze technologie is relatief goedkoop en erg matuur. Verder zijn consumenten vertrouwd met het systeem om elektrische toestellen via het net op te laden. Oplaadpalen kennen een eenvoudige werking en zijn efficiënt. Naar gebruikservaring toe zijn er verbeteringen mogelijk. Zo moet de veiligheid van de laadpaal regelmatig gecontroleerd worden. Op dergelijke laadkabels staan zeer grote krachten, die bij slijtage, bepaalde weersomstandigheden of foutief gebruik voor gevaar kunnen zorgen. Bovendien is er nog steeds een actieve handeling van de gebruiker vereist. Dit is niet zo bij batterijwisselstations of het draadloos laden. Verder duurt het erg lang om een batterij te

laden (4 tot 8 uur) via gewone laadpalen. Snellaadpalen bieden een oplossing aan dit probleem, maar blijken erg nadelig te zijn voor de levensduur van de batterij.

Experts zijn het minst enthousiast wat de toekomst van batterijwisselstations betreft om EV te laden. De hoge investering, hoge standaardafhankelijkheid en beperkte aanpasbaarheid maken dat dit systeem niet gemakkelijk te commercialiseren zal zijn. Bovendien hebben dergelijke stations een hoog materiaalverbruik doordat ze verschillende batterijen in reserve moeten houden. Verder is een continue controle van de kwaliteit van de batterijen vereist. Gebruikers die een batterij van inferieure kwaliteit in de wagen geplaatst krijgen en na enkele kilometers stilvallen zullen het wisselstation verantwoordelijk stellen. Aan de andere kant zijn dergelijke wisselsystemen extreem snel en veilig. Bovendien zorgt het voor de consument voor een ongeziene gebruikservaring, die zelf hoger is dan de huidige manier van tanken. Doordat de batterijen centraal gestockeerd worden kunnen deze op zeer efficiënte wijze worden geladen.

Het potentieel van draadloos laden voor EV bevindt zich tussen die van laadpalen en batterijwisselstations. Op middellange tot lange termijn verwachten experts een zeker markt voor deze laadtechniek. Momenteel staat de technologie nog te veel in haar kinderschoenen en is er onduidelijkheid over de gezondheidsgevolgen, het niveau van de magnetische straling en hoe deze ingeperkt kan worden. Bovendien is het draadloos laden van batterijen minder efficiënt dan indien dit gebeurt via laadpalen of batterijwisselstations. Op lange termijn kan aan bovenvermelde uitdagingen tegemoet gekomen worden door verbeteringen in de technologie. De gebruikservaring bij draadloos laden is erg hoog. Automobilisten kunnen de wagen laden zonder al te veel handelingen. Doordat er geen rechtsreeks contact vereist is, verhoogt dit de veiligheid naar de gebruiker toe. Zo is er bij slechte weersomstandigheden geen gevaar voor elektrocutie. Naar onderhoud toe zijn draadloze systemen goedkoper dan laadpalen of batterijwisselstations. Via het draadloos verzenden van energie treedt er een veel beperkte slijtage van de onderdelen op. Verder mag men het dynamische laden van wagens niet uit het oog verliezen. Draadloos laden is de enige technologie die wagens in staat stellen de batterij continue te laden terwijl ze aan het rijden zijn, op voorwaarde dat er zenders in het wegdek worden ingeplant.

Figuur 28 - Voor- en nadelen verschillende oplaadmogelijkheden



Bron: eigen ontwerp

6.8 Conclusie

Hoofdstuk 6 vergeleek de verschillende oplaadmogelijkheden vanuit een technisch, economisch en strategisch perspectief.

Vanuit het *technische oogpunt* zijn de drie laadsystemen in staat de batterij van een EV op te laden. Met betrekking tot veiligheid, kunnen er zich echter problemen voordoen om onder de bestaande stralingsnormen te blijven wat het draadloos laden betreft. Experts bevestigden dat bij stationair laden deze veiligheidsnormen kunnen gerespecteerd worden, maar indien de wagen tijdens het rijden geladen wordt, er verder onderzoek noodzakelijk is.

De *financiële analyses* die uitgevoerd zijn, hielden rekening met een beperkt aantal kost- en opbrengstdeterminanten. Daarom dient men erg voorzichtig te zijn met de precieze waarden die werden gecalculeerd. Niettegenstaande is vastgesteld dat laadpalen momenteel het meest kosteffectief zijn. Daarna volgt draadloos laden en vervolgens batterijwisselstations.

Zo is voor een interne opbrengstvoet van 15%, in het scenario waarbij de kostprijs van elektriciteit 0,18 euro/kWh bedraagt, een vraagprijs van 0,47 euro/kWh (bij laadpalen), 4,5 euro/kWh (bij batterijwisselstations) en 0,52 euro/kWh (bij draadloos laden) nodig. In de abonnementsformule is bij dit zelfde gewenste rendement en prijsscenario een verkoopprijs van een jaarabonnement van minstens € 210 (laadpalen), € 1.000 (batterijwisselstations) en € 235 (draadloos laden) noodzakelijk. Ondanks het kleine prijsverschil tussen laadpalen en draadloos laden kan er nog geen definitieve uitspraak gedaan worden dat het draadloos laden bijna even goedkoop zou zijn als laadpalen. In het financiële model werden eerste indicatieve kostgegevens gebruikt, doordat het draadloos laden van EV nog niet gecommercialiseerd is.

Uit de *strategische vergelijking* is gebleken dat laadpalen globaal genomen de voorkeur genieten op batterijwisselstations en draadloos laden om EV op te laden. En dit dankzij de beperkte investeringskost en goede efficiëntie. Verder is de technologie zeer matuur en eenvoudig in gebruik. Batterijwisselstations scoren zeer goed op het veiligheidsaspect, gebruiksnelheid en gebruikservaring, maar scoren ondermaats wat de standaardafhankelijkheid en aanpasbaarheid betreft. Het draadloos laden biedt heel wat voordelen naar de mate van gebruiksvriendelijkheid, het onderhoud en de gebruikservaring toe, maar kent grote uitdagingen wat de stand van de technologie en standaardontwikkelingen betreft.

Tot slot zijn nog enkele algemene aandachtspunten besproken voor het verder uitbouwen van een laadinfrastructuurnetwerk. Ten eerste dienen er zo snel mogelijk standaarden te ontwikkeld worden om dubbel werk en extra kosten te vermijden. Voor laadpalen wordt deze standaard op korte termijn verwacht. Bij batterijwisselstations en draadloos laden zal dit langer duren. Nu al een standaard ontwikkelen voor deze technieken is niet aangewezen, de technologie staat namelijk niet volledig op punt. Door langer te wachten kan een gefundeerde beslissing genomen worden wat de beste standaardnormen zijn. Verder is er de problematiek van de privénetten besproken. Het doorleveren van elektriciteit aan derden is in principe verboden. De VREG stelt daarom voor werk te maken van een nieuwe regelgeving zodat laadpunten, via een speciale vergunning, ook elektriciteit kunnen leveren aan deze derden.

Deel IV – Aanbevelingen, verder onderzoek en conclusie

Dit deel omvat hoofdstuk 7 en hoofdstuk 8. Hoofdstuk 7 licht aanbevelingen en verder onderzoek toe. Hoofdstuk 8 concludeert de besproken thema's, resultaten en bevindingen van de verschillende delen die in deze studie besproken zijn.

7 Aanbevelingen en verder onderzoek

Dit hoofdstuk wil een aantal aanbevelingen geven aan o.a. laadpuntproducenten (laadpalen, batterijwisselstations en draadloos laden), aan autoconstructeurs en aan overheden om de verdere ontwikkeling van elektrische voertuigen en de bijhorende oplaadinfrastructuur te bevorderen. Daarbij gaat ook aandacht naar een mogelijke afzetmarkt voor de verschillende laadtechnologieën. Verder noodzakelijk onderzoek wordt toegelicht.

1) Aanbevelingen voor overheden

Overheden zullen een vitale rol spelen bij de ontwikkeling van EV en de bijhorende oplaadinfrastructuur. De acties die de overheid onderneemt moeten verder reiken dan het toekennen van subsidies en taksvoordelen. Vooreerst is een duidelijke visie noodzakelijk over welke plaats en invloed elektrische voertuigen en de bijhorende oplaadinfrastructuur zullen hebben in onze maatschappij. Momenteel is deze visie zo goed als onbestaande en loopt België achter op buurlanden als Duitsland, Frankrijk en Nederland. Vervolgens is een geharmoniseerd masterplan noodzakelijk voor de ontwikkeling van groene, elektrische voertuigen en de bijhorende laadinfrastructuur. Dergelijk plan kan enkel tot stand komen via een constructieve dialoog met alle belanghebbenden: overheden, energieproducenten, autoconstructeurs, laadpuntproducenten en -uitbaters. Dit plan dient zowel de gewestgrenzen als landengrenzen te overschrijden. Zo hanteren Vlaanderen en Wallonië momenteel een verschillend systeem om minder vervuilende wagens te stimuleren. In Vlaanderen wordt de ecoscore gehanteerd, in Wallonië worden wagens op basis van CO₂-emissies gescoord (Englert, 2009). Er is bovendien vastgesteld dat er nog geen wettelijk kader bestaat voor het doorleveren van elektriciteit (de problematiek van de privénetten). Het is van cruciaal belang dat dit verder uitgediept wordt.

Het opstellen en communiceren van een dergelijk lange termijn plan kan ervoor zorgen dat er een stabiel investeringsklimaat wordt gecreëerd. Het plan moet enerzijds voldoende flexibel zijn om in te spelen op nieuwe technologische ontwikkelingen en anderzijds voldoende stabiel om private investeringen aan te trekken.

Naast het ontwikkelen van een visie en een geharmoniseerd plan dient de overheid educatie te stimuleren. Het promoten van ingenieurswetenschappen is noodzakelijk om vraag en aanbod op de arbeidsmarkt in evenwicht te houden. Er zullen immers meer specialisten in batterijtechnologie, elektronica en energieoverdrachtsystemen nodig zijn om de wisselwerking tussen oplaadpunten en elektrische voertuigen vlot te laten verlopen.

2) Aanbevelingen voor alle betrokken instanties

Verder is de ontwikkeling van internationale standaarden van cruciaal belang. Internationale standaarden vormen de basis voor een efficiënte ontwikkeling van oplaadstructuren en vermijden dubbel werk.

Voor *laadpalen* dient er een consensus te ontstaan over welk type van stroomdraad en plug gekozen wordt. Hierdoor kan een EV op een zelfde wijze worden opgeladen in de verschillende oplaadpunten. Om aan dit probleem aan te pakken maakte de Europese Commissie (EC) in juni 2010 bekend (Europese Commissie, 2010) dat ze werkt aan een gemeenschappelijk oplaadsysteem voor EV, fietsen en scooters. Het Europees Comité voor

Elektrotechnische Standaardisatie (CEN/CENELEC) en het Europese Instituut voor Telecommunicatiestandaarden (ETSI) verwachten dat de standaard klaar zal zijn midden 2011, maar deze datum zal niet gehaald worden. We bevelen de EC aan extra druk te zetten op dergelijke standaardinstanties zodat deze vertraging niet blijft aanslepen. Laadpalen zullen immers in een eerste fase dé manier zijn om EV van energie te voorzien. De EC wil via deze standaard ervoor zorgen dat in de hele Europese Unie (1) bestuurders hun EV veilig kunnen opladen en (2) dat alle laders en batterijen van EV functioneren met de bestaande energievoorzieningsystemen en kunnen opladen via eenzelfde soort lader.

Momenteel zijn er op korte termijn geen standaarden te verwachten voor *batterijwisselstations* of *draadloze laadsystemen*. Op basis van onze studie raden we aan om voor deze oplaadmogelijkheden nog geen standaard te voorzien. De technologie van beide systemen staat nog niet op punt en verbeteringen zijn te verwachten. Door dit uitstel kan later een gefundeerde beslissing genomen worden welke standaardnormen te verkiezen zijn.

3) Aanbevelingen voor laadpaalproducenten en –uitbaters

Laadpalen zullen in een eerste fase een cruciale rol spelen voor het laden van EV. Ze staan technologisch op punt, zijn relatief goedkoop en klaar om de markt te penetreren. Een goede samenwerking tussen bedrijven, overheden en autofabrikanten is noodzakelijk om een strategisch voordeel en oplaadnetwerk op te bouwen.

In een eerste stap kunnen laadpaaluitbaters bedrijven met een uitgebreid wagenpark trachten te overtuigen om laadpalen te plaatsen. Bij verdere uitbreiding is de locatie van de oplaadinfrastructuur een belangrijk punt. Het aankopen van strategische gronden zoals parkings nabij winkelcentra, stadscentra, treinstations, industrieterreinen lijkt ons niet opportuun omwille van de prijs. Bovendien zijn gemeenten en industrieterreinen mogelijk niet bereid om gronden in die buurten te verkopen. Daarom raden we laadpaaluitbaters aan exclusieve lange termijn contracten af te sluiten met gemeenten, treinstations, bedrijven, handelszaken, etc. Door deze ervan te overtuigen laadpalen te installeren, zorgt men niet alleen voor een eventuele nieuwe inkomstenstroom voor deze ondernemingen, maar kan dit ook als een marketinginstrument dienen om het groene imago te versterken.

Daarnaast dienen laadpaaluitbaters na te denken hoe fraude kan tegengegaan worden. Momenteel bieden bepaalde bedrijven een all-in abonnementsformule aan op basis van het inscannen van een gebruikersbadge. Dergelijke kaarten detecteren vandaag niet het voertuig zelf en kunnen bijgevolg doorgegeven worden aan anderen. Het is daarom aangeraden aan laadpuntuibaters een detectiesysteem te implementeren dat bijvoorbeeld de nummerplaat van de wagen controleert of het gebruik limiteert tot een zeker aantal kWh. Zoniet dreigen er grote financiële verliezen te ontstaan.

Verder is het aangeraden om disruptieve technologieën zoals draadloos laden van nabij te volgen. Draadloos laden is erg gebruiksvriendelijk en vergt weinig onderhoud. Deze oplaadwijze kan in de toekomst sterk aan belang winnen. Laadpaalproducenten dienen bijgevolg nu al na te denken hoe ze zullen reageren op deze extra competitie.

Eenzijds kan het afsluiten van bovenvermelde lange termijn contracten deze competitie vertragen. Dit is echter geen duurzame oplossing. Daarom raden we laadpaalproducenten aan vandaag mee te investeren in draadloze laadtechnieken zodat men morgen een divers

productportfolio van oplaadmogelijkheden kan aanbieden. Anderzijds kan de ontwikkeling van een automatisch connectiesysteem tussen de laadpaal en de wagen de gebruikservaring van de klant sterk verhogen.

Tot slot zijn laadpalen, en voornamelijk snellaadpalen, erg belastend voor het net en de batterij van een EV. Verder onderzoek dient te gebeuren hoe zwaar het net door deze laadpalen belast wordt en hoe deze belasting getemperd kan worden om een optimale werking te garanderen.

4) Aanbevelingen voor batterijwisselstations

Uit ons onderzoek is gebleken dat er in eerste instantie weinig potentieel van deze laadtechniek wordt verwacht voor het laden van EV. Dit omwille van de investeringskost en de technologische onzekerheid hoe EV in de toekomst zullen opgebouwd worden. Het intrinsieke voordeel van deze laadtechniek is de snelheid en veiligheid waarmee een batterij gewisseld kan worden. Deze techniek zien we eerder op langere termijn aan belang winnen nadat de batterijtechnologie en de gewichtsverdeling van de batterij in de wagen op punt staat.

Een mogelijke nichemarkt voor deze laadtechniek is het wegtransport. Vrachtwagens rijden lange afstanden via autostrades. Hier kunnen wisselstations in de eerste plaats gebouwd worden. Verder onderzoek is noodzakelijk of deze nichemarkt technisch en economisch haalbaar is. We raden aan deze markt te bekijken voor een groter geografisch gebied, bv. Europa en niet landelijk. Anderzijds beseffen we dat dergelijk grensoverschrijdend project de implementatie zal bemoeilijken en vertragen.

Ontwikkelaars van batterijwisselstations dienen na te denken hoe de kwaliteit van de batterijen gecontroleerd wordt. In de huidige tankstations dienen de pompbedienden de kwaliteit van de benzine niet te controleren bij elke tankbeurt. In batterijwisselstations is de controle van de kwaliteit van elke batterij wel noodzakelijk. Zo stelt zich een groot probleem indien een batterij van inferieure kwaliteit in een voertuig wordt geplaatst en de klant na enkele kilometers stilvalt. Batterijwisselstations moeten nadenken hoe ze met deze verantwoordelijkheid zullen omgaan. We raden aan na te denken over pechverhelping bij kapotte of lege batterijen. Verschillende abonnementsformules kunnen soelaas bieden. Deze formules kunnen gaan van een zeer snelle service tot goedkopere formules waar de wachttijd op herstelling langer is. Batterijwisselstations dienen evenwel te onderzoeken of de klant dergelijke kwaliteitsonzekerheid wil aanvaarden.

Verder raden we batterijwisselstations aan in te spelen op groene stroom en slimme netwerken⁷. Batterijen van EV worden opgeladen op centrale plaatsen. Deze locaties vragen veel stroom en kunnen makkelijker van groene energie voorzien worden via decentrale productie. Batterijwisselstations kunnen vervolgens een prominente rol spelen in het slimme netwerk. Zo kunnen batterijwisselstations de elektriciteitsstroom kanaliseren van en naar het EV. Indien de elektriciteitsvraag laag is (zoals 's nachts) kan goedkoop energie worden aangekocht om de batterijen te laden. Indien de elektriciteitsvraag hoog is, kunnen wisselstations eventuele overcapaciteit aan elektriciteit verkopen aan het stroomnet en zo de piekvermogens in het net aftoppen.

⁷Een slim elektriciteitsnetwerk laat een tweerichtingsverkeer tussen producenten en gebruikers toe.

5) Aanbevelingen voor inductieve laadsystemen

Op basis van dit onderzoek verwachten we een zeker potentieel voor inductieve laadsystemen. Indien de technologische en veiligheidsaspecten geoptimaliseerd kunnen worden, geloven we sterk in de waardetoevoeging die inductief laden kan bieden aan automobilisten.

In de eerste plaats dienen draadloze laadpuntproducenten na te denken welke positie ze willen innemen in de markt van elektrische voertuigen. Zullen ze zich concentreren op het stationair of het dynamisch opladen van EV. Voor het stationair laden van voertuigen zien wij een nichemarkt in het laden van bedrijfsvoertuigen, kleiner rollend materieel zoals heftrucks en taxi's. Taxi's staan een groot deel van de tijd te wachten op drukke plaatsen zoals luchthavens en hotels. Die wachttijd kan nuttig gebruikt worden door draadloze laadsystemen in de weg in te bedden zodat de autobatterij opgeladen kan worden. Wat het dynamische laden betreft, biedt openbaar vervoer mogelijkheden. Bussen rijden volgens vaste trajecten waarop draadloze systemen in het wegdek kunnen geplaatst worden. Vanuit deze nichemarkt kan dan op relatief kleine schaal ervaring opgedaan worden alvorens deze oplaadmogelijkheid op grote schaal uit te bouwen.

Om op de massamarkt van EV over te stappen zijn samenwerkingsakkoorden met grote autoconstructeurs noodzakelijk zodat de wagens en de oplaadinfrastructuur op elkaar kunnen afgestemd worden. Het is te verwachten dat dit proces zeer moeizaam zal verlopen. Bovendien raden we inductieve laadpuntproducenten aan een module te ontwikkelen die het mogelijk maakt bestaande EV om te bouwen, zodat deze draadloos opgeladen kunnen worden. Hoe goedkoper en eenvoudiger dit kan, des te meer automobilisten deze verandering zullen overwegen

6) Verder Onderzoek

Voor de ontwikkeling van een goed uitgebouwde oplaadinfrastructuur is verder inzicht nodig in de behoeften en betalingsbereidheid van de Belgische automobilisten. Zo is er nog geen inzicht in de psychologische afstandsvrees. Dergelijk inzicht is belangrijk om in te schatten hoeveel laadpunten er nodig zijn.

Verder dient er onderzocht te worden hoeveel consumenten willen betalen om een EV te laden. Deze gegevens in combinatie met het verwacht percentage dat zijn of haar wagen extern zal laden zijn belangrijk om een optimaal opbrengstenmodel uit te werken.

Naar het inductieve laden toe is er verder onderzoek noodzakelijk over de gezondheidseffecten en -gevolgen op korte en lange termijn door de opgewekte straling. Bovendien moet worden nagegaan in welke mate boordapparatuur zoals ABS-systemen verstoord kunnen worden door deze straling.

8 Conclusie

In een eerste deel is de toekomst van elektrische voertuigen in België bestudeerd. Uit verschillende studies bleek dat er een grote mate van onzekerheid bestaat over het geschatte aantal EV op onze wegen in 2020. Volgens eerste schattingen worden er tussen de 200.000 en 1.000.000 elektrische wagens verwacht. Wij gingen factoren na waaraan voldaan dient te worden om de opkomst van EV te stimuleren.

Dankzij verdere technologische verbeteringen zal aan sommige factoren, zoals batterijperformantie en batterijkost, tegemoet gekomen worden. Andere factoren, zoals het creëren van een globale visie en een wettelijk kader om EV te stimuleren, vragen een doorgedreven initiatief van overheden. Daarnaast bleek het uitbouwen van een goede oplaadinfrastructuur een andere doorslaggevende factor te zijn. Dit laatste aspect werd verder uitgediept in deel twee, drie en vier.

Deel twee - 'Oplaadmogelijkheden voor elektrische wagens' onderzocht hoe deze laadinfrastructuur er kan uitzien. Deze studie hield rekening met drie oplaadmogelijkheden: laadpalen, batterijwisselstations en draadloze oplaadtechnieken. In het verder analyseren van de draadloze oplaadmogelijkheden bleek dat verre veld technieken omwille van efficiëntie en veiligheidsaspecten het minst geschikt zijn om elektrische wagens te laden. Magnetische inductie (in het nabije veld) en magnetische resonante inductie (in het middellange veld) zijn hiertoe beter in staat.

In deze studie werd een voorkeur uitgesproken voor magnetische resonante inductie (WiTricity). Dankzij magnetische resonante inductie is het, mits een goede frequentiesturing, minder noodzakelijk zender en ontvanger zeer goed te positioneren ten opzichte van elkaar om een hoge efficiëntie te bereiken. Via magnetische inductie is de positionering van zender en ontvanger wel zeer belangrijk. Dit maakt het systeem minder gebruiksvriendelijk doordat de wagen zeer specifiek gestationeerd zal moeten worden. Bovendien is de koppeling via WiTricity-laden sterk. Dankzij deze sterke koppeling ontstaat er minder strooistraling in de omgeving van de wagen.

In een derde deel zijn de drie oplaadmogelijkheden dieper geanalyseerd vanuit een technologisch, economisch en strategisch perspectief.

Daaruit bleek dat het voor de drie voorgestelde laadtechnieken technisch haalbaar is om EV van energie te voorzien. Vanuit een financieel standpunt zijn batterijwisselstations de duurste oplaadtechniek. Zo dienen wisselstationuitbaters minstens 90⁸ euro per wisselbeurt aan te rekenen. Indien voor een abonnementsformule gekozen wordt waardoor cliënten onbeperkt van batterij kunnen wisselen is een abonnementsprijs van 1.000 euro noodzakelijk. In de financiële analyse is vastgesteld dat de interne opbrengstvoet van batterijwisselstations slechts beperkt afhankelijk zijn van de kostprijs van energie. Dit is niet zo bij laadpalen of draadloze laadtechnieken en dit omdat batterijwisselstations een erg hoge investering vragen wat infrastructuur en batterijvoorraad betreft.

Uit de financiële analyse blijkt dat het kostenverschil tussen laadpalen en draadloos laden miniem is. Zo is draadloos laden bij een interne opbrengstvoet van 15% en een verwachte

⁸ Bij een gewenste interne opbrengstvoet van 15%

elektriciteitskost van 0,18 euro/kWh slechts 5 eurocent/kWh duurder. In een abonnementsformule kost een jaarabonnement draadloos laden bij ditzelfde scenario 25 euro meer. Ondanks dit kleine prijsverschil moeten uitspraken zoals *draadloos laden is bijna even goedkoop als laadpalen* genuanceerd worden. In het financiële model is de kostprijs van een draadloos systeem immers geschat volgens eerste indicatieve gegevens. Exacte kostcijfers zijn tot op heden niet publiek bekend.

De hoge mate van onzekerheid m.b.t. de vraag naar EV (zie hoofdstuk 3) maakt dat private investeringen zich meestal richten op de minst kostelijke korte termijn technologieën, ondanks de mogelijkheid dat hogere kosten in een andere technologie, hogere opbrengsten kunnen leveren op lange termijn (Stern, 2006). Vanuit deze visie zijn laadpalen op korte termijn te verkiezen.

In dit werk hebben experts de drie systemen strategisch vergeleken en gescoord. Uit het onderzoek bleek dat ook vanuit dit standpunt de voorkeur uitgaat naar laadpalen.

Laadpalen zijn relatief goedkoop en staat technologisch op punt. Verder zijn consumenten vertrouwd met het systeem om elektrische toestellen via het net op te laden. Oplaadpalen kennen een eenvoudige werking en zijn efficiënt. Een van de aandachtspunten voor laadpalen is veiligheid. Zo zullen de stroomkabels regelmatig gecontroleerd moeten worden op beschadigingen en kan er bij een foutieve aansluiting gevaar ontstaan. Verder is de gebruikservaring niet optimaal. Er is een manuele handeling van de gebruiker vereist om de batterij te laden en de laadsnelheid via een normale laadpaal is erg traag (4-8 uur). Snellaadpalen kunnen deze gebruikssnelheid verhogen, maar zijn naast erg duur, nadelig voor de levensduur van de batterij.

Experts zien weinig potentieel op korte termijn voor het laden van EV via batterijwisselstations. Dergelijke stations vragen een hoge investering (in infrastructuur en in batterijvoorraad), zijn erg standaardafhankelijk en moeilijk aanpasbaar bij technologische veranderingen. Bovendien is een continue controle van de kwaliteit van de batterijen vereist. Gebruikers die een batterij van inferieure kwaliteit in de wagen geplaatst krijgen en na enkele kilometers stilvallen, zullen het wisselstation verantwoordelijk stellen. Aan de andere kant zijn dergelijke wisselsystemen extreem snel en veilig. Bovendien zorgt het voor een ongeziene gebruikservaring, die zelf hoger is dan de huidige manier van tanken. Doordat de batterijen centraal gestockeerd worden kunnen deze op zeer efficiënte wijze worden geladen.

Op middellange termijn zijn er mogelijkheden om EV via draadloze laadtechnieken te laden. De gebruikservaring bij draadloos laden is erg hoog. Automobilisten kunnen de wagen laden zonder al te veel handelingen. Dit verhoogt de veiligheid naar de gebruiker toe. Doordat er geen rechtsreeks contact vereist is, is er weinig gevaar voor elektrocutie. Daarnaast zijn draadloze laadsystemen erg onderhoudsvriendelijk. Er is weinig slijtage van de onderdelen doordat er geen rechtstreeks contact ontstaat tussen zender en ontvanger. Verder onderzoek is noodzakelijk om de efficiëntie te verbeteren en de opgewekte straling te beperken. Belangrijk om op te merken is dat draadloos laden, het als enige laadtechniek mogelijk maakt de wagen dynamisch te laden. Op die manier kan er energie verzonden worden naar het EV tijdens het rijden.

In een vierde deel werden aanbevelingen, mogelijke afzetmarkten en verder onderzoek toegelicht.

Laadpalen zullen in een eerste fase een cruciale rol spelen voor het laden van EV. Er wordt verwacht dat de ontwikkeling van draadloze laadtechnieken en batterijwisselstations zich in eerste instantie zal concentreren op nichemarkten. Voor batterijwisselstations wordt gedacht aan wegtransport, voor het draadloos laden aan het laden van wagenparken van bedrijven, openbaar vervoer en het voorzien van draadloze energie aan wachtplaatsen voor taxi's.

Tot slot vermelden we enkele actiepunten die de ontwikkeling van oplaadinfrastructuur zullen bevorderen.

- Het opstellen van een visie en een (inter)nationaal masterplan door de overheid, autoconstructeurs, laadpuntproducenten en energieleveranciers. Daarbij gaat de aandacht ondermeer naar de invloed en plaats van EV en haar laadinfrastructuur op korte en lange termijn.
- Het vastleggen van standaarden voor laadpalen, batterijwisselstations en draadloze laadtechnieken.
- Het verder onderzoeken van de behoeften, de afstandsvrees en betalingsbereidheid van consumenten voor oplaadinfrastructuur.
- Het verder onderzoeken wat de verwachte gebruiksgraad van laadpunten, hetzij laadstations, batterijwisselstations of draadloze laadsystemen, zal zijn.

Deel IV– Bibliografie en appendix

Bibliografie

Abuelsamid, S. (2010, augustus 27). *Better Place expands Tokyo battery swap trials; taxis have changed packs 2,122 times already*. Opgeroepen op maart 21, 2011, van Autobloggreen: <http://green.autoblog.com/2010/08/27/better-place-expands-tokyo-battery-swap-trials-taxis-have-chang/>

Ackerman, G. (2010, februari 7). *Better Place Sees Electric Cars on Israeli Roads by End of 2011*. Opgeroepen op november 15, 2010, van Bloomberg Businessweek: <http://www.businessweek.com/news/2010-02-07/better-place-sees-electric-cars-on-israeli-roads-by-end-of-2011.html>

Andy Steinhubl, J. L. (2010, Juli 24). *Affluent likely to lead charge for electric vehicles*. Opgeroepen op oktober 3, 2010, van Chron: <http://www.chron.com/disp/story.mpl/editorial/outlook/7123342.html>

Autogids. (sd). *Technische fiche Volvo S40 1.8 Momentum*. Opgeroepen op mei 23, 2011, van Autogids: <http://www.autogids.be/technische-kenmerken/kenmerken-volvo-s40-51062.cfm#>

Autogids. (2010, oktober 11). *Total installeert 12 laadpalen*. Opgeroepen op maart 11, 2011, van Autogids: <http://www.autogids.be/artikel/telex-total-installeert-12-laadpalen-14543.htm#>

Barrett, J. P. (1894). Electricity at the Columbian Exposition. In J. P. Barrett, *Electricity at the Columbian Exposition* (pp. 168-169). R.R. Donnelley.

Ben-Gedalyahu, D. (2011, januari 4). *Record Vehicle Sales 2010*. Opgeroepen op januari 11, 2011, van <http://www.globes.co.il>: <http://www.globes.co.il/serveen/globes/docview.asp?did=1000613275&fid=1725>

Better Place. (2010, augustus 25). *Better Place Extends Tokyo Trial for Additional Three Months*. Opgeroepen op december 15, 2010, van Better Place: <http://www.betterplace.com/the-company-pressroom-pressreleases-detail/index/id/better-place-extends-tokyo-trial-for-additional-three-months>

Better Place. (2011, maart 2). *European Commission Backs First Project for Battery Switch*. Opgeroepen op maart 21, 2011, van Better Place: <http://www.betterplace.com/the-company-pressroom-pressreleases-detail/index/id/european-commission-backs-first-project-for-battery-switch>

Blue Corner. (2010, december 6). *De markt en het potentieel van het elektrisch rijden*. Opgeroepen op maart 13, 2011, van Bluecorner: <http://www.bluecorner.be/PDF/Def%20persbericht%206-12%20bijlagen.pdf>

Blue Corner. (sd). *Eén kaart, één vast bedrag per jaar en rijden maar*. Opgeroepen op januari 13, 2011, van Blue Corner: <http://bluecorner.be/oplossing.html>

BMW . (2011). *BMW Active E*. Opgeroepen op april 28, 2011, van BMW: http://www.bmw.com/com/en/newvehicles/1series/activee/2011/showroom/_shared/1series_coupe_active_catalogue.pdf

Bollier, M. (2010, maart 4). *Nissan Leaf: plusminus 25.000 euro (met en zonder accu)*. Opgeroepen op mei 5, 2011, van Zerauto: <http://www.zerauto.nl/blog/index.php/2010/03/04/nissan-leaf-elektrische-auto>

Bond Beter Leefmilieu. (2010, september). *Uitdagingen voor elektrische mobiliteit*. Opgeroepen op januari 25, 2011, van Bond Beter Leefmilieu: <http://www.vlaandereninactie.be/nlapps/data/docattachments/Rapport%20uitdagingen%20voor%20elektrische%20mobiliteit.pdf>

Bothuyne, R. (2011, januari 16). *Vlaanderen investeert in laadpalen voor elektrische auto's*. Opgeroepen op januari 22, 2011, van CD&V: <http://www.cdenv.be/actua/nieuws/vlaanderen-investeert-in-laadpalen-voor-elektrische-autos>

Budhia, M., Covic, G., & Boys, J. (2010). A new IPT magnetic coupler for electric vehicle charging systems. *IECON 2010 - 36th Annual Conference on IEEE Industrial Electronics Society* (pp. 2487-2492). Glendale, AZ : IEEE.

City of Westminster. (2009, april). *Understanding existing electric vehicle recharging infrastructure, vehicles available on the market and user behaviour and profiles*. Opgeroepen op januari 25, 2011, van Westminster: <http://www.westminster.gov.uk/workspace/assets/publications/Electric-charging-and-EV-vehicles-1247227333.pdf>

Croufer, M. (2011, februari 11). *België: het beloofde land van de elektrische auto?* Opgeroepen op februari 26, 2011, van Energymag: <http://www.energymag.be/fr/more/experts/item/287-belgie-het-beloofde-land-van-de-elektrische-auto>

Dalen, P. v. (2011, maart 4). *Parlementaire vraag betreffende Europese standaard voor stekkers bij elektrisch rijden*. Opgeroepen op mei 3, 2011, van Europees Parlement: <http://www.europarl.europa.eu/sides/getDoc.do?pubRef=-//EP//TEXT+WQ+E-2011-001997+0+DOC+XML+V0//NL>

David Halliday, R. R. (2008). *Fundamentals of Physics* . In R. R. David Halliday, *Fundamentals of Physics* . Halliday .

De Broeck - Van Laere & Partners. (2010, maart 2). *Fiscale voordelen voor elektrische auto's*. Opgeroepen op januari 23, 2011, van De Broeck - Van Laere & Partners: <http://www.dvp-law.com/documents/news-items/20100311-fiscale-voordelen-van-elektrische-autos.xml?lang=nl>

De Standaard. (2011, maart 30). *Elektrische wagen breekt nog niet door*. Opgeroepen op april 1, 2011, van De Standaard: <http://www.standaard.be/artikel/detail.aspx?artikelid=FQ386P44>

Deloitte. (2011, maart 9). *Deloitte survey: Despite rising fuel prices, mass adoption of electric vehicles still a distance away*. Opgeroepen op maart 2011, 10 , van Deloitte: http://www.deloitte.com/view/en_GX/global/press/global-press-releases-en/3949c2ee7169e210VgnVCM1000001a56f00aRCRD.htm

Deloitte. (2011). *Gaining Traction - Will consumers ride the electric vehicle wave*. Opgeroepen op maart 10, 2011, van Deloitte: http://www.deloitte.com/assets/Dcom-Global/Local%20Assets/Documents/Manufacturing/dttl_Global%20Electric%20Vehicle%20Study_European%20Analysis_03_09_2011FINAL.pdf

Deutsche Bank. (2009, november 3). *Electric Cars: Plugged in 2*. Opgeroepen op januari 22, 2011, van Fullermoney: <http://www.fullermoney.com/content/2009-11-03/ElectricCarsPluggedIn2.pdf>

Deutsche Bank. (2010, maart 7). *Vehicle Electrification*. Opgeroepen op januari 22, 2011, van Our Energy Policy: http://ourenergypolicy.org/docs/9/DB_evupdate030810.pdf

Devogelaer, D., & Gusbin, D. (2010, mei). *Electric cars: Back to the future?* Opgeroepen op maart 14, 2011, van Federaal Planbureau: <http://www.plan.be/admin/uploaded/201006011003460.wp201013.pdf>

Dhaens, M., & Perik, H. (2011, maart 3). Interview Flander's Drive. (M. Claes, Interviewer)

Dinger, A., Martin, R., Mosquet, X., & e.a. (2010). *Batteries for Electric Cars: Challenges, Opportunities and the Outlook to 2020*. Opgeroepen op januari 2, 2011, van The Boston Consulting Group: <http://www.bcg.com/documents/file36615.pdf>

Dinger, A., Martin, R., Mosquet, X., Rabl, M., Rizoulis, D., Russo, M., et al. (2010). *Batteries for Electric Cars: Challenges, Opportunities, and the Outlook for 2020*. Opgeroepen op januari 2, 2011, van The Boston Consulting Group: <http://www.bcg.com/documents/file36615.pdf>

Eberhard, M., & Tarpenning, M. (2006, juli 19). *The 21st Century Electric Car*. Opgeroepen op januari 12, 2011, van Vancouver Electric Vehicle Association: http://www.veva.bc.ca/wtw/Tesla_20060719.pdf

EE Times. (2010, juni 21). *Wireless Energy Transfer*. Opgeroepen op oktober 22, 2010, van EE Times: http://www.powerbeaminc.com/media/cmp_eetimes_altenergy_20100621.pdf

Efacec. (2009, juni 18). G2V and V2G - What infrastructures? Lissabon, Portugal.

Electrification Coalition. (2009, november). *Electrification Roadmap - Revolutionizing Transportation and Achieving Energy Security*. Opgeroepen op januari 26, 2011, van Electrification Coalition: <http://www.electrificationcoalition.org/reports/EC-Roadmap-screen.pdf>

Energieraad. (2011, maart 7). *In België dreigt chronisch stroomtekort*. Opgeroepen op mei 23, 2011, van Energieraad: <http://www.energieraad.nl/newsitem.asp?pageid=30813>

Englert, M. (2009, februari). *Report Task 4.2 - Barriers to the development of alternative vehicles in Belgium*. Opgeroepen op maart 18, 2011, van Université Libre de Bruxelles: http://dev.ulb.ac.be/ceese/CEESE/documents/CLEVER_barrier1.pdf

eNovates. (2010). *Batterijen en energiebronnen*. Opgeroepen op mei 19, 2011, van eNovates: <http://www.enovates.com/index.php/nl/mnuemobility/mnutechnology>

eNovates. (2010, mei 20). *Belgische pionier eNovates klaar voor opkomst elektrische wagens*. Opgeroepen op maart 13, 2011, van eNovates: <http://www.enovates.com/index.php/nl/over-enovates/nieuws/37-belgische-pionier-enovates-klaar-voor-opkomst-elektrische-wagens>

eNovates. (2010). *Oplaadsystemen*. Opgeroepen op januari 11, 2011, van eNovates: <http://www.enovates.com/index.php/nl/oplaadsystemen>

Eurelectric. (2003, juli). *Efficiency in Electricity Generation*. Opgeroepen op november 8, 2010, van Eurelectric: www.eurelectric.org/Download/Download.aspx?DocumentID=13549

Eurelectric. (2007). *The Role of Electricity: a new path to secure, competitive energy in a carbon constrained world*. Eurelectric.

Europa Energy Portal. (2011). *End-user prices for EU Domestic/Industrial Consumers*. Opgeroepen op maart 22, 2011, van Energy.eu: <http://www.energy.eu/#Industrial>

European Clean Transport Facility. (2008). *European Clean Transport Facility*. Opgeroepen op maart 18, 2011, van European Investment Bank: <http://www.eib.org/products/loans/special/ectf/>

Europees Parlement, R. v. (2004, april 29). *Richtlijn 2004/40/EG*. Opgeroepen op januari 5, 2011, van Euro Lex Europa: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2004:159:0001:0026:NL:PDF>

Europese Commissie. (2010, juni 29). *Towards a European common charger for electric vehicles*. Opgeroepen op januari 15, 2011, van Europa: <http://europa.eu/rapid/pressReleasesAction.do?reference=IP/10/857>

Europese Commissie. (2011, mei 2). *Antwoord op E-001997/2011*. Opgeroepen op mei 3, 2011, van Europees Parlement: <http://www.europarl.europa.eu/sides/getAllAnswers.do?reference=E-2011-001997&language=NL>

Europese Commissie. (2011, januari 18). *Models and generic interfaces for easy and safe Battery insertion and removal in electric vehicles (EASYBAT)*. Opgeroepen op maart 21, 2011, van Europese Commissie: http://cordis.europa.eu/fetch?CALLER=FP7_PROJ_EN&ACTION=D&DOC=6&CAT=PROJ&QUERY=012db0fa4c34:5429:5754f83e&RCN=97743

Europese Commissie. (2011, januari 18). *Models and generic interfaces for easy and safe Battery insertion and removal in electric vehicles (EASYBAT)*. Opgeroepen op maart 14, 2011, van Europese Commissie: http://cordis.europa.eu/fetch?CALLER=FP7_PROJ_EN&ACTION=D&DOC=6&CAT=PROJ&QUERY=012db0fa4c34:5429:5754f83e&RCN=97743

Eurostat. (2011, maart 18). *Electricity prices for household consumers*. Opgeroepen op maart 22, 2011, van Eurostat: <http://epp.eurostat.ec.europa.eu/tgm/table.do?tab=table&init=1&language=en&pcode=ten00115&plugin=1>

Eurostat. (2011, maart 18). *Electricity prices for industrial consumers*. Opgeroepen op maart 22, 2011, van Eurostat: <http://epp.eurostat.ec.europa.eu/tgm/table.do?tab=table&init=1&language=en&pcode=ten00115&plugin=1>

Eurostat. (2011, januari 13). *Length of motorways*. Opgeroepen op maart 8, 2011, van Eurostat: http://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=road_if_motorwa&lang=en

EV Solutions. (2010). *Public Fast Charging Station - 250 kW DC*. Opgeroepen op februari 15, 2011, van EV Solutions: http://evsolutions.avinc.com/uploads/products/2_AV_EV250-PS_061110_public_high.pdf

FAPETRO. (2010). *Evolutie aantal tankstations België op 1 januari*. Opgeroepen op februari 13, 2011, van Belgische Petroleum Federatie: http://www.petrolfed.be/dutch/docs/tab_fig_2009/Tabellen/29.pdf

Febiac. (2011, januari 2). *Inschrijvingen van nieuwe voertuigen december*. Opgeroepen op februari 22, 2011, van Febiac: <http://www.febiac.be/public/pressreleases.aspx?ID=373&lang=NL>

Febiac. (2011, januari). *Themanummer - Elektrische Voertuigen*. Opgeroepen op januari 2011, van Febiac: http://www.febiac.be/documents_febiac/publications/2010/infospecialInlr.pdf

Febiac. (2010). *Vervangingsgraad van de wagens*. Opgeroepen op januari 14, 2011, van Febiac: <http://www.febiac.be/statistiques/2009/2.C.4. Degré de remplacement des voitures.xls>

Fleischer, C., & Sauer, D. U. (2011, maart 21-22). *State of the Art of Batteries and Charging Concepts*. Valencia.

Fletcher, N., & Rossing, T. (1998). *The Physics of Musical Instruments*. Berlijn: Springer-Verlag.

Florian Hacker, R. H. (2009, juli). *Environmental impacts and impact on the electricity market of a large scale introduction of electric cars in Europe*. Opgeroepen op januari 25, 2011, van European Topic Centre on Air and Climate Change: http://acm.eionet.europa.eu/docs/ETCACC_TP_2009_4_electromobility.pdf

FOD Volksgezondheid. (2008, mei). *Elektromagnetische velden en gezondheid*. Opgeroepen op januari 5, 2011, van <http://www.health.belgium.be/eportal/Environment/Electromagneticfields/index.htm>

Garcia, H. (2010, december 2). *German power grid ready for 1 million E.V.'s by 2020*. Opgeroepen op maart 18, 2011, van EcoSeed: <http://www.ecoseed.org/en/smart-grid-infrastructure/smart-grid/article/80-smart-grid/8538-german-power-grid-ready-for-1-million-e-v-%E2%80%99s-by-2020>

Gartner. (2010). *Hype Cycle for Emerging Technologies in 2010*. Gartner.

Green Car Congress. (2010, september 30). *Delphi Partnering with WiTricity to Develop Automatic Wireless Charging for Hybrid and Electric Vehicles*. Opgeroepen op november 13, 2010, van Green Car Congress: <http://www.greencarcongress.com/2010/09/delphi-20100930.html>

Haigton, M. (2009, december 9). *Race om standaard oplaadpaal*. Opgeroepen op december 19, 2010, van De Volkskrant: <http://www.volkskrant.nl/vk/nl/2664/Nieuws/article/detail/372971/2009/12/09/Race-om-standaard-voor-oplaadpaal.dhtml>

Heimbuch, J. (2010, 11 1). *CES 2010 - eCoupled Brings Wireless Charging to Everything from Laptops till Hot Pots*. Opgeroepen op 11 11, 2010, van <http://www.treehugger.com>: <http://www.treehugger.com/files/2010/01/ces-2010-ecoupled-brings-wireless-charging-to-everything-from-laptops-to-hot-pots.php>

Huang, C.-Y., Boys, J. T., Covic, G. A., & Budhia, M. (2009). Practical Considerations for Designing IPT System for EV Battery Charging. *Vehicle Power and Propulsion Conference* (pp. 402 - 407). Dearborn, MI : IEEE.

Inia, A. (2010, april 28). *Lotus laat de auto van 2020 zien*. Opgeroepen op mei 23, 2011, van Autoweek: <http://www.autoweek.nl/autonieuws/14098/Lotus-laet-de-auto-van-2020-zien>

International Consulting Group. (2010, juli). *Electric Car Markets in Europe*. Opgeroepen op januari 2, 2011, van Just-Auto: http://www.just-auto.com/store/samples/2010_icg_ecars_europe_sample.pdf

IPHE. (2010, juni 15). *Governmental Programs on E-Mobility*. Opgeroepen op maart 18, 2011, van International Partnership for Hydrogen and Fuel Cells: http://www.iphe.net/docs/Events/uct/final_docs/Ulm_Workshop_Report_FINAL.pdf

Karalis, A., Joannopoulos, J., & Soljačić, M. (2007, april 17). *Efficient wireless non-radiative mid-range*. Opgeroepen op november 21, 2010, van Massachusetts Institute of Technology: http://www.mit.edu/~soljacic/wireless-power_AoP.pdf

King, J. (2008, maart). *The King Review of low-carbon cars - Part II: recommendations for action*. Opgeroepen op maart 2011, 24 , van Harvard University: http://www.physics.harvard.edu/~wilson/energypmp/2008_King_II.pdf

Kirsner, S. (2010, september 29). *WiTricity announces first big auto industry partner for wireless car charging*. Opgeroepen op februari 24, 2011, van Boston: <http://www.boston.com/business/technology/innoeco/cleantech/>

Kurs, A., Karalis, A., Moffatt, R., Joannopoulos, J. D., Fisher, P., & Soljacic, M. (2007, Juli 7). Wireless Power Transfer via Strongly Coupled Magnetic Resonances. *Science* , p. 83.

Leung, C., Chan, T., Lit, K., Tam, K., & Chow, L. Y. (sd). *Wireless Power Transmission and Charging Pad*. Opgeroepen op oktober 21, 2010, van Institution of Engineering and Technology Hong Kong Younger Members Exhibition and Conference: <http://www.ietymec.org/papers/N01.pdf>

Mandal, T. K. (2006). *Wireless Transmission of Electricity – Development and Possibility. Sixth International Symposium Nikola Tesla*. Belgrado.

Matsumoto, H. (2002, december). Research on solar power satellites and microwave power transmission in Japan . *IEEE Microwave Magazine* , pp. 43-33.

McKinsey & Company. (2009). *Pathways to World-Class Energy Efficiency in Belgium*. Opgeroepen op maart 11, 2011, van McKinsey & Company: http://www.mckinsey.com/App_Media/Reports/Belux/Energy_efficiency_in_Belgium_full_report.pdf

Mobimix. (2010, juni 20). *15 elektrische wagens verkocht in België*. Opgeroepen op november 15, 2010, van Mobimix: <http://www.mobimix.be/inhoud/2010/6/20/1721>

Mobimix. (2010, mei 10). *Nederland kiest voor Mennekes-Stekker*. Opgeroepen op april 29, 2011, van Mobimix: <http://www.mobimix.be/inhoud/2010/5/10/1627>

Mobimix. (2010, december 20). *Proeftuin elektrische voertuigen van start*. Opgeroepen op maart 18, 2011, van Mobimix: <http://www.mobimix.be/inhoud/2010/12/20/2132>

Mobimix. (2011, januari 21). *VBO wil hogere fiscale aftrek EV's*. Opgeroepen op januari 23, 2011, van Mobimix: <http://www.mobimix.be/inhoud/2011/1/21/2183>

Nederlands Ministerie van Verkeer en Waterstaat. (2010, juli 28). *Energieke Wegen: Innovatie, informatie, inspiratie*. Opgeroepen op februari 23, 2011, van Rijkswaterstaat: http://www.rijkswaterstaat.nl/images/Boek%20Energieke%20Wegen_tcm174-290562.pdf

Nemry, F., & Brons, M. (2010, juli). *Plug-in Hybrid and Battery Electric Vehicles - Market penetration scenarios of electric drive vehicles*. Opgeroepen op januari 25, 2011, van Joint Research Centre - Europese Commissie: http://ftp.jrc.es/EURdoc/JRC58748_TN.pdf

Nuclair Forum. (sd). *55% van de Belgische Energie komt uit kerncentrales*. Opgeroepen op januari 24, 2011, van Nuclair Forum: <http://www.nuclearforum.be/nl/themas/bevoorrading/55-procent-van-de-Belgische-elektriciteit-komt-uit-kerncentrales>

Oliver Hazimeh, A. T. (2010). *Plugging Into the Electric Car Opportunity*. Opgeroepen op december 15, 2010, van PRTM: http://www.prtm.com/uploadedFiles/Strategic_Viewpoint/Articles/Article_Content/PRTM_Plugging_Into_Electric_Car_Opportunity.pdf?n=639

OptoIQ. (2006, januari 1). *Photonic Frontiers: Photonic power delivery: Photonic power conversion delivers power via laser beams*. Opgeroepen op november 23, 2010, van OptoIQ: <http://www.optoiq.com/index/display/article-display/245124/articles/laser-focus-world/volume-42/issue-1/features/photonic-frontiers-photonic-power-delivery-photonic-power-conversion-delivers-power-via-laser-beams.html>

Patentstorm. (2011, april 4). Opgeroepen op april 4, 2011, van Patentstorm: [http://www.patentstorm.us/search/advanced.html?ptn_no=wireless+energy+transfer&inv_nm=&ttl=&isdt_start=04%2F04%2F2000&isdt_end=04%2F04%2F2011&fldt_start=&fldt_end=&ptn_txt=&asg_nm=&atn=&examiner=&cls=&int_cls=&doc_type\[\]=0&doc_type\[\]=1&sort=0](http://www.patentstorm.us/search/advanced.html?ptn_no=wireless+energy+transfer&inv_nm=&ttl=&isdt_start=04%2F04%2F2000&isdt_end=04%2F04%2F2011&fldt_start=&fldt_end=&ptn_txt=&asg_nm=&atn=&examiner=&cls=&int_cls=&doc_type[]=0&doc_type[]=1&sort=0)

Pike Research. (2010, november 23). *Wireless power charging and transmission market to reach \$11.8 billion by 2020*. Opgeroepen op januari 18, 2011, van Pike Research: <http://www.pikeresearch.com/newsroom/wireless-power-charging-and-transmission-market-to-reach-11-8-billion-by-2020>

Raad van de Europese Unie. (1999, juli 12). *1999/519/EG*. Opgeroepen op januari 5, 2011, van EuropaNU: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:1999:199:0059:0070:NL:PDF>

Rosu, I. (sd). *Basics of Radio Wave Propagation*. Opgeroepen op april 13, 2011, van QSL: http://www.qsl.net/va3iul/Antenna/Basics_of_Radio_Wave_Propagation.pdf

Sample, A., Meyer, D., & Smith, J. (2011, februari 2). Analysis, Experimental Results, and Range Adaptation of Magnetically Coupled Resonators for Wireless Power Transfer. *IEEE Transactions on Industrial Electronics* , p. 544.

SCENIHR. (2007, maart 21). *Possible effects of Electromagnetic Fields (EMF) on Human Health*. Opgeroepen op januari 5, 2011, van Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks: http://ec.europa.eu/health/ph_risk/committees/04_scenihhr/docs/scenihhr_o_007.pdf

Senart, A., Kurth, S., & Roux, G. L. (2010). *Assessment Framework of Plug-in Electric Vehicles Strategies*. Gaithersburg: IEEE.

Sood, S., Kullanthasamy, S., & Shahidehpour, M. (2005, juni 12). Solar power transmission: from space to earth. *IEEE - Power Engineering Society General Meeting* , p. 605.

Stad Hasselt. (2011, januari 13). *Hasselt zet deur wagenwijd open voor elektrische auto!* Opgeroepen op maart 11, 2011, van Hasselt : <http://www.hasselt.be/nl/press/1032165/hasselt-zet-deur-wagenwijd-open-voor-elektrische-auto.html>

Statbel. (2010). *Kadastrale statistiek van het gebouwenpark, België en gewesten*. Opgeroepen op januari 15, 2011, van Statbel: http://statbel.fgov.be/nl/statistieken/cijfers/economie/bouw_industrie/gebouwenpark/index.jsp

Stern, N. (2006). *The Economics of Climate Change: The Stern Review* . Cambridge University Press.

Takehiro, I., Hiroyuki, O., & Yoichi, H. (2009). *Basic Experimental Study on Helical Antennas of Wireless Power Transfer for Electric Vehicles by using Magnetic Resonant Couplings*. IEEE.

The Green Market. (2010, juli 29). *Germany and the Global Competition for EV Supremacy*. Opgeroepen op maart 18, 2011, van The Green Market: <http://thegreenmarket.blogspot.com/2010/07/germany-and-global-competition-for-ev.html>

Tofel, K. C. (2010). *70x Surge in Wireless Charging Seen by 2014*. Opgeroepen op februari 23, 2011, van Gigaom: <http://gigaom.com/2010/06/30/wireless-charging-outlook/>

- Trends. (2008, januari 11). *Meer dan 5 miljoen personenwagens ingeschreven in België*. Opgeroepen op november 5, 2010, van Trends: <http://trends.rnews.be/nl/economie/nieuws/bedrijven/meer-dan-5-miljoen-personeuwagens-ingeschreven-in-belgie/article-1194636997910.htm#>
- Vacature Magazine. (2011, januari 8). *Bedrijfswagens: werkgevers staan niet op de rem*. Opgeroepen op februari 26, 2011, van Vacature: <http://www.vacature.com/blog/bedrijfswagens-werkgevers-staan-niet-op-de-rem>
- Valentine-Urbschat, M., & Bernhart, W. (2009, september). *Powertrain 2020 – The Future Drives Electric*. Opgeroepen op maart 11, 2011, van Roland Berger: http://www.rolandberger.com/media/pdf/Roland_Berger_Powertrain_2020_20110215.pdf
- Van den Bossche Peter, V. M. (2002, oktober). *Practical Infrastructure Development For Electric Vehicles In Brussels Capital Region*. Opgeroepen op december 14, 2010, van Vrije Universiteit Brussel: <http://etecmc10.vub.ac.be/etecphp/publications/evs19vdb2.pdf>
- Van den Bossche, P. (2000). *Conductive Charing Standardisation Issues*. Opgeroepen op januari 25, 2011, van Vrije Universiteit Brussel: <http://etecmc10.vub.ac.be/publications/evs17vdb.pdf>
- Van den Bossche, P. (2008, mei 19). *Defining and Developing Standards*. Opgeroepen op januari 4, 2011, van ECS: http://www.ecs-five.ch/parkcharge/documents/P_Van_den_Bossche1.pdf
- Van den Bossche, P. (2009, april 8). *Defining and Developing Standards*. Opgeroepen op januari 26, 2011, van Park Charge: http://www.park-charge.ch/documents/P_Van_den_Bossche1.pdf
- van den Bulk, J. (2009, januari). *A cost- and benefit analysis of combustion cars, electric cars and hydrogen cars in the Netherlands*. Opgeroepen op januari 23, 2011, van Peakoil: http://www.peakoil.nl/wp-content/uploads/2009/01/a_cost__benefit_analysis_of_combustion_cars_electric_cars_and_hydrogen_cars_in_the_netherlandsfinal.pdf
- Van Mierlo, J. (2010, november 8). *Scorebord van België*. Opgeroepen op januari 24, 2011, van FOD Economie: http://economie.fgov.be/fr/binaries/Scorebord_belgie_tcm326-111924.pdf
- van Woelderren, S. (2011, januari 10). *Invloed elektrische auto op autobranche tot 2020 beperkt*. Opgeroepen op maart 11, 2011, van ING: http://www.ing.nl/Images/ING_Invloed_elektrische_auto_autobranche_tot_2020_beperkt_%20januari2011_tcm7-80563.pdf
- Vanbrussel, E., & Hofs, Y. (2011, januari 15). Elektrische auto uit de startblokken. *De Morgen*, p. 33.
- Vlaamse Overheid. (2010). *Belastingvermindering bij de aankoop van een elektrisch voertuig*. Opgeroepen op januari 23, 2011, van Vlaanderen: http://www.vlaanderen.be/servlet/Satellite?c=Solution_C&cid=1267507695761&context=114

1721623065---1191211213991-1191211213991-1187251344078-1267507695761&p=1186804409590&pagename=Infolijn%2FView

Volvo. (2009, december 17). *Volvo steekt energie in elektrische auto*. Opgeroepen op mei 23, 2011, van Volvo: <http://www.volvocars.com/nl/top/community/nieuws/pages/default.aspx?itemid=33>

VREG. (2010, september 4). *Ontwerpmededeling van de VREG met betrekking tot laadpunten voor elektrische voertuigen*. Opgeroepen op januari 11, 2011, van Elektrisch Rijden: <http://www.elektrischrijden.be/wp-content/uploads/2010/09/Vreg-studie-Laadpunten-voor-elektrische-voertuigen.pdf>

Wang, C.-S., Stielau, O. H., & Covic, G. (2005). *Design considerations for a contactless electric vehicle battery charger*. Opgeroepen op april 7, 2011, van University of Auckland: <https://researchspace.auckland.ac.nz/bitstream/handle/2292/243/26.pdf?sequence=1>

Wang, H., Xu, H., & Jones, A. K. (2011, januari 13). *Crucial Issues in Logistic Planning for Electric Vehicle Battery Application Service*. IEEE.

Wang, J., Ho, S. L., Fu, W. N., & Sun, M. (2010). *A Comparative Study between Witricity and Traditional Inductive Coupling in Wireless Energy Transmission*. IEEE.

Watteeuw, F., Peeters, D., & Sanctorum, H. (2010, maart 16). *Voorstel van resolutie betreffende de bevordering van elektrische voertuigen*. Opgeroepen op maart 11, 2011, van Vlaams Parlement: <http://docs.vlaamsparlement.be/docs/stukken/2009-2010/g444-1.pdf>

Wiederer, A., & Philip, R. (2010). *Policy options for electric vehicle charging infrastructure in C40*. Opgeroepen op januari 25, 2011, van Harvard University: <http://www.innovations.harvard.edu/cache/documents/11089/1108934.pdf>

Wikipedia. (2011, maart 20). *Inductie (elektriciteit)*. Opgeroepen op mei 20, 2011, van Wikipedia: http://nl.wikipedia.org/wiki/Inductie_%28elektriciteit%29

Wikipedia. (2011, mei 3). *Oplaadbare batterij*. Opgeroepen op mei 23, 2011, van Wikipedia: http://nl.wikipedia.org/wiki/Oplaadbare_batterij

Wikipedia. (2011, mei 11). *Resonantie (natuurkunde)*. Opgeroepen op mei 20, 2011, van Wikipedia: http://nl.wikipedia.org/wiki/Resonantie_%28natuurkunde%29

Wireless Power Consortium. (2010, juli). *System Description Wireless Power Transfer*. Opgeroepen op oktober 21, 2010, van Wireless Power Consortium: <http://www.wirelesspowerconsortium.com/downloads/wireless-power-specification-part-1.html>

WiTricity. (2009). *WiTricity Technology: The Basics*. Opgeroepen op maart 13, 2011, van WiTricity: <http://witricity.com/pages/technology.html>

Xian, Z., Qingxin, Y., Haiyan, C., Yang, L., & Zhuo, Y. (2010). *The Application of Non-contact Power Transmission Technology (NPT) in the Modern Transport System*. *International Conference on Mechatronics and Automation*. Xi'an, China: IEEE.

Yarow, J. (2009, april 21). *The Cost Of A Better Place Battery Swapping Station: \$500,000*. Opgeroepen op maart 2011, 5, van Business Insider: <http://www.businessinsider.com/the-cost-of-a-better-place-battery-swapping-station-500000-2009-4>

Zerauto. (2010). *Welke batterijen?* Opgeroepen op mei 23, 2011, van Zerauto: <http://zerauto.nl/index.php?pid=228>

Appendix

I. Onderzoeksresultaten Deloitte - Will consumers ride the electric vehicle wave?

Het consultingbureau Deloitte (2011) ondervroeg van 28 januari tot 10 februari 2011 bijna 5.000 personen uit België, Frankrijk, Duitsland, Italië, Spanje, Turkije en het Verenigd Koninkrijk. Uit dit onderzoek (Deloitte, 2011) blijkt dat slechts 16% van de Europeanen bereid is een EV aan te schaffen of te leasen. 53% zegt dit te overwegen en 31% is niet geneigd een EV te gebruiken. Volgens het onderzoek beïnvloedt de benzineprijs in belangrijke mate de penetratiegraad van EV. Zo zegt 63% van de ondervraagden veel meer bereid te zijn een EV te overwegen indien de benzineprijs stijgt tot € 2.00 per liter. Craig Griffi, leider van Deloitte's Global Automotive Sector haalt nog enkele andere invloedfactoren aan:

"Mass adoption of electric vehicles will be significantly influenced by a number of factors, including rising fuel prices, advancements in internal combustion engine vehicles (ICEs), and the availability of government incentives. While interest in battery electric vehicles (BEV) is growing, with 69 percent of European respondents having identified themselves as either potential first movers or as might be willing to consider an EV today, current market offerings generally fall far short of consumers' expectations for driving range, charging time, and purchase price. As a result, we estimate only one to two percent of these consumers actually adopting battery electric vehicles by 2020." (Deloitte, 2011)

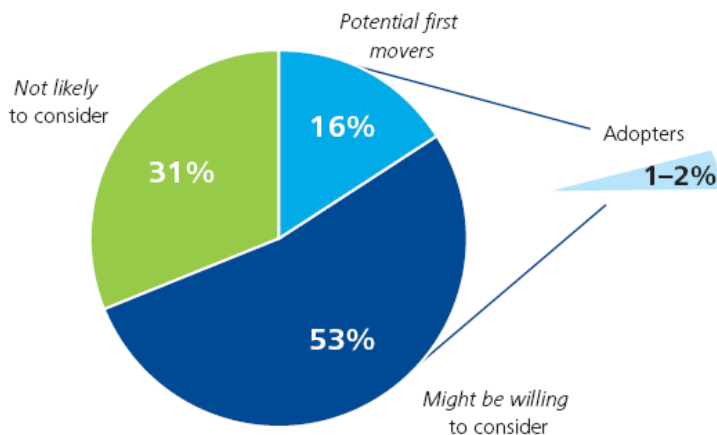
Tabel 15 geeft bijkomende bevindingen uit hetzelfde onderzoek. Figuur 29 toont de segmentering van Europese consument die een elektrisch voertuig overweegt aan te schaffen.

Tabel 15 - Bevindingen onderzoek Deloitte

50% van de potentiële eerste kopers zijn tussen de 18 en 34 jaar, 57% waren mannen en bijna de helft (46%) had minimum een bachelordiploma.
80% van de Europese ondervraagden vindt het gebruiksgemak om te laden, de snelheid en de oplaadkost extreem of erg belangrijk
74% van de Europese consumenten verklaart een EV te willen aanschaffen indien men minstens 480 km zonder opladen kan rijden.
De levensduur van de batterij, het gemak en kost om batterijen te wisselen zijn belangrijke factoren in de totale kost van een EV voor de ondervraagden
67% van de ondervraagden willen, indien ze een EV hebben, maximaal twee uur wachten tot de batterij volledig is opgeladen.
Het merendeel vindt de impact op het milieu, de gebruikskost en overheidssubsidies van EV beter ten opzichte van verbrandingswagens.
Klassieke wagens worden als beter aanzien voor reikwijdte, gemak om te tanken, snelheid en aankoopprijs.
57% van de ondervraagden wil een EV overwegen indien de aankoopprijs lager of gelijk is aan die van een klassieke wagen. 24% is bereid 1.500 euro of meer te betalen.

Bron: (Deloitte, 2011) geraadpleegd op 10 maart 2011 uit http://www.deloitte.com/view/en_GX/global/press/global-press-releases-en/3949c2ee7169e210VgnVCM1000001a56f00aRCRD.htm

Figuur 29 - Segmentering Europese consumenten die een EV overweegt aan te schaffen



Bron: (Deloitte, 2011), geraadpleegd op 10 maart 2011 uit http://www.deloitte.com/assets/Dcom-Global/Local%20Assets/Documents/Manufacturing/dttl_Global%20Electric%20Vehicle%20Study_European%20Analysis_03_09_2011FINAL.pdf

II. Marktcondities draadloze energie

Volgens een marktstudie van Pike Research (2010), worden de inkomsten uit draadloze energietechnologie in 2012 op 1 miljard dollar geschat. In 2020 zou dit stijgen tot meer dan 11,8 miljard dollar wereldwijd (Pike Research, 2010). De marktomvang zal dus het komende decennium bijna vertwaalfvoudigen. Het is dan ook erg interessant voor bedrijven om een plaats te kunnen innemen in deze groeiemarkt. Het rapport stelt dat de industrie zich zal centraliseren rond grote spelers zoals General Motors en General Electric en start-ups waarvan WiTricity, Pure Energy Solutions en Powermat enkele voorbeelden zijn.

De nodige aandacht dient gegeven te worden aan de volgende uitdagingen. Ten eerste is er momenteel nog geen duidelijke leider. Er is nog geen voorkeur voor een bepaalde technologie en er is momenteel nog geen toonaangevend bedrijf in deze industrie. Hierdoor zijn er nog geen standaarden ontwikkeld die een vlotte werking tussen de verschillende technologieën kunnen garanderen. Bovendien is er nog geen overeenstemming rond de grootte en marktopportuniteit van de verschillende potentiële toepassingsgebieden. Pike Research (2010) voorspelt dat de twee belangrijkste applicaties voor draadloze energie die van consumentenelektronica en industriële toepassingen (sensornetwerken en aandrijving van machines die robotgestuurde armen gebruiken) zullen zijn. Daarnaast wordt veel verwacht van het opladen van elektrische wagens, militaire toepassingen en communicatietoepassingen (Pike Research, 2010). In deze masterproef wordt gefocust op de mogelijkheid tot het opladen van elektrische wagens.

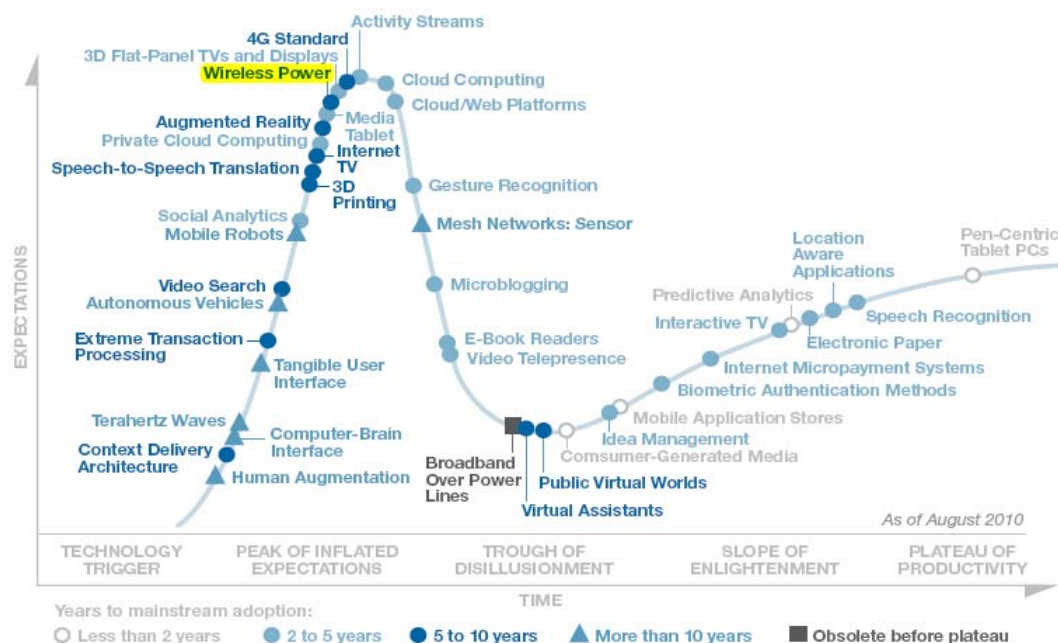
Gartner, een IT onderzoek- en adviesbureau, ontwikkelde de 'Hype Cycle' (zei figuur 30). Dit is een grafische voorstelling die de maturiteit, acceptatie en toepasbaarheid van technologieën weergeeft en bestaat uit een vijftal fasen. Elke fase wordt in de volgende paragraaf kort besproken:

1. *'Technology Trigger'* – De fase waar een nieuwe technologie of product de interesse opwekt van pers en media.
2. *'Peak of Inflated Expectation'* – Deze fase wordt gekenmerkt door overenthousiasme en onrealistische verwachtingen. Bovendien worden de eerste succesvolle applicaties ontwikkeld maar zijn er eveneens vele mislukkingen.
3. *'Trough of Disillusionment'* – In deze fase krijgt de nieuwe technologie weinig aandacht aangezien niet aan de verwachtingen werd beantwoord
4. *'Slope of Enlightenment'* – Hierbij ontdekken sommige bedrijven de voordelen en praktische toepasbaarheid van de technologie.
5. *'Plateau of Productivity'* – Een technologie/product bereikt deze fase indien de voordelen van de applicatie/technologie wijdverspreid raken en geaccepteerd worden. Dit is meestal de 2^{de} of 3^{de} generatie van het product. De hoogte van de curve is afhankelijk of de technologie zich op een nichemarkt richt of erg breed toepasbaar is.

Momenteel bevindt draadloze energie zich in de tweede fase. De toenemende aandacht voor draadloze energieoverdracht kan men terugvinden in het aantal patentaanvragen, zo zijn er bijna 55.000 Amerikaanse patenten gepubliceerd het afgelopen decennium (Patentstorm, 2011) en zijn de eerste succesvolle applicaties beschikbaar op de markt. Opladmatten zijn hier een voorbeeld van, deze worden later (sectie 3.4) besproken. Tocht dient nog veel aandacht besteedt te worden aan de efficiëntie en het veiligheidsaspect om deze technologie aan belang te laten winnen.

Figuur 30 - Gartner's 'Hype Cycle' voor opkomende technologieën

Hype Cycle for Emerging Technologies, 2010



Bron: (Gartner, 2010)

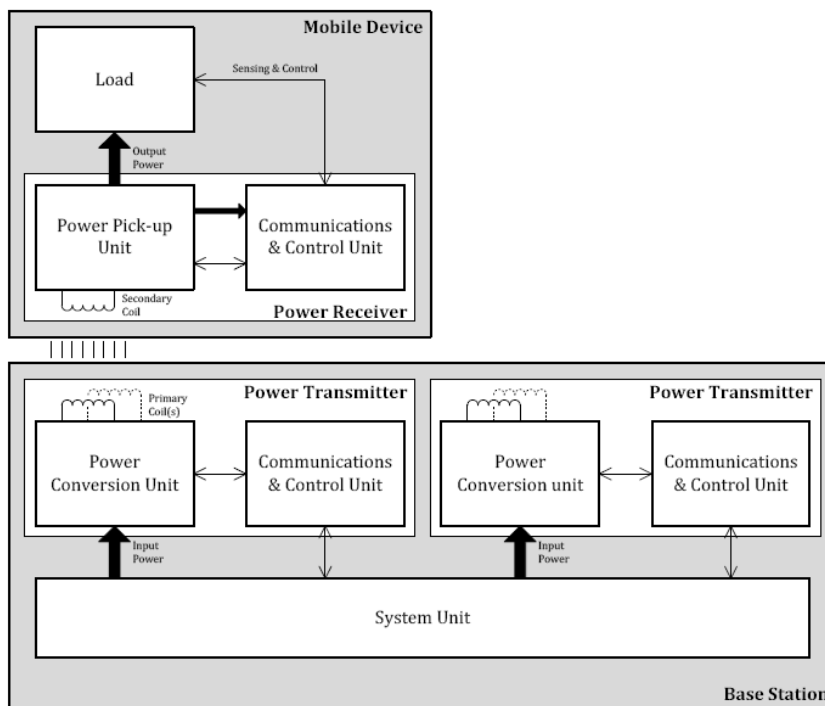
III. Toepassing: Oplaadmatten

Het afgelopen decennia zijn er vele 'draadloze' energieoverdrachtsystemen op de markt gekomen. Oplaadmatten zijn een van de meest recente beschikbare toepassingen. Volgens iSupply, een supply-chain onderzoeksbureau, zijn er 3,5 miljoen toestellen verkocht die draadloos laden mogelijk maken in 2010. In 2014 zou dit zelfs stijgen tot 234 miljoen (Tofel, 2010). Via een oplaadmat is het mogelijk kleine elektronische producten, zoals gsm's, laptops, draagbare spelconsoles, etc. op te laden. Kenmerkend hierbij is dat ze een relatief klein vermogen verbruiken en dat de 'draadloze' energieoverdracht beperkt wordt tot enkele millimeters. Het oplaadpad zelf wordt nog steeds aangesloten op het stroomnetwerk. In onderstaande sectie wordt de technische opbouw en enkele bedrijven die deze oplaadmatten op de markt gebracht hebben besproken. De technologie, belangrijkste karakteristieken, voor- en nadelen en prijszetting zullen kort besproken worden. De bespreking van deze toepassing heeft tot doel de lezer te laten kennismaken met de mogelijkheden en het bestaan van draadloze energie.

Technische kenmerken

De oplaadmat bestaat uit twee grote onderdelen: het *basisstation (base station)* en het *ontvangend toestel (mobile device)*. Het basisstation zorgt voor de energieoverdracht via magnetische inductie naar het mobiel toestel die de energie opvraagt. Het basisstation bevat een transmitter die bestaat uit een primaire spoel. Het ontvangend toestel bevat een ontvanger met de secundaire spoel. Dit geheel kan vergeleken worden met de twee helften van een transformator. Het basisstation heeft een vlak oppervlak waarop het op te laden toestel geplaatst kan worden. Hierdoor is de afstand tussen de primaire en secundaire spoel erg klein. Bij het plaatsen van het mobiele toestel zijn er twee mogelijkheden: (a) 'guided positioning' waarbij de gebruiker zijn toestel volgens een precieze richting op de oplaadmat moet leggen en (b) 'free positioning' waarbij het toestel willekeurig op de mat gelegd kan worden. Het basisstation bevat naast de transmitter een communicatie- en controle-eenheid. Deze laatste regelt het verzonden vermogen naargelang de vraag van de ontvanger. Zoals men kan zien in figuur 31 is het mogelijk dat het basisstation verschillende transmitters bevat. Hierdoor kunnen er verschillende toestellen tegelijk worden opgeladen. Andere functionaliteiten van het basisstation zoals stroomvoorziening, controle van de verschillende transmitters en user interface worden samengebracht in de systeemeenheid. Het mobiel toestel bevat een pick-up-, communicatie- en controle-eenheid. De pick-up eenheid bevat de secundaire spoel die het magnetisch veld opneemt. De controle-eenheid zorgt ervoor dat de verzonden energie geschikt is voor het op te laden toestel. Figuur 31 geeft een algemeen overzicht van de opbouw van een oplaadmat weer.

Figuur 31 - Technische opbouw oplaadmat



Bron: (Wireless Power Consortium, 2010), geraadpleegd op 21 oktober 2010 uit <http://www.wirelesspowerconsortium.com/downloads/wireless-power-specification-part-1.html>

Aanbieders

Powermat

Powermat's technologie is gebaseerd op magnetische inductie. Powermat voegde aan deze klassieke inductie enkele karakteristieken toe. Zo detecteert een RFID-handdruk het toestel en wordt vervolgens het nodige vermogen bepaald en geleverd. Eens het toestel is opgeladen zal Powermat het oplaadcircuit afsluiten wat de stroom die aan het net onttrokken wordt doet dalen. Als een gevolg hiervan dienen de op te laden toestellen op een specifieke plaats en richting op de mat gelegd te worden. De standaardversie van Powermat kan 3 toestellen draadloos opladen plus één via een USB-poort. Om een toestel op te laden is een speciale ontvangtskin nodig of een universele USB oplader, de Power Cube. Deze kan een groot aantal elektronische toestellen opladen.

Powermat werkt momenteel samen met gsm-fabrikanten om de interne batterij en achterkant van de gsm te veranderen in een die compatibel is met de Powermat. De prijs voor een Powermat varieert tussen \$ 39,99 (waarbij slechts één toestel kan opgeladen worden) en \$ 79,99 (3 toestellen die opgeladen kunnen worden). Voor een Powermat met Powercube dient men tussen de \$ 59,99 (draagbare versie met Powercube) en \$ 99,99 (3 toestellen) te betalen. Een iPhone ontvangtskin kost \$ 39,99.

Tabel 16 - Specificaties Powermat

Specificaties	Home & Office Powermat	Draagbare Powermat
Max. aantal oplaadpunten	3 + 1 (via USB-poort achteraan Powermat)	3 + 1 (via USB-poort achteraan Powermat)
Dimensies (H x B x L)	1,57 x 11,59 x 31,12 cm	1,27 x 9,37 x 30,16 cm
Ingangspanning, frequentie	120-240V (AC), 50-60 Hz	120-240V (AC), 50-60
Uitgangspanning	18 V (DC)	18 V (DC)
Output stroomsterkte	0,83 A	0,83 A
Stroomsterkte in stand-by	0,011A	0,011A
Vermogen	15 W	15 W
Gewicht	0,63 Kg	0,54 kg
Dimensie Powercube	6,03 x 6,03 x 0,87 cm	6,03 x 6,03 x 0,87 cm

Bron: Eigen Ontwerp

WildCharge

Wildcharge is een product van Pure Energy Solutions, een bedrijf dat niet enkel draadloze oplaadoplossingen wil aanbieden, maar ook herlaadbare batterijen voor draagbare toestellen. WildCharge heeft een oplaadmat ontwikkeld met een geleidend oppervlak. Het opladen van het toestel kan op vier manieren: via WildCharge Skins, de WildCharge PowerDisk met PowerLinks, de WildCharge universele adapter en Wildcharge Back Covers. *WildCharge Skins* zijn beschermhoesjes waar een speciale ontvanger is in verwerkt. Momenteel zijn er skins beschikbaar voor de toestellen van Apple en BlackBerry. *WildCharge PowerDisk* met PowerLinks, is een cilindervormig toestel, de PowerDisk, waarbij men via verschillende aansluitpoorten, de PowerLinks, het op te laden toestel kan verbinden. De *Wildcharge Externe Adapter* is momenteel enkel beschikbaar voor de toestellen van Nokia, Sony Ericsson en toestellen met een mini- of micro-USB poort. Hierbij kan je een clip op je toestel plaatsen waardoor deze opgeladen kan worden. De *WildCharge back cover* is momenteel enkel beschikbaar voor de Motorola RAZR V3 en zorgt voor een integratie van de ontvanger in het afsluitplaatje voor de batterij. Deze back covers hebben 4 metalen contactpunten die gemagnetiseerd worden waardoor het toestel wordt aangetrokken aan het geleidend oppervlak. Het voordeel hierbij is dat het op te laden toestel in elke hoek op de laadmat gelegd kan worden. Indien de metalen strips op de oplaadmat een vreemd object, zoals een hand, water, etc. herkennen, stopt het laden onmiddellijk. Op één mat is er plaats voor een drie- à viertal toestellen.

Een van de belangrijkste nadelen is dat men voor de meeste toestellen een intermediair stuk nodig heeft (skin of externe aansluitpoort). Bovendien bestaat er momenteel geen draagbare versie van het product en is de skin die ontwikkeld werd voor de iPhone zo gebouwd dat men geen toegang heeft tot de datapoort van de iPhone. Momenteel betaalt men voor een WildCharge Pad \$ 49,99. Voor een iPhone skin dient men \$ 34,99 te betalen. Een externe adapter kost tussen de \$ 4,99 en \$ 30,99. De productbundel *Pad + Skin* of *Pad + adapter* kost \$ 79,99. WildCharge zegt dat het momenteel gecertificeerd is om tot 150 W te leveren.

Duracell myGrid

Duracell's myGrid lijkt sterk op de producten van WildCharge. Duracell heeft namelijk de technologie van deze laatste in licentie overgenomen. Dezelfde problemen duiken dan ook op als deze bij WildCharge. Een speciale ontvangstskin is nodig, die bij de iPhone de datapoort blokkeert, waardoor een fulltime gebruik van het beschermhoesje niet mogelijk is. Ten opzichte van WildCharge zijn er enkel externe adapters, Power Clips genaamd en de hoesjes voor BlackBerry en iPhone. De snelheid van opladen is gelijkaardig als deze t.o.v. het conventionele opladen. Ook bij deze oplaadmat kan het product in elke richting en hoek gelegd worden om op te laden. Prijzen variëren rond de \$ 90 voor de oplaadmat en \$ 40 voor een oplaadhoesje.

E-Coupled (Fulton Innovations)

ECoupled is een gepatenteerde oplaadmat (>400 patenten), ontwikkeld door Fulton Innovations, die op haar beurt een subdivisie is van Altacor. Dankzij Altacor's substantiële (financiële) steun en competenties kon eCoupled snel ontwikkeld worden. De technologie is gebaseerd op inductieve koppeling. eCoupled is een van de weinige draadloze technologieën die reeds verschillende producten op de markt heeft. Momenteel bestaan er tiental partnerships met o.a. Dell, Bosch, Energizer en Motorola. eCoupled beperkt zich tot een korte, maar erg efficiënte overdracht van energie. Bijhorende kenmerken is het innovatieve controlesysteem, waarbij eCoupled het nodige vermogen, real-time, kan aanpassen aan de specifieke nood van elk van de toestellen. Zo zullen eCoupled toestellen automatisch uitschakelen indien het te laden toestel is opgeladen. Het controlesysteem houdt niet enkel rekening met het vermogen, maar ook met de laad- en levenscyclus van de batterij en het toestel. Dankzij dit systeem werd een efficiëntie van meer dan 98% bereikt bij 120V/1,4Kw. Dit wordt bereikt doordat de ontvanger een *Identification Friend or Foe (IFF) chip* bevat. In 2008 werd Fulton's eCoupled medeoprichter van het Wireless Power Consortium, dit is de eerste organisatie die een standaard ontwikkeld heeft voor kleine draadloze energieoverdracht (<5W). Momenteel is de Dell Latitude Z het meest gekende product die eCoupled technologie gebruikt. Dave Baarman, Directeur 'Advanced Technologies' bij Fulton Innovation en bedenker van eCoupled zei in 2010 op de Consumer Electronics Show dat de efficiëntie van de draadloze oplaadstand momenteel beperkt is tot 70% doordat de Dell lader die aan het elektriciteitsnetwerk gekoppeld wordt slechts een efficiëntie heeft van 70%, en dus ook de oplaadstand. Zonder belemmeringen van de laptoplader zou de draadloze laderstand een efficiëntie kunnen bereiken van 80 tot 90% (Heimbuch, 2010).

IV. Totstandkoming en normen ICNIRP

De International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP) is een onafhankelijke organisatie van experts uit verschillende wetenschapsgebieden die tot doel heeft objectief advies te geven m.b.t. de gezondheidsrisico's van niet-ioniserende straling. De ICNIRP heeft waarden gepubliceerd waarbij de eerste nadelige effecten van de elektromagnetische straling worden waargenomen. In de voorgestelde veiligheidslimieten gebruikt men een veiligheidsfactor 10 voor mensen die professioneel in contact komen met EMS en een factor van 50 voor publieke plaatsen.

De Raad van de Europese Unie heeft op 12 juli 1999 de ICNIRP-waarden aanbeveelt aan haar lidstaten (1999/519/EG). Het betreft hier om de *publieke blootstelling* aan elektromagnetische straling. Voor mensen die *professioneel* in contact komen met EMF heeft Europa in 2004 een richtlijn gecreëerd die de lidstaten moeten implementeren voor 2008. Deze richtlijn is echter tot 30 april 2012 uitgesteld omdat deze problemen kon opleveren voor Magnetic Resonance Imaging (MRI) scans. De aanbeveling uit 1999 is niet bindend voor de lidstaten van de Europese Unie. In het frequentiegebied van 4-1000Hz mag de stroomdichtheid in publieke plaatsen maximaal 2mA/m^2 bedragen. Bij 50Hz stemt deze waarde overeen met een referentieniveau van $100\mu\text{T}$ en 5kV m^{-1} . In dit referentieniveau is een veiligheidsmarge gerekend. De eigenlijke waarden die overeenstemmen met de basisrestrictie van 2mA/m^2 bedragen $360\mu\text{T}$ en 9kV m^{-1} . Figuur 32 geeft de grenswaarden weer en figuur 33 de actiewaarden die daar met overeenstemmen. Figuur 32 toont dat er een verschillende restrictiegrootte wordt gebruikt afhankelijk van de frequentie.

“Tussen 0 en 1 Hz worden basisrestricties gegeven voor de magnetische fluxdichtheid voor statische magnetische velden (0 Hz) en de stroomdichtheid voor tijdsafhankelijke velden tot 1 Hz, teneinde gevolgen voor het cardiovasculaire systeem en het centrale zenuwstelsel te voorkomen; tussen 1 Hz en 10 MHz worden basisrestricties gegeven voor de stroomdichtheid om gevolgen voor functies van het zenuwstelsel te voorkomen; tussen 100 kHz en 10 GHz worden basisrestricties gegeven voor het SAT om globale thermische belasting van het lichaam en excessieve plaatselijke verwarming van weefsels te voorkomen. In het gebied van 100 kHz tot 10 MHz worden restricties voor zowel de stroomdichtheid als het SAT gegeven; tussen 10 GHz en 300 GHz worden basisrestricties voor de vermogensdichtheid gegeven om verwarming van weefsel aan of bij het lichaamsoppervlak te voorkomen” (1999/519/EG).

Appendix V legt de gebruikte fysische grootheden in onderstaande figuren uit.

Figuur 32 - Grenswaarden voor elektrische, magnetische en elektromagnetische velden - publieke blootstelling

Frequentiegebied	Magnetische fluxdichtheid (mT)	Stroomdichtheid (mA/m ²) (rms)	Lichaams-SAT (W/kg)	Plaatselijk SAT (hoofd en romp) (W/kg)	Plaatselijk SAT (extremiten) (W/kg)	Vermogensdichtheid, S (W/m ²)
0 Hz	40	—	—	—	—	—
>0-1 Hz	—	8	—	—	—	—
1-4 Hz	—	8/f	—	—	—	—
4-1 000 Hz	—	2	—	—	—	—
1 000 Hz-100 kHz	—	f/500	—	—	—	—
100 kHz-10 MHz	—	f/500	0,08	2	4	—
10 MHz-10 GHz	—	—	0,08	2	4	—
10-300 GHz	—	—	—	—	—	10

Bron: (Raad van de Europese Unie, 1999), geraadpleegd 5 januari 2011 uit: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:1999:199:0059:0070:NL:PDF>

Figuur 33 - Actiewaarden voor elektrische, magnetische en elektromagnetische velden - publieke blootstelling

Frequentiegebied	E-veldsterkte (V/m)	H-veldsterkte (A/m)	B-veld (μT)	Equivalentte vermogensdichtheid voor vlakke golven S _{eq} (W/m ²)
0-1 Hz	—	3,2 × 10 ⁴	4 × 10 ⁴	—
1-8 Hz	10 000	3,2 × 10 ⁴ /f ²	4 × 10 ⁴ /f ²	—
8-25 Hz	10 000	4 000/f	5 000/f	—
0,025-0,8 kHz	250/f	4/f	5/f	—
0,8-3 kHz	250/f	5	6,25	—
3-150 kHz	87	5	6,25	—
0,15-1 MHz	87	0,73/f	0,92/f	—
1-10 MHz	87/f ^{1/2}	0,73/f	0,92/f	—
10-400 MHz	28	0,073	0,092	2
400-2 000 MHz	1,375 f ^{1/2}	0,0037 f ^{1/2}	0,0046 f ^{1/2}	f/200
2-300 GHz	61	0,16	0,20	10

Bron: (Raad van de Europese Unie, 1999), geraadpleegd 5 januari 2011 uit: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:1999:199:0059:0070:NL:PDF>

Figuur 34 en 35 geven op hun beurt de grens- en actiewaarden weer indien er een professionele blootstelling is aan EMS.

Figuur 34 - Grenswaarden voor elektrische, magnetische en elektromagnetische velden - professionele blootstelling

Frequentiegebied	Stroomdichtheid voor hoofd en romp J (mA/m ²) (rms)	Lichaams-SAR (W/kg)	Plaatselijk SAR (hoofd en romp) (W/kg)	Plaatselijk SAR (extremititeiten) (W/kg)	Vermogensdichtheid (W/m ²)
tot 1 Hz	40	-	-	-	-
1 – 4 Hz	40/f	-	-	-	-
4 – 1000 Hz	10	-	-	-	-
1000 Hz - 100 kHz	f/100	-	-	-	-
100 kHz – 10 MHz	f/100	0.4	10	20	-
10 MHz – 10 GHz	-	0.4	10	20	-
10 GHz – 300 GHz	-	-	-	-	50

Bron: (Europees Parlement, 2004), geraadpleegd op 5 januari 2011 uit: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2004:159:0001:0026:NL:PDF>

Figuur 35 - Actiewaarden voor elektrische, magnetische en elektromagnetische velden - professionele blootstelling

Frequentiegebied	Elektrische veldsterkte E (V/m)	Magnetische veldsterkte H (A/m)	Magnetische fluxdichtheid B (μT)	Equivalente vermogensdichtheid vlakke golf, S _{eq} (W/m ²)	Contact-stroom I _c (mA)	Extremitetenstroom I _L (mA)
0 -1Hz	-	1,63 x 10 ⁵	2 x 10 ⁵	-	1.0	-
1-8 Hz	20000	1,63 x 10 ⁵ /f ²	2 x 10 ⁵ /f ²	-	1.0	-
8-25 Hz	20000	2 x 10 ⁴ /f	2,5 x 10 ⁴ /f	-	1.0	-
0.025- 0.82 kHz	500/f	20/f	25/f	-	1.0	-
0,82 - 2,5 kHz	610	24,4	30,7	-	1,0	-
2,5 - 65 kHz	610	24,4	30,7	-	0,4 f	-
65 - 100 kHz	610	1600/f	2000/f	-	0,4 f	-
0,1 - 1 MHz	610	1,6/f	2/f	-	40	-
1-10 MHz	610/f	1,6/f	20/f	-	40	-
10-110 MHz	61	0,16	0,2	10	40	100
110 - 400 MHz	61	0,16	0,2	10	-	-
400-2000 MHz	3f ²	0,008f ²	0,01f ²	f/40	-	-
2-300 GHz	137	0,36	0,45	50	-	-

Bron: (Europees Parlement, 2004), geraadpleegd op 5 januari 2011 uit: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2004:159:0001:0026:NL:PDF>

Het Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks (SCENIHR) is een van de drie wetenschappelijke comités van de Europese Unie. Dit comité heeft tot doel meningen te formuleren op de invloed en risico's van nieuwe of in ontwikkeling zijnde technologieën op de menselijke gezondheid en zijn omgeving. De SCENIHR heeft de limieten van de Raad van de EU voor het laatst bekeken in haar plenaire vergadering van 16 maart 2007. In haar verslag gaat ze akkoord met de voorgestelde limieten, hoewel ze opmerkt dat de gevolgen op lange termijn van de EMS t.o.v. het intermediaire frequentieveld nog niet voldoende zijn onderzocht:

“In its opinion from 2001 the CSTE did not comment specifically on intermediate frequencies (IF). Based on the scientific rationale presented above the SCENIHR, however, updates the 2001 opinion with the following statement regarding intermediate frequencies: Experimental and epidemiological data from the IF range are very sparse. Therefore, assessment of acute health risks in the IF range is currently based on known hazards at lower frequencies and at higher frequencies. Proper evaluation and assessment of possible health effects from long term exposure to IF fields are important because human exposure to such fields is increasing due to new and emerging technologies.” (SCENIHR, 2007)

België heeft in het Koninklijk Besluit van 29 april 2001 zich aangesloten bij de Europese normen. Wel werden de normen vier keer verstrengt met betrekking tot radiogolven tussen 10MHz en 10 GHz. Dit Koninklijk Besluit werd door het KB van 10 augustus 2005 vervangen, maar werd later door de Raad van State (arrest nr. 193.456, 20 mei 2009) vernietigt aangezien de normen voor zendmasten een gewestelijke bevoegdheid zijn. De normen in Vlaanderen zijn er op gericht dat het specifiek absorptietempo in publieke plaatsten beperkt wordt tot maximaal 0,02 W/Kg. Op 2 april 2010 werd in de Vlaamse Regering dit ontwerp van besluit goedgekeurd voor frequenties tussen de 10MHz en 10 GHz. Deze komt overeen met de voormalige federale norm in het koninklijk Besluit. Met betrekking tot magnetische velden (50Hz) in het publiek heeft de België nog geen specifieke wet. België volgt wel de Europese aanbevelingen, waarbij de grenswaarde voor het voorkomen van effecten op korte termijn op 100µT is vastgelegd.

V. Verklaring fysische grootheden⁹

De *contactstroom* (I_c) tussen een persoon en een voorwerp wordt uitgedrukt in ampère (A). Een geleidend voorwerp in een elektrisch veld kan door dat veld worden opgeladen.

De *stroomdichtheid* (J) is de door een eenheidsdoorsnede loodrecht op zijn richting in een volumegeleider, zoals het menselijk lichaam of een deel daarvan, lopende stroom; zij wordt uitgedrukt in ampère per vierkante meter (A/m^2).

De *elektrische veldsterkte* is een vectorgrootheid (E), die overeenkomt met de kracht die op een geladen deeltje, ongeacht de beweging daarvan in de ruimte, wordt uitgeoefend. Zij wordt uitgedrukt in volt per meter (V/m).

De *magnetische veldsterkte* is een vectorgrootheid (H) die, naast de magnetische fluxdichtheid, dient voor de beschrijving van een magnetisch veld op elk punt in de ruimte. Zij wordt uitgedrukt in ampère per meter (A/m).

De *magnetische fluxdichtheid* is een vectorgrootheid (B), die een op bewegende ladingen inwerkende kracht veroorzaakt; zij wordt uitgedrukt in tesla (T). In de lege ruimte en in biologische materialen kunnen de magnetische fluxdichtheid en de magnetische veldsterkte in elkaar worden omgerekend met de equivalentie $1 A m^{-1} = 4\pi \cdot 10^{-7} T$.

De *vermogensdichtheid* (S) is de passende grootheid voor gebruik bij zeer hoge frequenties, wanneer de doordringdiepte in het lichaam gering is. Zij is de loodrecht op een oppervlak vallende energiestroom, gedeeld door de grootte van het oppervlak; zij wordt uitgedrukt in watt per vierkante meter (W/m^2).

De *specifieke energieabsorptie* (SA) is de energie die wordt geabsorbeerd per massa-eenheid biologisch weefsel, uitgedrukt in joule per kilogram (J/kg). In deze aanbeveling wordt deze grootheid gebruikt voor het beperken van de niet-thermische effecten van gepulseerde microgolfstraling.

Het *specifieke energieabsorptietempo* (SAT) gemiddeld over het gehele lichaam of over lichaamsdelen, is het tempo waarin de energie per massa-eenheid biologisch materiaal wordt geabsorbeerd; het wordt uitgedrukt in watt per kilogram (W/kg). Het lichaams-SAT is een algemeen aanvaarde maatstaf voor het relateren van schadelijke thermische effecten aan de blootstelling aan RF. Naast het gemiddelde lichaams-SAT zijn lokale SAT-waarden noodzakelijk voor het evalueren en beperken van te grote energieconcentraties in kleine delen van het lichaam als gevolg van bijzondere blootstellingomstandigheden. Voorbeelden van dergelijke omstandigheden zijn: geaarde personen die aan RF in het lage MHz-gebied worden blootgesteld en personen die aan het nabije veld van een antenne worden blootgesteld.

Van deze grootheden kunnen de magnetische fluxdichtheid, de contactstroom, de elektrische en magnetische veldsterkte en de vermogensdichtheid direct worden gemeten.

⁹ Integraal overgenomen uit (Europees Parlement, 2004), geraadpleegd op 5 januari 2011 uit: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2004:159:0001:0026:NL:PDF>

