



**Vrije Universiteit Brussel
Vakgroep Elektrotechniek en Energietechniek**

Studieopdracht

Laadinfrastructuur voor elektrische voertuigen

In opdracht van het

BRUSSELS HOOFDSTEDELIJK GEWEST



**Eindverslag
December 2002**

**Ir. P. Van den Bossche
Prof. G. Maggetto**

0 Inhoudstafel

0	INHOUDSTAFEL	3
1	INLEIDING.....	6
2	ELEKTRISCHE VOERTUIGEN	7
2.1	ALGEMEENHEDEN	7
2.2	STRUCTUUR VAN HET ELEKTRISCH VOERTUIG	8
2.3	PRESTATIES VAN ELEKTRISCHE VOERTUIGEN	10
2.4	BATTERIJEN	10
2.5	ELEKTRISCHE AANDRIJVINGEN	12
2.5.1	<i>Motoren</i>	<i>12</i>
2.5.2	<i>Sturingen.....</i>	<i>13</i>
2.6	DE POTENTIËLE MARKT	14
2.7	ENERGIEBESPARING DOOR ELEKTRISCHE VOERTUIGEN.....	15
2.8	MILIEUVOORDEEL VAN ELEKTRISCHE VOERTUIGEN.....	16
2.8.1	<i>Evaluatie van de milieu impact</i>	<i>16</i>
2.8.2	<i>Geval van het elektrisch voertuig.....</i>	<i>18</i>
2.9	FINANCIËLE ASPECTEN.....	20
2.10	HET ELEKTRISCH VOERTUIG TEN OVERSTAAN VAN ANDERE ALTERNATIEVEN.....	22
3	WPA1: ANALYSE VAN REEDS BESTAANDE OPENBARE LAADSYSTEMEN.....	24
3.1	BATTERIJLADERS.....	24
3.1.1	<i>Algemeenheden.....</i>	<i>24</i>
3.1.2	<i>Locatie van batterijladers.....</i>	<i>24</i>
3.1.3	<i>Karakteristieken van de aansluiting</i>	<i>25</i>
3.1.4	<i>Laadkarakteristieken.....</i>	<i>26</i>
3.2	TYPES VAN INFRASTRUCTUUR	27
3.2.1	<i>“Gewone” laadinfrastructuur.....</i>	<i>27</i>
3.2.2	<i>Semi-snelle laadinfrastructuur</i>	<i>29</i>
3.2.3	<i>Snellaadinfrastructuur.....</i>	<i>29</i>
3.2.4	<i>Inductieve laadinfrastructuur.....</i>	<i>29</i>
3.2.5	<i>Vereiste vermogens en laadtijden</i>	<i>31</i>
3.3	OVERZICHT VAN BESTAANDE LAADINFRASTRUCTUUR.....	34
3.3.1	<i>Mode 1 lading.....</i>	<i>34</i>
3.3.2	<i>Mode 3 lading.....</i>	<i>34</i>
3.3.3	<i>Mode 4 lading.....</i>	<i>36</i>
3.3.4	<i>Laadinfrastructuur voor tweewielers.....</i>	<i>36</i>
3.4	INFRASTRUCTUUR UITGEBOUWD IN EEN AANTAL LANDEN	38
3.4.1	<i>Frankrijk</i>	<i>38</i>
3.4.2	<i>Zwitserland</i>	<i>46</i>
3.4.3	<i>Italië.....</i>	<i>49</i>
3.4.4	<i>Verenigde Staten</i>	<i>51</i>
3.5	INVLOED OP HET ELEKTRICITEITSNET	55
3.5.1	<i>Vermogenbehoefte van elektrische voertuigen</i>	<i>55</i>
3.5.2	<i>Problematiek van de snellading</i>	<i>56</i>
4	WPA2: ANALYSE VAN DE MOGELIJKE LOCATIES VOOR DE INSTALLATIE VAN DE LAADPUNTEN IN HET BRUSSELS GEWEST.....	57
4.1	ALGEMEENHEDEN	57
4.2	DIENSTVOERTUIGEN	57
4.2.1	<i>Algemeenheden – Brandweer.....</i>	<i>57</i>
4.2.2	<i>Goederendistributie</i>	<i>58</i>
4.3	PUBLIEK TOEGANKELIJKE INFRASTRUCTUUR	58
4.3.1	<i>“Openbare” laadinfrastructuur.....</i>	<i>58</i>

4.3.2	“Residentiële” laadinfrastructuur	59
4.4	LAADSTATIONS OP DE OPENBARE WEG PER GEMEENTE	62
4.4.1	Anderlecht	62
4.4.2	Brussel	64
4.4.3	Elsene	70
4.4.4	Etterbeek	72
4.4.5	Evere	73
4.4.6	Ganshoren	75
4.4.7	Jette	76
4.4.8	Koekelberg	78
4.4.9	Oudergem	79
4.4.10	Schaarbeek	80
4.4.11	Sint-Agatha-Berchem	82
4.4.12	Sint-Gillis	83
4.4.13	Sint-Jans-Molenbeek	85
4.4.14	Sint-Joost-ten-Node	86
4.4.15	Sint-Lambrechts-Woluwe	87
4.4.16	Sint-Pieters-Woluwe	89
4.4.17	Ukkel	90
4.4.18	Vorst	91
4.4.19	Watermaal-Bosvoorde	92
4.5	BETALENDE PARKINGS	93
4.6	AUTOMATISCHE UITLEENSYSTEMEN (CAR-SHARING)	93
4.7	SNELLAADSTATIONS	94
4.8	LAADSTATIONS VOOR TWEEWIELERS	95
4.9	KEUZE VAN DE INFRASTRUCTUUR	96
4.9.1	Gebruikte accessoires	96
4.9.2	Gebruikte laadpalen	97
4.9.3	Aansluitproblematiek	102
4.9.4	Accessoires van de landpaal zelf	103
4.10	FINANCIËLE ASPECTEN VAN HET VOORSTEL	105
4.10.1	Investeringskost: de paal en zijn aansluiting	105
4.10.2	Totale kost van het project	106
4.10.3	Exploitatiekost: elektriciteitsverbruik	107
4.11	BETAALSYSTEEM VOOR DE GEBRUIKER	108
4.12	PRAKTISCHE IMPLEMENTATIE	109
4.12.1	Veiligheidsproblematiek	109
4.12.2	Mogelijke oplossingen	109
4.12.3	Signaletiek	113
5	WPA3: UITRUSTEN VAN DE LAADPUNTEN MET EEN BETAALKAART SYSTEEM TYPE “PROTON”	115
5.1	ALGEMEENHEDEN OVER DE BETALING	115
5.2	METING VAN DE ELEKTRISCHE ENERGIE	115
5.3	METING VAN DE TIJD	115
5.4	FORFAITAIRE TARIFICATIE	116
5.5	BETAALMETHODEN	116
5.5.1	Betaling met munten	116
5.5.2	Betaling met kaarten	116
5.5.3	Betaling met vignet	117
5.6	DE PROTON KAART	117
5.6.1	Algemeen	117
5.6.2	Technische aspecten	118
5.6.3	Financiële aspecten	122
6	WPA4: ANALYSE VAN DE MOGELIJKHEID OM EEN SPECIAAL TARIEF IN TE VOEREN DAT DE PARKEER- EN ELEKTRICITEITSKOST COMBINEERT	124
6.1	VERBRUIK VAN DE LADING	124

6.2	PARKEERTARIEVEN	124
6.3	GEÏNTEGREERDE TARIFICATIE.....	125
6.4	HET PARK&CHARGE SYSTEEM.....	125
6.5	PARK&CHARGE ORGANISATIE.....	126
6.6	PRAKTISCHE IMPLEMENTATIE.....	127
6.6.1	<i>Park & Charge België</i>	127
6.6.2	<i>De exploitanten van de laadpalen</i>	127
6.6.3	<i>De exploitanten van de parkings</i>	128
6.6.4	<i>De intercommunale (Sibelgaz)</i>	128
7	WPA5: STUDIE VAN DE VEILIGHEIDSASPECTEN, NORMEN EN REGLEMENTEN	129
7.1	ALGEMEENHEDEN.....	129
7.2	OVERZICHT VAN DE INTERNATIONALE NORMALISATIE	129
7.2.1	<i>Organismen actief in het domein</i>	129
7.2.2	<i>IEC TC69</i>	130
7.2.3	<i>IEC SC23H</i>	130
7.2.4	<i>ISO TC22 SC 21</i>	131
7.3	INTERFACE VOOR CONDUCTIEVE LADING	132
7.4	ACHTERGRONDEN VAN DE NORMALISATIE	134
7.4.1	<i>Veiligheid</i>	134
7.4.2	<i>Flexibiliteit</i>	135
7.4.3	<i>Kostprijs</i>	135
7.4.4	<i>Conclusies</i>	135
8	WPB1: ANALYSE VAN DE GEBRUIKSOMSTANDIGHEDEN VAN DE	
	ELEKTRISCHE VOERTUIGEN VAN DE BRUSSELSE BRANDWEER EN ANDERE	
	DIENSTEN.....	136
8.1	INLEIDING	136
8.2	BRANDWEER	137
8.2.1	<i>Situering</i>	137
8.2.2	<i>Gebruik</i>	137
8.2.3	<i>Problemen</i>	138
8.2.4	<i>Appreciatie</i>	139
8.3	KABINET DELATHOUWER.....	141
8.4	NET BRUSSEL.....	142
9	WPB2: FORMULERING VAN ADVIEZEN VOOR DE OPTIMALE BENUTTING VAN	
	HET GEBRUIKTE MATERIAAL.....	143
9.1	ALGEMENE AANBEVELINGEN	143
9.2	BIJZONDERE INFORMATIESESSIE	145
10	LIJST VAN FIGUREN.....	147
11	LIJST VAN TABELLEN.....	149
12	BIBLIOGRAFIE	150

I Inleiding

In stadsverkeer, omwille van hun gunstig effect op het leefmilieu, vormen elektrische voertuigen een belangrijke factor voor het verbeteren van het verkeer en meer in het bijzonder voor een gezonder leefomgeving. De elektrische voertuigen hebben dan ook een aanzienlijk potentieel met betrekking tot hun gebruik voor stedelijke verplaatsingen.

Vandaag de dag echter worden elektrische voertuigen vrijwel alleen in een beperkt aantal wagenparken van administraties aangetroffen. Teneinde het aantal elektrische voertuigen uit te breiden tot het aandeel wat technisch mogelijk is moet enerzijds de markt geopend worden, zodat, bij een voldoende productie, de aankoopprijs van het voertuig interessant wordt voor de modale gebruiker.

Anderzijds moet er voorzien worden in een publiek toegankelijke laadinfrastructuur, zodat het elektrisch voertuig zich ook buiten zijn eigen garage in energie kan bevoorraden en aldus flexibeler en aantrekkelijker wordt.

Het initiatief voor de uitbouw van deze infrastructuur komt grotendeels toe aan de lokale overheden.

In dit verslag wordt een voorstel geformuleerd voor de uitbouw van een netwerk laadstations in het Brussels Hoofdstedelijk Gewest. Rekening houdend met de ervaringen die reeds op buitenlandse locaties werden opgedaan en met de technische ontwikkelingen op het domein, in het bijzonder op het gebied van de normalisatie, werden uitrustingen gekozen die in aanmerking komen om geplaatst te worden op een dertigtal locaties verspreid over gans het Gewest; de keuze van deze locaties houdt rekening met de mobiliteitsbehoeften en met de integratie van het mobiliteitsbeleid naar de lokale overheden toe.

Verder wordt aandacht besteed aan de praktische ervaringen die reeds zijn opgedaan met elektrisch aangedreven voertuigen bij een aantal openbare diensten in het Gewest.

2 Elektrische voertuigen

2.1 Algemeenheden

De problematiek van mobiliteit, verkeer en milieu is één van de grootste uitdagingen waarmee de steden vandaag de dag worden geconfronteerd. Het tijdperk van de goedkope olie is bijna voorbij [i], en tegen 2010 kan een gevoelige stijging van de olieprijs worden verwacht. De behoefte aan alternatieve energiebronnen neemt toe; het gebruik van elektrische energie biedt hier het beste alternatief, gezien elektriciteit uit verschillende primaire energiebronnen kan worden betrokken, en opgewekt en verbruikt kan worden met een zeer hoog rendement.

Elektrisch aangedreven voertuigen bestaan reeds sinds het einde van de 19^{de} eeuw, maar zijn door de verbrandingsmotor op de achtergrond verdrongen geweest. Echter, in de jaren '80 en '90 van de 20^{ste} eeuw kregen elektrische voertuigen opnieuw veel aandacht dankzij de milieuvriendelijkheid van de technologie. [ii] Bovendien werd het na de belangrijke oliecrisis midden jaren '70 duidelijk dat onze olie-afhankelijkheid te groot was en moest gereduceerd worden. Elektrische voertuigen zijn in tegenstelling tot de conventionele voertuigen voor hun brandstof niet afhankelijk van de OPEC-landen.

Op heden zijn in België zowat 1105 elektrische voertuigen ingeschreven, waarvan 71 personenvoertuigen, 2 bussen, 112 vrachtwagens, 5 tractors, 23 motorfietsen en 913 speciale voertuigen.[iii] In geheel Europa zou het aantal batterij elektrische voertuigen schommelen rond 28.000. [iv]

Het grote verschil tussen elektrische en conventionele (= thermische) voertuigen is dat het voertuig aangedreven wordt door een elektrische motor en zijn energie haalt uit een batterij. Door de karakteristieken van een elektrische motor is een versnellingsbak in de meeste gevallen niet nodig.

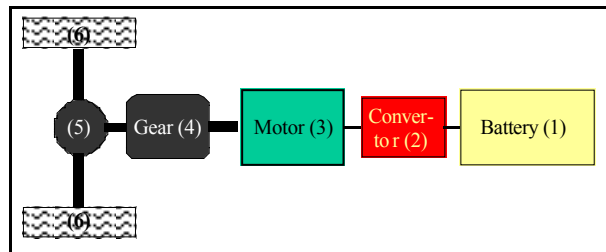
Opmerkelijk voor elektrische voertuigen is het feit dat zij zorgen voor slechts weinig lawaaihinder en tijdens het rijden helemaal geen uitlaatgassen uitstoten [v]. Een ander fundamenteel verschil met klassieke wagens is dat bij elektrische voertuigen de motor niet draait wanneer de wagen stilstaat in een file of voor een rood licht.

Indien men overstapt van een conventionele naar een elektrische wagen, zijn er qua rijgedrag een zeker aantal aanpassingen vereist. Zo bijvoorbeeld zal men moeten wennen aan de afwezigheid van een versnellingsbak in de meeste elektrische voertuigen. Dit betekent dat er gewerkt moet worden met slechts twee pedalen, nl. de gas- en de rempedaal, hetgeen overeen stemt met het gedrag van een automatische versnellingsbak (alhoewel de elektrische motor en vaste overbrenging heeft).

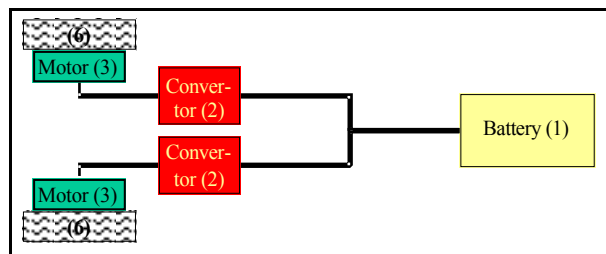
Een tweede aanpassing bestaat erin rekening te houden met de mogelijkheid tot "regeneratief remmen". Dit betekent dat bij het remmen de energie niet volledig verloren gaat, maar dat een deel ervan hergebruikt wordt om de batterij op te laden. [vi]

2.2 Structuur van het elektrisch voertuig

De elektrische aandrijving bestaat uit een tractiebatterij (1), een sturing (2), een motor (3), een vaste of veranderlijke overbrenging (4) en een differentieel (5) (Figuur 1). De mechanische overbrenging met differentieel kan vervangen worden door wielnaafmotoren (Figuur 2).

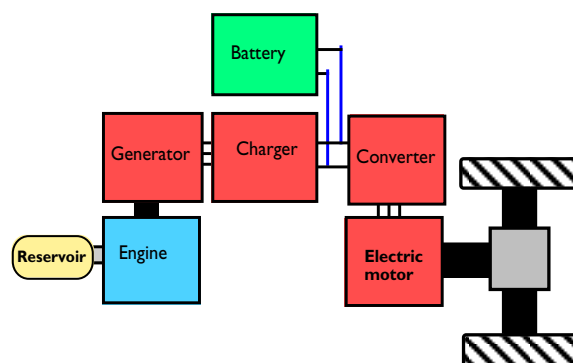


Figuur 1: Elektrisch voertuig met één motor



Figuur 2: Elektrisch voertuig met wielmotoren

De actieradius van een elektrisch voertuig kan uitgebreid worden door een bijkomende energiebron aan boord te voorzien (generator of brandstofcel); dergelijke voertuigen worden hybride voertuigen genoemd. Er bestaan hoofdzakelijk twee types hybride voertuigen: “serie” en “parallel”.

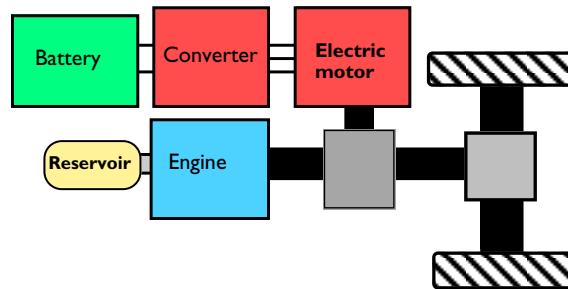


Figuur 3: Serie hybride

De serie hybride (Figuur 3) is een combinatie van **energiebronnen**. Het voertuig wordt slechts door de elektrische motor(en) aangedreven; de elektrische energie wordt ofwel geleverd door de batterij ofwel door de generator.

Een bijzonder geval van de serie hybride is de “range extender”: dit is in wezen een batterij-elektrisch voertuig voorzien van een kleine generatorgroep om indien nodig een grotere actieradius te bekomen. Dergelijke voertuigen zullen hun energie hoofdzakelijk uit het net betrekken en zijn dus ook interessant voor

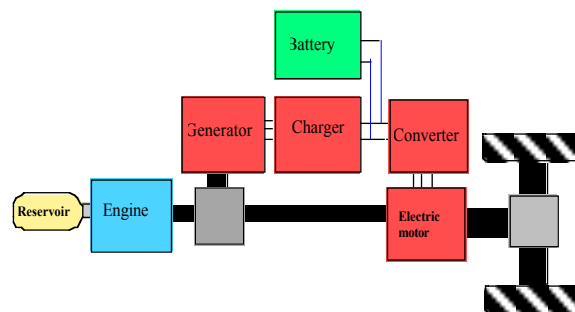
onderhavige studie “laadinfrastructuur”. Een voorbeeld van een commercieel verkrijgbaar voertuig van dit type is de “Renault Kangoo Elect’Road”.



Figuur 4: Parallel hybride

De parallel hybride (Figuur 4) is een combinatie van **aandrijfsystemen**. Zowel de elektrische motor als de verbrandingsmotor drijven de wielen aan; zij kunnen afzonderlijk of samen gebruikt worden.

Naast de zuiver serie of parallel hybriden zijn er tal van varianten mogelijk, zo kunnen er bijkomende energieopslageenheden (vliegwiel, condensator,...) voorzien worden. Er zijn ook gecombineerde hybriden; een voorbeeld hiervan is de Toyota Prius (Figuur 5). Hierbij worden de karakteristieken van zowel serie- als parallel hybride structuren geïntegreerd. Dit voertuig is echter niet ontworpen om zijn batterij vanaf het net op te laden, en valt dus buiten het bestek van de problematiek “laadinfrastructuur”.



Figuur 5: Gecombineerde hybride

Een ander type van elektrisch aangedreven voertuig is het voertuig met **brandstofcel**. Hier wordt elektriciteit op elektrochemische wijze opgewekt vanaf een brandstof; dit gebeurt met een energetisch rendement dat veel hoger is dan bij een thermodynamische energieopwekking via een verbrandingsmotor. De gebruikte brandstof is waterstofgas; de “uitlaatgassen” bestaan uit zuiver water. De waterstof kan hetzij aan boord worden opgeslagen (in samengeperste of vloeibare vorm), hetzij via een zogenaamde “reformer” bereid worden uit een vloeibare brandstof zoals methanol; in het laatste geval is er ook een CO₂ emissie.

2.3 Prestaties van elektrische voertuigen

Een elektrisch voertuig moet in staat zijn zijn zending te volbrengen. De gestelde eisen zijn veranderlijk naargelang het type voertuig en de inzet.

Typische karakteristieken van elektrische voertuigen die de huidige stand van de technologie weergeven (gebruik makend van de meest performante batterijen) zijn weergegeven in Tabel I.

	Personenwagen	Bestelwagen	Minibus	Stadsbus
autonomie [km]	120-200	100-150	140-200	150-300
max. snelheid [km/h]	100-120	80-100	80	70
max. helling [%]	30	20-25	15-20	12-15
acceleratie 0 tot 50km/h [s]	7-10	10-15	12-18	15-20

Tabel I: Prestaties van elektrische voertuigen

2.4 Batterijen

Batterijen slaan energie op elektrochemische wijze op en vormen een essentieel onderdeel van het elektrisch voertuig. De voornaamste parameters die moeten worden beschouwd zijn de energiedichtheid en de vermogendichtheid.

- De energiedichtheid, uitgedrukt in Watt-uur per kilogram (Wh/kg) geeft aan hoeveel energie de batterij bevat en is van belang voor de actieradius van het voertuig.
- De vermogendichtheid, uitgedrukt in Watt per kilogram (W/kg) geeft aan hoeveel vermogen de batterij kan leveren en is van belang voor de prestaties van het voertuig.

Tabel II geeft de voornaamste karakteristieken van batterijen voor elektrische voertuigen.

- De **lood-zuur** batterij is het best bekend. Bij onderhoudsvrije batterijen wordt het elektrolyt opgeslagen in een absorberend vlies of in een gel; dergelijke batterijen hebben geen watervulling nodig. De ontwikkeling van de loodbatterij gaat nog verder in de richting van bipolaire types. De batterijen zijn vrij goedkoop maar zwaar; een degelijk batterijbeheersysteem is noodzakelijk om een voldoende levensduur te bekomen.

- De **nikkel-cadmium** batterij wordt gebruikt voor de meeste voertuigen die thans op de Europese markt zijn. Vermogendichtheid en levensduur zijn zeer hoog. Er worden soms twijfels geuit rond het milieuprobleem dat dergelijke batterijen kunnen stellen; deze zijn echter ongegrond daar het (giftige) cadmium veilig zit ingesloten in de batterij en bovendien volledig gerecycleerd kan worden.

	Pb-PbO ₂	Ni-Cd	Ni-MH	Na-NiCl	Li-Ion
Temperatuur- bereik °C	0 - 45 (-20- 60)	0 - 50 (-40- 60)	-40 - 50	300 - 350 (250-370)	-40 - 60
Energiedichtheid (2 uur ontlading) Wh/kg	20 - 30	40 - 55	50 - 60	80 - 100	90 -140
Energiedichtheid per volume Wh/l	60 - 80	60 - 90	100 -150	110 - 120	150 - 200
Vermogen- dichtheid W/kg	75 - 100	120 - 150	140 – 200 500-1000 (voor hybriden)	150 - 200	350 - 400
Celspanning V	2,1	1,35	1,35	2,58	3,6
Levensduur (aantal cycli)	500	2000	1000	1000	1000

Tabel II: Batterijen voor elektrische voertuigen

- Bij de **nikkel-metaalhydride** batterij worden bijzondere legeringen gebruikt in plaats van cadmium; de eigenschappen van deze batterij zijn vergelijkbaar met de nikkel-cadmium batterij.
- De **natrium-nikkel-chloride** batterij¹ is een “warme” batterij, met een werkingstemperatuur van 270 °C. Zij is vooral aangewezen voor voertuigen die een dagelijks intensief gebruik kennen.
- De **lithium** batterij wordt beschouwd als dé batterij van de toekomst. Zij is thans beschikbaar als prototype; serieproductie wordt verwacht vanaf 2005.

¹ Deze batterij is vooral gekend onder de merknaam “ZEBRA”

2.5 Elektrische aandrijvingen

2.5.1 Motoren

Tabel III geeft een overzicht van verschillende types motoren voor elektrische voertuigen: asynchrone motor (ASM), permanent magneetmotor (PM), geschakelde reluctantie motor (SRM), gelijkstroommotor (DCM) en synchrone motor (SYM).

De keuze van een motor zal steeds moeten rekening houden met de toepassing en de gewenste rijcyclus.

Vele elektrische voertuigen zijn thans nog uitgerust met gelijkstroommotoren; deze hebben een ingewikkelde constructie en vergen onderhoud (borstels!), maar hun sturing is relatief eenvoudig. Wisselstroomaandrijvingen winnen echter veld; vooral de asynchrone motor en de permanent-magneetmotor² wordt meer en meer toegepast.

	ASM	PM	SRM	DCM	SYM
Gewicht en volume	0	+	0	-	0
Hoge snelheid	+	+	+	-	-
Stevigheid – onderhoud	+	0	+	-	-
Rendement	0	+	0	-	0
Gewicht en volume sturing	0	0	0	+	0
Flexibiliteit van de sturing	+	+	-	+	0
Aantal vermogen componenten	0	0	+	+	0
Betrouwbaarheid	0	0	0	0	0
TOTAAL	+++	++++	++	--	--

Tabel III: Vergelijking van types tractiemotoren

² Deze machine staat ook wel bekend als “brushless DC”, alhoewel het feitelijk om een wisselstroommotor gaat.

2.5.2 Sturingen

De ontwikkelingen op het vlak van de vermogenselektronica laten performante en efficiënte sturingen van de elektrische motoren toe. De gebruikte componenten zijn heden ten dage vooral de IGBT³. Voor lage spanningen (<100V) en zeer hoge frequenties (zoals bij batterijladers) worden Mosfets⁴ toegepast.

De elektronica aan boord van een elektrisch voertuig heeft als taak de stroom van de motor naar de batterij te regelen in beide richtingen: voor tractie (ontlading van de batterij) en voor regeneratieve remming (lading van de batterij).

Voor gelijkstroommachines worden “hakkers” gebruikt, voor wisselstroommachines “wisselrichters”.

De vermogenselektronica vindt eveneens haar toepassing in de batterijladers (zie §3.1) en in de “DC/DC converter”; dit laatste toestel zet de spanning van de tractiebatterij om in laagspanning (12 V) voor hulptoestellen, verlichting en dergelijke.

³ “Insulated Gate Bipolar Transistor”

⁴ “Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor”

2.6 De potentiële markt

Voorspellingen van het potentieel aantal elektrische voertuigen werden zowel voor de EU-commissie, het Europees Parlement als voor Californië verricht. Hierbij werd uitgegaan van het reëel gebruik van de voertuigen.

Het is immers zo dat de meeste ritten met personenwagens betrekking hebben op korte afstanden: 98 % van de ritten is korter dan 50 km! Voor de Brusselse agglomeratie bijvoorbeeld ligt de gemiddelde ritlengte rond de 10 km. Ook bestelwagens voldoen aan deze cijfers.

De meeste wagens zouden dan ook zonder meer vervangen kunnen worden door elektrische wagens.

Men moet echter rekening houden met het feit dat een gezinswagen, die in de week gebruikt wordt om te pendelen over korte afstanden, in het weekend dikwijls voor langere ritten gebruikt wordt (naar zee bijvoorbeeld). Het gebruikspatroon van een privé-voertuig is eigenlijk niet te voorspellen; een goede benadering gaat er van uit dat een tweede gezinswagen veelal slechts voor kortere ritten (pendelen, boodschappen, vervoer van kinderen,...) gebruikt wordt. Het is redelijk te veronderstellen dat elke tweede gezinswagen een elektrische wagen zou kunnen zijn.

Het aantal tweede wagens in West-Europa bedraagt ongeveer 30 % van het wagenpark; de potentiële penetratie voor elektrische voertuigen kan dan ook op 10 à 30 % van het totale wagenpark worden geschat. In België betekent dit laatste cijfer ongeveer 1.200.000 wagens. Deze cijfers gelden voor het hele land. In stedelijke agglomeraties, waar een CITELEC⁵-studie een potentiële penetratiegraad van 80 % in gemeentelijke vloten aantoonde, zal de feitelijke penetratie nog hoger liggen.

Maar dit is slechts het potentieel in het geval van substitutie. Vanuit het gezichtspunt van een geïntegreerd transportsysteem bieden elektrische voertuigen veel meer mogelijkheden, zoals bijvoorbeeld als aanvulling op het openbaar vervoer. Indien ze gebruikt worden in een automatisch uitleensysteem. Verder zal de elektrische tractie de volledige voertuigenmarkt kunnen bezetten onder enerzijds de zuiver elektrische vorm en anderzijds de hybride vorm (combinatie van elektrische en thermische energie). In september 2000 werd de hybride Toyota Prius gelanceerd op de Europese markten; de hybride Renault Kangoo Elect'Road (met "range extender") werd eind 2001 geïntroduceerd.

Op langere termijn, d.w.z 5 tot 10 jaar, zullen de brandstofcel voertuigen op de markt komen. Deze brandstofcel maakt gebruik van zuurstof en waterstof om elektriciteit en water te produceren, dus zonder schadelijke emissies.

⁵ CITELEC is een Europese vereniging van steden die belangstelling hebben voor het gebruik van elektrische voertuigen.

2.7 Energiebesparing door elektrische voertuigen

We beschouwen hier de invloed op de energiebalans van de introductie van drie types voertuigen, die potentiële elektrische voertuigen zijn de wagenparken van gemeenten en steden.

Het hogere rendement van de elektrische aandrijfketen ten opzichte van de verbrandingsmotor zal zich uiten in een lager energieverbruik.

Het is belangrijk op te merken dat er een aantal factoren bestaan die een invloed uitoefenen op het energieverbruik. De belangrijkste zijn onder andere het rijgedrag (defensief, sportief), de motorafstelling, de voertuigtechnologische kenmerken (benzinevoertuigen, dieselveertuigen,...), de infrastructuurmaatregelen (verkeersdrempels, zone 30,...) en de accessoires (koffer op dak, airconditioning,...). Bovendien varieert het energetisch verbruik van nutsvoertuigen sterk in functie van de getransporteerde lading. Daarom is het moeilijk om een eenduidige waarde te kleven op het energieverbruik van een voertuig in functie van de brandstof.

Tabel IV geeft een vergelijking van het energieverbruik van verschillende aandrijvingen voor een bestelwagens; in de drie regels worden telkens achtereenvolgens het verbruik van het voertuig (aan de pomp of aan het stopcontact) en het primair energieverbruik resp in MJ/km en kWh/km weergegeven. Het primair energieverbruik houdt rekening met de rendementen van elektriciteitsproductie en oliewinning en -raffinage.

Energieverbruik	Brandstof						Aandrijving	
	Benzine	Diesel	LPG	Aardgas	Bio-diesel	Ethanol	EV (Belgische Mix)	EV (Groene Stroom – Hernieuwb.)
Kleine bestelwagens (bv. Peugeot Partner)	9,7 L/100km	8,6 L/100km	12,3 L/100km	9 m ³ /100km	9,3 L/100km	13,4 L/100km	28 kWh/100km	28 kWh/100km
	3.26 MJ/km	3.2 MJ/km	3.1 MJ/km	3.5 MJ/km	3.1 MJ/km	2.8 MJ/km	3 MJ/km	1 MJ/km
	0.9 kWh/km	0.9 kWh/km	0.86 kWh/km	0.98 kWh/km	0.86 kWh/km	0.77 kWh/km	0.83 kWh/km	0.3 kWh/km
grote bestelwagens (bv. Opel Movano)	10 L/100km	9,1 L/100km	10,7 L/100km	9,3 m ³ /100km	9,6 L/100km	13,4 L/100km	45 kWh/100km	45 kWh/100km
	3.4 MJ/km	3.3 MJ/km	2.7 MJ/km	3,6 MJ/km	3.2 MJ/km	2.8 MJ/km	4.8 MJ/km	1.65 MJ/km
	0.95 kWh/km	0.9 kWh/km	0.75 kWh/km	1,0 kWh/km	0.88 kWh/km	0.78 kWh/km	1.34 kWh/km	0.46 kWh/km

Tabel IV: Energieverbruik van verschillende aandrijvingen [vii].

Een elektrische motor heeft een veel hoger rendement (80 a 90%) dan zijn thermische tegenhangers (15 a 40%) en verbruikt bijgevolg veel minder energie, zelfs indien men de energiekost voor productie van elektriciteit in rekening brengt [viii]. Elektrische voertuigen kunnen tot 75% minder directe en indirecte energie verbruiken dan benzinevoertuigen, in functie van de manier waarop de elektriciteit wordt geproduceerd.

2.8 Milieuvoordeel van elektrische voertuigen

2.8.1 Evaluatie van de milieu impact

In het kader van het project "Schone Voertuigen" uitgevoerd door VUB en ULB in opdracht van het BIM [vii] werd een methodologie ontwikkeld voor de evaluatie van de impact op het milieu, die naam "Ecoscore" kreeg.

Bij de evaluatie van de impact die voertuigen hebben op het milieu werd rekening gehouden met het lawaai en de directe en indirecte emissies teweeggebracht door de voertuigen. De directe emissies ("Tank-to-Wheel") komen vrij tijdens het gebruik van het voertuig, terwijl de indirecte emissies ("Well-to-Tank") slaan op de uitstoot bij de ontginning, het transport en de productie van de brandstof of de elektriciteit.

In het kader van de Ecoscore gebeurt de milieuevaluatie in 5 stappen, nl. de inventaris, de classificatie, het kenmerken, de normalisering en de gewichtstoekenning. Deze zijn uitgebreid beschreven in het technisch verslag van WP1, onderdeel van het project "Schone voertuigen".

2.8.1.1 Stap 1: Inventaris van de uitstoot.

Alle wagens die nu op de markt komen, dienen aan de EURO III-norm te voldoen. De CO-, PM-, NOx- en KWS-uitstoot wordt gereguleerd door de EURO-richtlijnen, in tegenstelling tot de CO₂- en SO₂-uitstoot, die niet gereguleerd zijn. Echter, wat betreft de uitstoot van CO₂ heeft de Europese Commissie een richtlijn ingevoerd (1999/94/CE) ter verbetering van de informatie aan de klant aangaande de uitstoot en het verbruik van nieuwe wagens.

Om de impact te kennen van emissies op mens en milieu moet men beschikken over de uitstootniveau's van de verschillende chemische elementen waaruit Vluchtige Organische Stoffen (VOS) bestaan. Daarom gaat men eerst de totale VOS opsplitsen in methaan en niet-methaan fracties om daarna de niet-methaan VOS op te splitsen naargelang de invloed die de componenten hebben op het milieu.

De indirecte emissies kunnen berekend worden in functie van de energie-inhoud van de verbruikte brandstof (in kWh).

De totale uitstoot wordt bekomen door de directe en de indirecte emissies bij elkaar op te tellen, rekening houdend met het feit dat emissies uitgestoten vlak bij de Brusselse bevolking een veel grotere invloed hebben op de gezondheid dan emissies uitgestoten ver van de bevolking.

Net zoals bij de gereguleerde emissies, worden de resultaten afkomstig uit homologatietests gebruikt om het lawaainiveau van voertuigen te karakteriseren.

2.8.1.2 Stap 2: Classificatie van de pollutanten.

In de Ecoscore methodologie onderscheidt men 5 schadecategorieën, nl. de impact op de gezondheid, het broeikas-effect, de schade toegebracht aan de ecosystemen, de schade aan de gebouwen en de geluidshinder. De categorie "impact op de

gezondheid" wordt nogmaals opgesplitst in kankerverwekkende effecten op de mens, ademhalingsstoornissen veroorzaakt door organische substanties en ademhalingsstoornissen veroorzaakt door anorganische substanties. Verder wordt de categorie "schade aan ecosystemen" opgesplitst in ecotoxiciteit en verzuring en eutrofiëring.

2.8.1.3 Stap 3: Het kenmerken van de schade.

De schade wordt berekend in functie van het emissieniveau en van de geluidproductie. Deze berekening gebeurt door het vermenigvuldigen van het reeds bepaalde emissieniveau (uitgedrukt in g/km of g/kWh) met een schadefactor.

2.8.1.4 Stap 4: Normalisering van de schade.

Om de verschillende soorten schade onderling te kunnen vergelijken, moeten ze eerst worden genormaliseerd. Door de schade te vergelijken met een referentiesituatie kan men bijgevolg concluderen welke de belangrijkste effecten zijn. Voor iedere voertuigcategorie (personenwagens, bestelwagens, vrachtwagens, bussen en tweewielers) wordt een referentievoertuig bepaald.

Gereguleerde emissies:

Voor personenvoertuigen, waar normen bestaan voor diesel- en benzine wagens, werd steeds de strengste EURO IV norm als referentie genomen. Voor bestelwagens werden de Euro IV-normen voor middelgrote dieselbestelwagens (1305 à 1760 kg) als referentie genomen. Voor vrachtwagens werd besloten om te werken met wettelijke EURO IV normen uitgedrukt in g/kWh en om de Ecoscore methodologie aan te passen zodanig dat er kan gewerkt worden met gegevens uitgedrukt in g/kWh en in g/km. Voor tweewielers, met om het even welk type motor, stemmen de referentiewaarden overeen met de waarden voorgesteld door de Europese Commissie voor 2003/2004.

Niet-Gereguleerde emissies:

Voor personenwagens is er een vrijwillige overeenkomst tussen de EU en ACEA om de CO₂ emissies te doen dalen van 186g/km in 1995 tot 140g/km in 2008. Tevens zal ACEA vanaf 2000 vrijwillig wagens op de markt brengen met een CO₂-uitstoot van 120g/km. Deze 120g/km stemt overeen met de doelstelling van de Europese Unie om de uitstoot van nieuwe wagens tegen 2012 tot 120g/km te beperken. Dit komt overeen met een verbruik van 5 L/100km voor benzine auto's en 4,6L/100km voor dieselvoertuigen. Voor de andere voertuigcategorieën bestaan geen dergelijke overeenkomsten, maar in het kader van deze studie stelt men de referentiewaarde voor bestelwagens op 210 g/km, voor bussen en vrachtwagens op 840 g/km en voor tweewielers op 95 g/km CO₂.

De totale referentie-emissie wordt gevonden door de directe en de indirecte emissies van het referentievoertuig op te tellen.

Niet alleen voor de emissies maar ook voor het lawaai wordt per voertuigcategorie een referentiewaarde bepaald.

2.8.1.5 Stap 5: Gewichtstoekenning

In deze laatste stap gaat men aan alle soorten schade een gewicht toekennen waarna men de schadesoorten optelt om de uiteindelijke milieuscore te bekomen. De gewichten worden niet alleen bepaald op wetenschappelijke basis, maar ze hangen ook af van politieke voorkeuren van de beslissingnemers. Daarom werden ze hier vastgelegd door het begeleidingscomité van het project "Schone voertuigen".

In deze studie werd een belangrijk gewicht toegekend aan de gezondheidseffecten, die 50% van het totale gewicht voor hun rekening nemen. Deze 50% werd opgesplitst in 20% voor de kankerverwekkende effecten, 15% voor de ademhalingsstoornissen veroorzaakt door organische substanties en 15% voor ademhalingsstoornissen veroorzaakt door anorganische substanties.

Op de tweede plaats vindt men het broeikas-effect dat 25% toegewezen kreeg van het totale gewicht. De overige 25% werden opgesplitst in 10% voor de impact op de ecosystemen, 10% voor de geluidshinder en 5% voor de schade aan de gebouwen.

2.8.1.6 Definitie van schone voertuigen

Op basis van de Ecoscore-methodologie kunnen verschillende definities weerhouden worden.

De definitie die hier in eerste instantie weerhouden wordt is de volgende:

"Een schoon voertuig is elk voertuig dat een milieuscore heeft, die kleiner of gelijk is aan de referentiewaarde 100 van een referentievoertuig specifiek gekozen per voertuigcategorie (personenwagens, bestelwagens, vrachtwagens, bussen en tweewielers). Het referentievoertuig is een fictief voertuig waarvan de emissies op significante wijze lager liggen dan de emissies van de huidige voertuigen, maar die ondanks alles bereikbaar zijn als men gebruik maakt van de technologieën die nu of in de toekomst op de markt beschikbaar zijn."

2.8.2 Geval van het elektrisch voertuig

De grote aantrekkelijkheid van *elektrische voertuigen* is dat zij zelf geen uitlaatgassen emitteren.

De invoering van elektrisch aangedreven voertuigen leidt tot een aanzienlijke vermindering van de emissies van schadelijke stoffen in de atmosfeer. Rekening houdend met de indirecte emissies (elektriciteitscentrales) bekomt men de emissiewaarden van Tabel V (deze cijfers gelden voor een personenwagen of kleine bestelwagen en houden rekening met de elektriciteitsproductie op het Belgische koppelnet).

Indien de elektriciteit die deze voertuigen verbruiken, zou worden opgewekt met hernieuwbare energiebronnen zoals wind-, zonne-energie of waterkrachtcentrales, dan zou het voertuig in het geheel praktisch niets emitteren. De manier waarop de elektriciteit wordt opgewekt, t.t.z. de samenstelling van het elektriciteitsproductiepark, is bepalend voor de emissies geassocieerd aan deze voertuigen. Vanaf 2003 echter zal de gehele Europese elektriciteitsmarkt geliberaliseerd zijn, zodat gebruikers zelf kunnen kiezen waar ze hun energie aankopen. Milieubewuste gebruikers kunnen dan bijvoorbeeld windstroom halen uit Denemarken, hydrostroom uit Zwitserland, enz... Op die

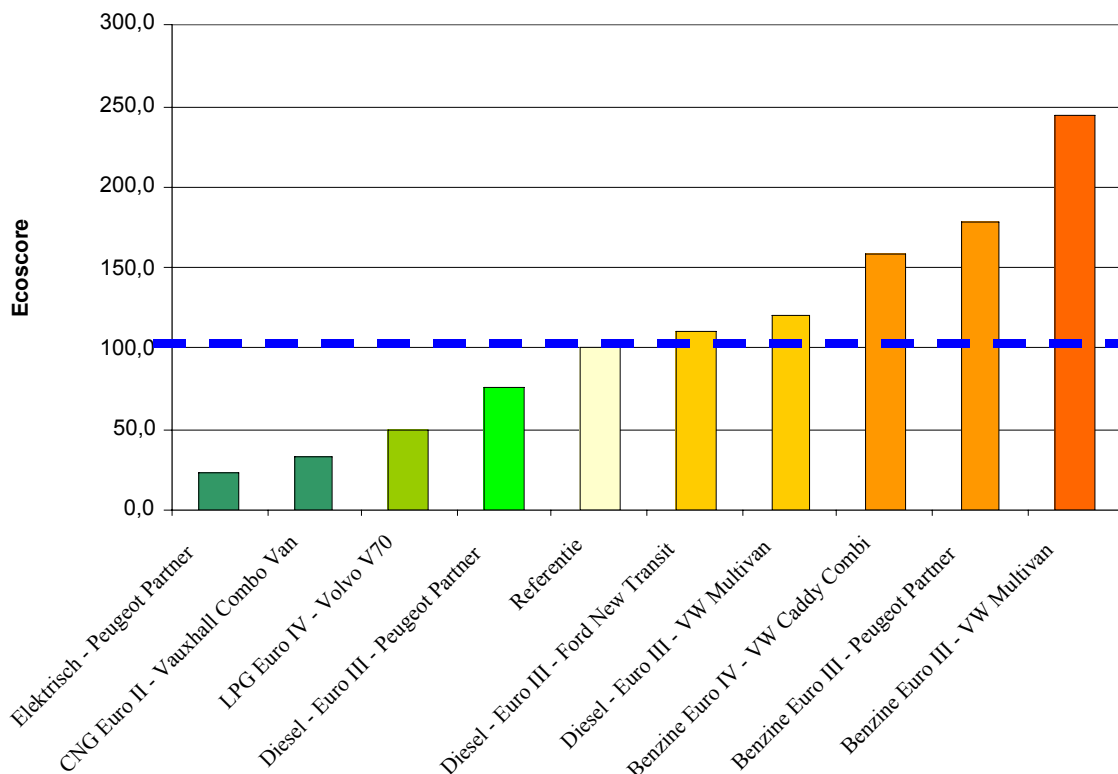
manier kunnen EV volledig emissieloos rijden aangezien de gebruikte elektriciteit opgewekt werd door middel van niet-vervuilende technologieën.

	Brandstof				Aandrijving	
	Benzine	Diesel	LPG (oorspronkelijke installatie)	Aardgas	EV (Belgische Mix)	EV (Groene Stroom – Hernieuwbaar)
CO2	100%	75%	75%	70%	30%	0%
CO	100%	20%	40%	35%	1%	0%
NMVOS	100%	40%	25%	40%	1%	0%
NOx	100%	280%	80%	50%	80%	0%
PM	100%	670%	20%	12%	125%	0%

Tabel V: Relatieve emissiewaarden van schadelijke stoffen in de atmosfeer [viii]

Men merkt dat voor alle schadelijke stoffen de emissiewaarden gevoelig lager liggen; voor koolstofdioxide worden ze meer dan gehalveerd. Enkel voor stofdeeltjes liggen de waarden nog enigszins hoger dan benzinevoertuigen (maar 5x lager dan voor diesellootvoertuigen!); dit is te wijten aan de oude steenkoolcentrales, en het is te verwachten dat deze waarde gevoelig zal dalen door de overgang op aardgas en door de verbeteringen aan de centrales. Het globale milieu-effect is zonder meer positief, zoals blijkt uit de “Ecoscore” waarden (Figuur 6).

Het elektrische voertuig scoort hier het best van al, met een ecoscore van 25.



Figuur 6: "Ecoscore" [vii]

Ook ten opzichte van aardgasvoertuigen bekomt men een ontegensprekelijk milieuvoordeel voor elektrische voertuigen, maar deze verdeelt zich op een andere wijze over de verschillende pollutanten.

De lage vervuilingsgraad van de elektriciteitsproductie is het gevolg van het feit dat een elektriciteitscentrale afgesteld is op zijn optimaal rendement (55% voor STEG-centrales) en dat de veroorzaakte emissies bij de (buiten de steden gelegen) centrales beter kunnen worden gecontroleerd dan bij individuele voertuigen.

Eén schoorsteen is eenvoudiger te zuiveren dan 100.000 uitlaatpijpen!

Men moet er bovendien rekening mee houden dat de ritten in de stad meestal kort zijn. Daardoor draaien verbrandingsmotoren meestal koud, waardoor de emissies veel hoger liggen en het rendement drastisch daalt. Katalysators werken slechts naar behoren na enkele kilometers.

Het 'domme' aan klassieke wagens is dat de motor moet blijven draaien als de wagen stilstaat. Dit is niet het geval bij elektrische wagens. In files of voor stoplichten is er bij dit type voertuigen geen vervuiling en zelfs geen energieverbruik.

Bovendien laat de elektrische wagen toe tijdens het afremmen energie terug te winnen en op te laden. Dit is de zogenaamde recuperatieremming, die toelaat een energiebesparing van meer dan 10 % bij personenwagens te verwezenlijken.

Tot slot veroorzaken elektrische voertuigen een aanzienlijk lagere lawaai-belasting dan voertuigen met verbrandingsmotor. Rekening houdend met de grote geluidshinder in stedelijke gebieden is dit een bijkomend waardevol argument.

2.9 Financiële aspecten

Het is interessant de kostprijs van de verschillende aandrijvingen te vergelijken. Tabel VI geeft de aankoopprijs van een typische kleine bestelwagen

Benzine	€ 10.590
Diesel	€ 11.650
LPG	€ 12.700
Aardgas	€ 14.590
Biodiesel	€ 11.650
Ethanol	€ 10.590
EV	€ 13.770
Hybride (Renault Kangoo)	€ 20.000

Tabel VI: Kostprijs van een kleine bestelwagen (500 kg), bv. Peugeot Partner [viii]

Elektrische voertuigen behoren tot de duurste categorie voertuigen qua aankoop, alhoewel ze wel te verstaan de milieuvriendelijkste zijn. Bij het beschouwen van de totale kostprijs per kilometer wordt het verschil echter kleiner door het lage verbruik.

Het grootste obstakel qua kosten bij elektrische voertuigen bestaat uit de kost van de batterij. Aangezien zij om de paar jaar moet worden vervangen, kan dit een meerkost van enkele duizenden euro's betekenen voor voertuigen van

middelmatige grootte. Het risico dat dit met zich meebrengt voor de eindgebruiker kan echter wel gereduceerd worden door een batterij te leasen. Deze optie wordt door de constructeurs aangeboden; zij heeft als bijkomend voordeel dat het onderhoud van de batterij wordt gewaarborgd. Bovendien kan ze aan het eind van haar levensduur worden gerecycleerd zonder dat dit voor de gebruiker een extra kostprijs met zich meebrengt.

Men verwacht dat de kostprijs van batterijen in de toekomst zal dalen, wegens een massaproductie ervan en technische ontwikkelingen.

Vergeleken met de prijs van alle andere brandstoffen is het duidelijk dat elektriciteit het goedkoopst is. Voor kleine bestelwagens bedraagt de brandstofkost ongeveer € 2.24 /100km.

Benzine	Diesel	LPG	CNG	Biodiesel	EV
4.8	3	1.8	2.8	2.5 à 6	1

Tabel VII : de verhoudingen van de brandstofkosten per 100 km voor alle types brandstoffen van elektrische voertuigen (gegevens voor kleine bestelwagens)

Tabel VII geeft de verhoudingen weer van de brandstofkosten per 100 km voor alle types voertuig ten opzichte van elektrische voertuigen.

Hieruit blijkt dat elektriciteit de kleinste brandstofkost heeft per 100 km. De grootste brandstofkost behoort toe aan benzine-voertuigen.

Rekening houdend met alle andere kosten, komen we tot de kostprijs per kilometer van Tabel VIII.

	5.000 km/jaar	Kost per km	10.000 km/jaar	Kost per km	15.000 km/jaar	Kost per km
Benzine	3.000	0,6	3.750	0,38	4.500	0,3
Diesel	3.000	0,6	3.500	0,35	4.000	0,27
LPG	3.000	0,6	3.500	0,35	3.900	0,26
Aardgas	3.500	0,7	4.000	0,4	4.500	0,3
Biodiesel	3.100	0,62	3.700	0,37	4.400	0,29
Ethanol	3.200	0,64	4.000	0,4	5.000	0,33
EV	4.000	0,8	4.000	0,4	4.200	0,28

Tabel VIII: Gemiddelde jaarlijkse globale kost en kost per km (in Euro) voor een gebruiksduur van 7 jaar, voor een kleine bestelwagen⁶. [vii]

Voor kleine bestelwagens geldt dat elektriciteit een even rendabel alternatief is als diesel, voor zover de jaarlijks afgelegde afstand meer dan 10.000 km bedraagt.

⁶ inclusief: de aankoopprijs, de belastingen (enkel de inschrijvingstaks; lokale overheden betalen geen verkeersbelasting of belasting op de inverkeersstelling) de verzekering, de brandstof, het onderhoud en de technische controle

2.10 Het elektrisch voertuig ten overstaan van andere alternatieven

Deze gegevens zijn het resultaat van de studie “Schone Voertuigen”, uitgevoerd door ETEC-VUB en CEESE-ULB in opdracht van het B.I.M. [vii], [viii]

Deze studie werd uitgevoerd in het kader van het beleid van het Brussels Hoofdstedelijk Gewest in deze materie, en meer bepaald van de beslissing om 20% van het wagenpark uit te rusten met “schone voertuigen”. Het is hierbij vanzelfsprekend noodzakelijk om het begrip “schone voertuigen” te definiëren.

Tabel IX geeft een overzicht van de een aantal relevante kenmerken, telkens gerelateerd naar de “kleine bestelwagen”⁷ als typevoertuig. Zij worden allen vergeleken met benzine-voertuigen.

Vanuit milieustandpunt vormen elektrische voertuigen ongetwijfeld de beste op heden beschikbare optie zoals aangetoond door de Ecoscore [vii]. Aardgasvoertuigen, gevolgd door LPG-voertuigen zijn eveneens goede alternatieve oplossingen die voldoen aan de definitie van schone voertuigen, zelf al vertonen zij een minder gunstige milieubalans. De Ecoscore [vii] van elektrische voertuigen (25) ligt zowat 25% lager dan deze van aardgasvoertuigen (33) en is ongeveer 2 maal milieuvriendelijker dan LPG-voertuigen (50).

Kenmerk	Benzine	Diesel	LPG	Aardgas	Biodiesel	Alcoholen	Elektrisch Voertuig	Hybride EV
Emissies								
CO2	☹	☺	☺	☺	☺☺☺	☹☹	☺	☺☺☺☺
CO	☹	☺☺☺	☺☺	☺☺☺	☺☺	☹	☺☺☺☺☺	☺☺☺☺
NMKWS	☹	☺☺	☺☺	☺			☺☺☺☺☺	☺☺☺☺
NOx	☹	☹☹☹	☺	☺	☹☹☹	☺	☺	☺☺☺☺
PM	☹	☹☹☹☹	☺☺☺	☺☺☺	☹☹☹☹		☺☺☺☺☺	☺☺☺☺
Energieverbruik:	☹	☹	☹	☺	☹	☺	☺☺☺	☺☺
Autonomie	☹	☺	☹	☹	☺	☹	☹☹☹	☺☺☺
Tanktijd/oplaadtijd	☹	☹	☹	☹	NV	NV	☹	☹
Veiligheid	☹	☹	☹	☹	☺	☹	☺☺	☹
Aanwezige infrastructuur	☹	☹	☹	☹	☹	☹	☹	☹
Aankoopkost	☹	☹	☹	☹☹	☹	☹	☹☹	☹☹☹
Brandstofprijs	☹	☺	☺☺	☺☺☺	☹	☹	☺☺☺	☹

Legende:

- NV: Niet Verkrijgbaar in België.
- ☺ **Gunstig**
- ☹ **Referentie - normaal**
- ☹ **Ongunstig**

Tabel IX: Vergelijking van voertuigtypes

Voor de lichte bestelwagens (type Peugeot Partner) blijkt LPG een even rendabel alternatief te zijn als dieselveertuigen vanaf een jaarlijks afgelegde afstand van 10.000 km. Voor een intenser gebruik (15.000 km) is het elektrisch alternatief eveneens interessant voor deze subcategorie die sterk vertegenwoordigd wordt in

⁷ Dit is één van de meestgebruikte voertuigen in de wagenparken van gemeenten, administraties, enz.

het Brussels park, voornamelijk op het niveau van gemeentelijke administraties. Elektrische voertuigen vertonen slechts een kleine meerkost vanaf 10.000 km/jaar.

Deze economische overwegingen moeten desondanks gerelativeerd worden gezien de belangrijke reductie van de externe milieukosten⁸ die nieuwe technologieën teweegbrengen en die de meerkost compenseren.

Benzine voertuigen hebben vooral een ongunstig effect door hun bijdrage tot kankerverwekkende stoffen. Diesellootuigen scoren vooral slecht op het gebied van hun impact op gebouwen en ademhalingsstoornissen veroorzaakt door niet-organische stoffen. In vergelijking met aardgas en elektrische voertuigen hebben ze echter een gunstige kostprijs per kilometer.

Klasse	Heden	Binnen 5 jaar	Binnen 10-20 jaar	Toepassing
PV	EV	EV	EV	Korte afstanden - stedelijk gebruik -2 ^e gezinswagen
	CHEV (Prius)	CHEV	FCEV	Gezinswagen - alle gebruik
	LPG/CNG	PHEV	FCEV	Grote gezinswagen – vooral snelwegen
LDV	EV/SHEV	EV/SHEV	EV/SHEV	Stedelijk gebruik – korte afstanden
	LPG/CNG	CNG	FCEV	Langere afstanden
HDV	SHEV (diesel-elekt)	SHEV (diesel-elekt)	FCEV	Stedelijk gebruik – korte afstanden
	CNG SHEV (aardgas- elektriciteit)	CNG SHEV (aardgas-elektriciteit)	FCEV	Interstedelijk gebruik
	Diesel + CRT-filter	Diesel + CRT-filter		Alle gebruik
2W	EV	EV	EV	Stedelijk gebruik – korte afstanden
	LPG	LPG	FCEV	Lange afstanden

Tabel X: Indicatief potentieel marktsegment

De keuze voor een bepaalde brandstof of aandrijving zal niet enkel functie zijn van prijs en milieu-impact, maar eveneens van de toepassing waarvoor het voertuig gebruikt dient te worden. Tabel X geeft een indicatie van het potentiële marktsegment van de verschillende voertuigen.

⁸ De externe milieukosten omvatten de schade aan de volksgezondheid, de gebouwen en de leefomgeving die door de uitlaatgassen worden veroorzaakt.

3 Wpa1: ANALYSE VAN REEDS BESTAANDE OPENBARE LAADSYSTEMEN

3.1 Batterijladers

3.1.1 Algemeenheden

Elektrische voertuigen⁹ zijn voor hun energievoorziening afhankelijk van een toegang tot het elektrisch distributienet, zodat de tractiebatterij kan worden opgeladen.

Bij het proces van batterijlading moet de wisselstroom van het distributienet omgevormd worden in een gelijkstroom van gepaste amplitude en onder de gepaste spanning voor de batterij. Dit gebeurt in een toestel dat batterijlader wordt genoemd.

De karakteristieken van de batterijladers worden vooral bepaald door de structuur van de omzetter, de controlestrategie en het optimaal ontwerp van de componenten. Er zijn verscheidene topologieën bekend, die elk hun voor- en nadelen hebben voor wat betreft rendement, vermogendichtheid, arbeidsfactor, harmonische distortie, elektromagnetische storingen en operationele karakteristieken.

De traditionele batterijladers omvatten een 50 Hz transformator en een gelijkrichter die al dan niet gestuurd kan zijn. Zij zijn goed geschikt voor klassieke laadtechnieken, hun nadelen zijn echter het grote gewicht van de 50 Hz transformator, het lage rendement en de slechte arbeidsfactor bij de eindlading, en de harmonische storingen die kunnen optreden bij gestuurde gelijkrichters. Bovendien zijn de gelijkrichters erg gevoelig voor variaties in de netspanning. Hoogfrequente technieken maken het mogelijk de afmetingen en het gewicht van de laders gevoelig te verminderen, hetgeen vooral interessant is voor toestellen die aan boord van een voertuig worden geplaatst. Men gebruikt hier pulsbreedtemodulatie en resonante omvormers; de keuze van de technologie hangt af van het rendement, de arbeidsfactor en de harmonische niveaus.

3.1.2 Locatie van batterijladers

De batterijlader kan op verschillende locaties worden ondergebracht:

3.1.2.1 Boordlader (on-board charger)

Hier bevindt de lader zich aan boord van het voertuig. De aansluiting van het voertuig gebeurt rechtstreeks op het wisselspanningsnet. Vrijwel alle kleine en middelgrote elektrische voertuigen zijn thans uitgerust met boordladers, die een soepel gebruik van het voertuig mogelijk maken gezien in principe bij elk geschikt stopcontact kan geladen worden. De ontwikkelingen van de

⁹ In het kader van deze tekst worden met het begrip “elektrische voertuigen” de batterij-elektrische voertuigen bedoeld. Al ditgene is vanzelfsprekend ook van toepassing op de hybride voertuigen die hun energie mede uit het elektriciteitsnet betrekken (“battery-depleting hybrid” of voertuigen met “range extender”).

vermogenselektronica hebben het mogelijk gemaakt deze toestellen licht en compact uit te voeren.

3.1.2.2 Stationaire lader (off-board charger)

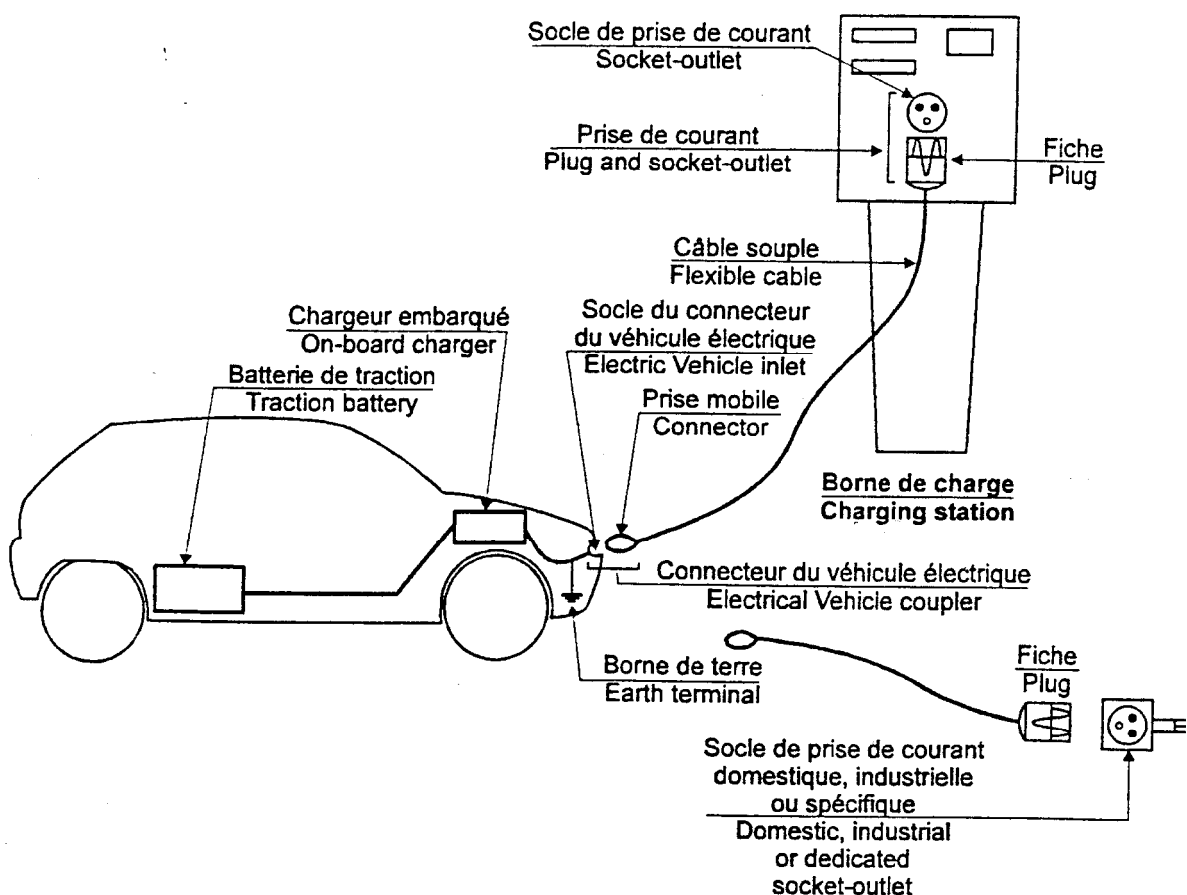
Hier bevindt de lader zich op de vaste grond; de aansluiting van het voertuig op de lader is dus een gelijkstroomaansluiting. De stationaire laders worden vooral gebruikt voor industriële voertuigen (bv. vorkheftrucks), alsmede voor zware voertuigen (bv. autobussen). Dergelijke voertuigen keren immers over het algemeen steeds naar een zelfde standplaats terug.

3.1.2.3 “Gedeeltelijke” boordlader (partially on-board charger)

Met deze benaming worden toestellen aangeduid waarbij het actieve gedeelte van de batterijlader zich gedeeltelijk op de grond en gedeeltelijk aan boord van het voertuig bevindt. Dit zijn met name de inductieve laders (zie infra 3.2.4). Bij deze toestellen is er geen geleidende verbinding tussen het voertuig en het laadstation en kan worden afgezien van het gebruik van kabels en stekkers.

3.1.3 Karakteristieken van de aansluiting

De aansluiting van het voertuig aan het laadstation met behulp van een kabel kan op de volgende manieren gebeuren:



Figuur 7: Aansluiting van het elektrisch voertuig, met terminologie volgens IEC 61851-1

- Aansluiting case A: verbinding van het elektrisch voertuig met het net waarbij de kabel en de stekker permanent met het voertuig zijn verbonden.
- Aansluiting case B: verbinding van het elektrisch voertuig met het net waarbij een losse flexibele kabel wordt gebruikt. Dit is het systeem geïllustreerd in Figuur 7. Thans het meest gebruikte systeem.
- Aansluiting case C: verbinding van het elektrisch voertuig met het net waarbij de voedingskabel vast met de laadpaal is verbonden. Dergelijke systemen worden vooral gebruikt bij snellading, gezien de gebezigde kabels daar veel zwaarder zijn.

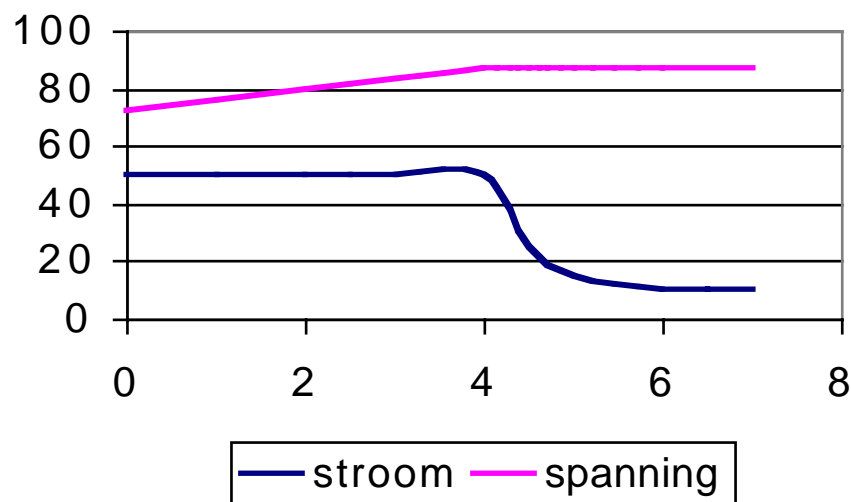
3.1.4 Laadkarakteristieken

De laadkarakteristieken omvatten het verloop van de stroom en de spanning gedurende de lading. Naargelang de vereisten van de batterij en de topologie van de lader zijn er verscheidene varianten mogelijk. De optimale karakteristiek moet worden gekozen om het rendement en de levensduur van de batterij te optimaliseren.

De laadkarakteristieken worden conventioneel [ix] met letters aangeduid:

- Lading aan constante stroom: symbool I
- Lading aan constante spanning: symbool U
- Lading met tapse karakteristiek: symbool W . Hierbij zal de waarde van de stroom afnemen naarmate de spanning toeneemt.
- Automatische beëindiging van de lading: symbool a
- Discontinuïteit in IU karakteristiek: symbool o
- Andere laadkarakteristiek: symbool S
- Gecombineerde laadkarakteristiek: resulteert uit de opeenvolgende combinatie van twee of meer laadmethoden: IU , $WoWa$, $IUIa$ en andere.

IU laadkarakteristiek



Figuur 8: IU laadkarakteristiek. Eerste fase: constante stroom (50 A), gevolgd door een fase met constante spanning (87 V)

De gecombineerde laadkarakteristiek (bv. IU karakteristiek in figuur 2) komt het meest voor: zij bestaat meestal uit een eerste fase, hoofdlading genaamd, en een tweede fase, eindlading genaamd.

Tijdens de hoofdlading wordt het grootste gedeelte van de energie aan de batterij geleverd. De laadstroom wordt hierbij meestal constant gehouden (I karakteristiek) en kan zeer hoog zijn (bij snellading).

De eindlading finaliseert het laadproces met een kleine stroom. Zij heeft eveneens tot taak het elektrochemisch evenwicht in de batterij te herstellen.

Bepaalde batterijtypes (bv. loodbatterij met vloeibaar elektrolyt) hebben op geregelde tijdstippen behoefte aan een bijzondere laadcyclus (langdurige lading met kleine stroom aan verhoogde spanning) om stratificatie van het elektrolyt tegen te gaan en de verschillende cellen terug op een gelijk spannings- en ladingsniveau te brengen. Een dergelijke lading noemt men egalisatielading.

3.2 Types van infrastructuur

3.2.1 “Gewone” laadinfrastructuur

Onder “gewone” laadinfrastructuur voor elektrische voertuigen (auto’s en kleine bestelwagens) verstaat men een laadvermogen tot en met ongeveer 3,5 kW, hetgeen overeenstemt met een standaard stopcontact 230 V, 16A.

Dit kan gebeuren volgens verschillende “modes” die worden gedefinieerd in de relevante internationale normen [x].

- Mode 1 lading: hierbij wordt het EV aangesloten op het a.c. distributienet gebruik makend van gestandaardiseerde stopcontacten¹⁰ aan netzijde, eenfasig of driefasig, gebruik makend van fase- nul- en aardleider.
- Mode 2 lading: hierbij wordt het EV aangesloten op het a.c. distributienet gebruik makend van gestandaardiseerde stopcontacten aan netzijde, eenfasig of driefasig, gebruik makend van fase- nul- en aardleider, samen met een pilootgeleider tussen het EV en hetzij de stekker hetzij een controledoos die deel uitmaakt van de kabel. Deze mode is niet relevant voor Europa.
- Mode 3 lading heeft betrekking op infrastructuur specifiek bestemd voor elektrische voertuigen, waarbij het EV verbonden wordt met het wisselstroom distributienet. De Mode 3 laadstations zijn ontworpen en voorbehouden voor EV gebruik, al dan niet in het publiek domein. [xi]

Een overzicht van de verschillende laadmodi en de gebruikte aansluitingen is afgebeeld in Figuur 9. Deze figuur geeft voorbeelden van te gebruiken infrastructuur voor elke laadmode en voor elke “case” (A, B, C)

¹⁰ Hiermee worden stopcontacten bedoeld voor algemeen gebruik, dus niet specifiek ontworpen voor elektrische voertuigen. Voorbeelden: gewoon “huishoudelijk” stopcontact, blauw “industrieel” stopcontact.

classification				vehicle interface		charging equipment			architecture	for mode
CPL	mode	situation	typ. power	case A	case B or C	case A or B	case C	CPL		
no control pilot signal	1	domestic up to 16A per phase	1-phase 3.7kW	yes		 national plugs with resistive coding via power indicator	no	no control pilot provided by wall equipment	power contacts 1 DC- /power AC 1 4 2 DC+/power AC 2 4 3 power AC 3 3 4 mains 1 1-3 5 mains 2 1-3 6 mains 3 1-3 7 mains 4 1-3 8 GND / EARTH 1-4	
			1 to 3-phase 11kW	yes		 IEC 309-2 plug and socket system	no			
control pilot accepted by vehicle	2	domestic up to 32A per phase	1-phase 7.4kW	yes		 In-cable protection device national and IEC 309-2 devices	no	no control pilot provided	basic interface only mains AC 1-3	
			1 to 3-phase 22kW	yes		 provides control pilot				
	3	dedicated up to 32A per phase	1-phase 7.4kW	yes			no			
			1 to 3-phase 22kW	yes						
4	quick charging	DC up to 400A	no		case B not applicable			universal interface mains AC and high power DC 1-4		

*) maximum power at IEC recommended standard voltage 230V/400V

file: IECTABL1.SCH application: PROTEL for WINDOWS 2.2 date: 15-08-98

drawn by Arno & Axel

Figuur 9: Conductieve lading (IEC TC69 WG4)

3.2.2 Semi-snelle laadinfrastructuur

De semi-snelle lading wordt gedefinieerd als een vermogensniveau van 7 tot 10 kW, overeenstemmend met een enkelfasig stopcontact onder 32 A of een driefasig stopcontact onder 16 A. Dit betekent een verdubbeling van het beschikbaar vermogen, of anders gezegd een halvering van de laadtijd, zonder de infrastructurale vereisten al te zwaar of te kostbaar worden. Een dergelijk stopcontact kan immers zonder al te veel problemen in de meeste bestaande installaties voorzien worden.

3.2.3 Snellaadinfrastructuur

Snellading, aan hoge vermogens tot tientallen kilowatt, kan gebeuren via een gelijkstroom- of een wisselstroomaansluiting.

Het gelijkstroom-snellaadstation staat bekend als "Mode 4" lading. Het maakt gebruik van een transformator en gelijkrichter op de vaste grond; de verbinding met het EV gebeurt via een gelijkstroomkabel. Dergelijke laadstations zijn zwaar en duur.

Bepaalde voertuigen met wisselstroomaandrijving zijn uitgerust met wisselrichters die in staat zijn de batterij te laden aan hoog vermogen wanneer zij rechtstreeks op het wisselstroomnet worden aangesloten. Snellading wordt hierdoor mogelijk in Mode 3, met een veel eenvoudiger vaste infrastructuur.

3.2.4 Inductieve laadinfrastructuur

Bij deze toestellen is er geen geleidende verbinding tussen het voertuig en het net. De inductieve laders kunnen in twee grote groepen worden onderverdeeld: manueel of automatisch.

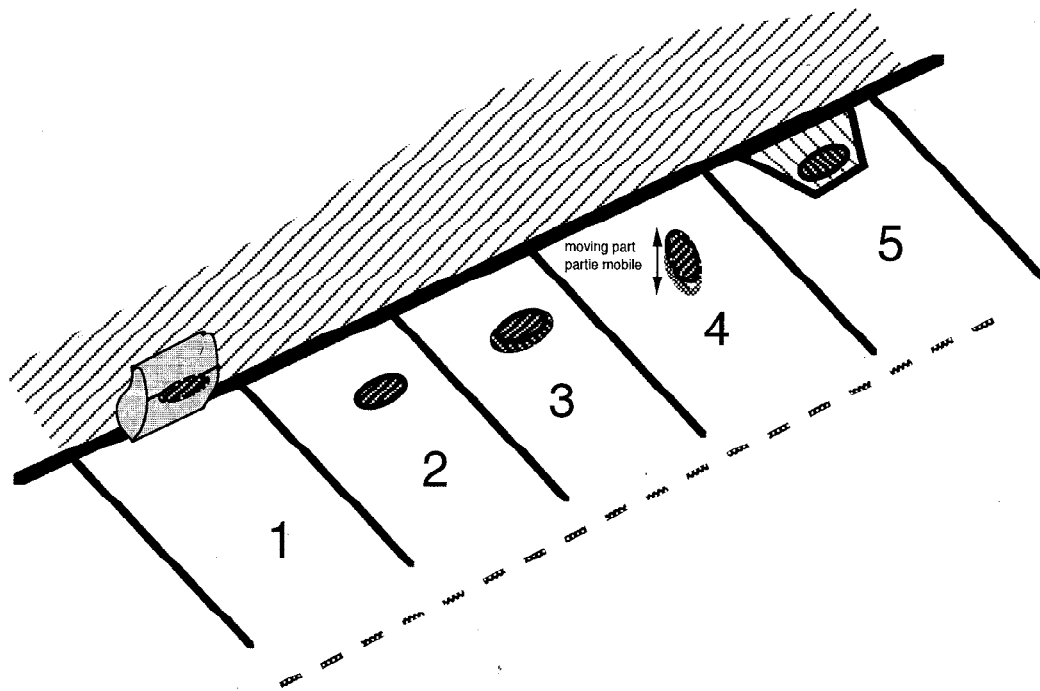
De manuele types zijn vooral gebruikt in de Verenigde Staten, en worden besproken in 3.4.4.2. Zij zijn van weinig belang voor het Brussels Hoofdstedelijk Gewest gezien zij bijna niet gebruikt worden in voertuigen die in Europa op de markt zijn.

De automatische systemen zijn uitvoerig bestudeerd geweest door de VUB [xii]. Zij vereisen geen tussenkomst meer van de bestuurder, die slechts zijn voertuig op de juiste plaats moet parkeren om de lading te initiëren.

De automatische laadsystemen kunnen op meerdere wijzen worden verwezenlijkt, afhankelijk van de gekozen technologie en van de architectuur van het systeem (Figuur 10):

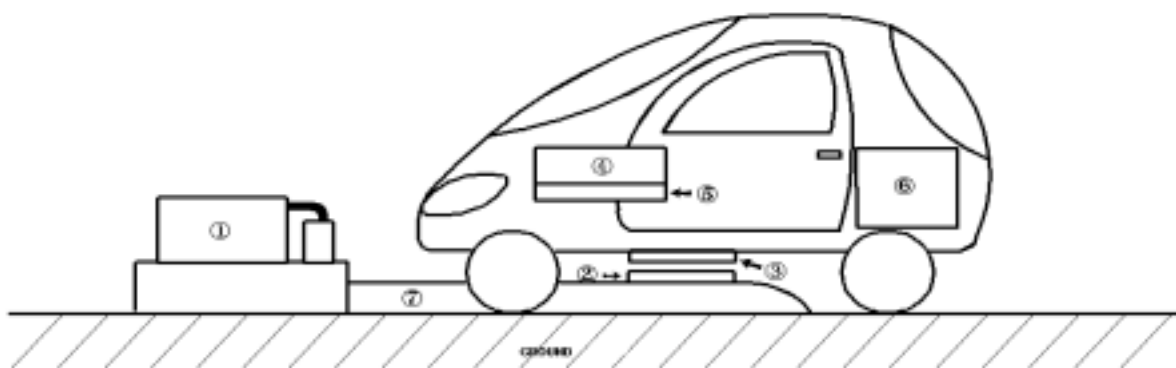
1. Bijzonder types laadpalen
2. Vaste installaties verzonken in het wegdek
3. Vaste installaties niet verzonken in het wegdek
4. Installaties op het wegdek die bewegende delen omvatten
5. Speciaal ontwerp van boordstenen

Vanuit het standpunt van de wegbeheerders (gemeenten) worden de toestellen die het minst interfereren met de bestaande weginfrastructuur het meest geapprecieerd. De afwezigheid van kabels en stekkers is een niet te verwaarlozen veiligheidsargument, zowel op elektrisch als op mechanisch vlak.



Figuur 10: Infrastructuur voor inductieve lading

Een typische uitvoering is afgebeeld in Figuur 11. Het ontwerp van de boordsteen helpt hier bij de efficiënte positionering van het voertuig.



- ① Primair gedeelte van de lader
- ② Primaire spoel
- ③ Secundaire spoel
- ④ & ⑤ Secundair gedeelte van de lader
- ⑥ Batterij
- ⑦ Boordsteen

Figuur 11: Inductief laadsysteem in het wegdek



Figuur 12: Inductief laadsysteem met automatische koppeling. Merk de blauwe secundaire inductiespoel

Andere systemen maken gebruik van bijzondere laadpalen met automatische koppeling. Het systeem afgebeeld in Figuur 12 werd ontwikkeld door de V.U.B.

De automatische systemen bieden interessante perspectieven voor voertuigparken in bepaalde toepassingen zoals automatische uitleensystemen of taxi's, die aldus toegang krijgen tot gelegenheidslading aan hun standplaatsen zonder gebruik te moeten maken van kabels of stekkers. Zeker bij hoog vermogen, vormt de inductieve lading een veel efficiëntere en elegantere oplossing dan de batterijwissel die her en der wordt voorgesteld voor deze toepassingen.

3.2.5 Vereiste vermogens en laadtijden

De voor een batterijlading nodige tijd is vanzelfsprekend afhankelijk van het beschikbare vermogen.

Voor de thans op de markt beschikbare voertuigen van het type "auto" of "kleine bestelwagen" kan gesteld worden dat:

- Voor een "gewone" lading (3,5 kW): één uur lading stemt overeen met 15 à 20 km rijden
- Voor een "semi-snelle" lading (7 kW): één uur lading stemt overeen met 30 à 40 km rijden
- Voor een "snelle" lading (20 kW): 80% van de autonomie (t.t.z. 80 km) kan in minder dan één uur geladen worden.

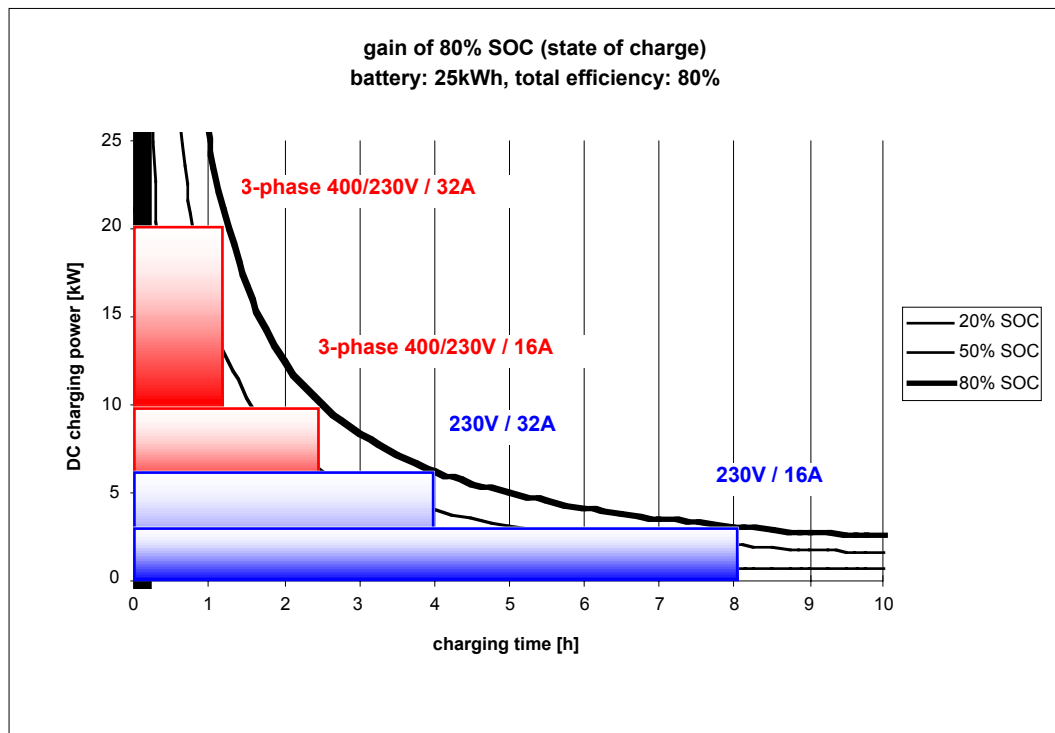
Hierbij dient wel te verstaan rekening gehouden worden met het feitelijke verbruik: voor zendingen die veel stilstanden en herhaalde acceleraties inhouden, zoals bijvoorbeeld postdistributie¹¹, kan het verbruik per kilometer tot dubbel zo hoog liggen dan bij ritten aan constante snelheid.

Bovendien hebben deze gegevens betrekking op de hoofdlading; de tijd benodigd voor de eindlading is onafhankelijk van het beschikbare vermogen voor de

¹¹ Cf. de metingen verricht voor het EVD-Post Thermie Project, waar elektrische voertuigen voor postdistributie werden opgevolgd in 5 landen waaronder België

hoofdlading. Voor dergelijke voertuigen bedraagt de duur van de eindlading ongeveer drie uur.

Een overzicht van de benodigde laadtijd om 80% van de batterijcapaciteit te laden is afgebeeld in Figuur 13.

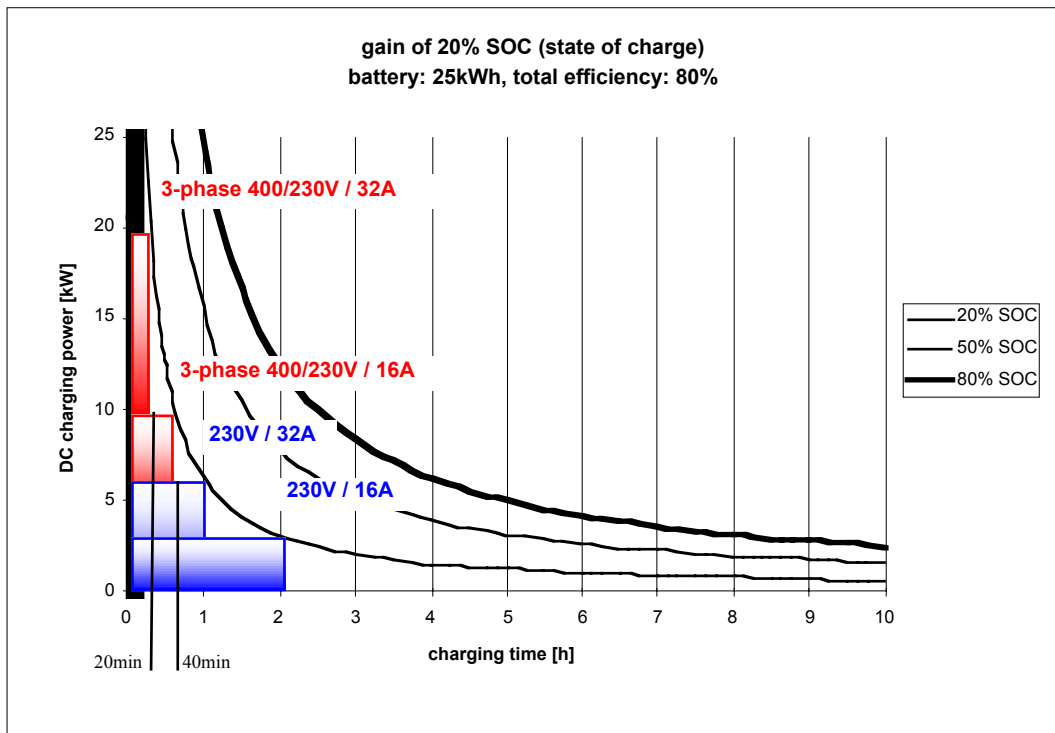


Figuur 13: Overzicht van de benodigde laadtijden in functie van het vermogen (bron: BRUSA)

Vanzelfsprekend kan men “gelegenheidslading”¹² toepassen door het voertuig op het net aan te sluiten wanneer men hiertoe de mogelijkheid heeft (bv. gedurende de middagpauze, tijdens het parkeren aan een laadstation, enz...). Dit laat toe van de bereikbare actieradius gedurende de dag gevoelig op te drijven; bovendien zal het energetisch rendement toenemen, gezien de hoofdlading over het algemeen een hoger rendement heeft dan de eindlading. Voor een optimaal gebruik van de batterij verdient het echter aanbeveling om op geregelde basis een volledige laadcyclus mét eindlading te verrichten.

De benodigde tijd om een gelegenheidslading uit te voeren in functie van het vermogen is afgebeeld in Figuur 14.

¹² Ook gekend als “opportunity charging” of “biberonage”



Figuur 14: Gelegenheidslading in functie van het vermogen (bron: BRUSA)

3.3 Overzicht van bestaande laadinfrastructuur

3.3.1 Mode 1 lading

Tot nu toe worden elektrische voertuigen meestal geladen in “Mode 1”. Er kan hier immers gebruik gemaakt worden van standaard stopcontacten, die overal beschikbaar zijn.

Door haar eenvoud en lage prijs zal Mode 1 de meest gebruikte laadwijze blijven voor het laden van voertuigen in gecontroleerde omgevingen zoals particuliere of bedrijfsgarages. Laadstations voor op de openbare weg vereisen echter de meer uitgebreide veiligheids- en beveiligingsmaatregelen van Mode 3 infrastructuur.

Het verdient echter aanbeveling dat de accessoires¹³ voor de Mode 1 lading van de elektrische voertuigen van het “industriële” type¹⁴ zijn, volgens IEC 60309-2 [xiii]. Deze zijn steviger van constructie dan de gewone huishoudelijke accessoires en beter bestand tegen de zware belasting kenmerkend voor elektrische voertuigen: gebruik buitenshuis, herhaalde ontkoppelingen onder belasting, langdurige werking aan hoge stromen. De 20-jarige ervaring opgedaan met elektrische voertuigen aan de VUB heeft aangetoond dat de levensduur van “huishoudelijke” accessoires, met name stopcontacten, eerder beperkt is (6 maanden tot een jaar) wanneer deze intensief gebruikt worden voor het laden van elektrische voertuigen.

Mode 1 lading kan echter aanleiding geven tot veiligheidsbekommernissen: de veiligheid van de personen is immers afhankelijk van de aanwezigheid van een verliesstroomschakelaar (differentieelschakelaar) aan netzijde. In vele landen, waaronder België, zijn dergelijke toestellen thans verplicht; er zijn echter nog vele oude installaties in gebruik zonder differentieelschakelaar, en zelfs zonder aardgeleider. In dergelijke gevallen kan een fout aanleiding geven tot gevaarlijke situaties. Zonder differentieelschakelaar is Mode 1 dus niet toelaatbaar. In een aantal landen¹⁵ is Mode 1 lading overigens verboden.

3.3.2 Mode 3 lading

Mode 3 heeft betrekking op infrastructuur voor het laden van elektrische voertuigen, waarbij het EV rechtstreeks met het wisselstroomnet is verbonden gebruikmakend van een pilotcircuit. Het gaat hier om infrastructuur specifiek ontworpen en voorbehouden voor elektrische voertuigen, al dan niet op het publiek domein.

Het pilotcircuit bestaat uit een bijkomende geleider, pilotgeleider genaamd en de beschermingsgeleider (aarding). Aan boord van het voertuig zijn beide geleiders verbonden over een gestandaardiseerde impedantie van 1 k Ω ; indien het laadstation deze impedantie detecteert in het pilotcircuit, wordt het stopcontact onder spanning gebracht en kan de lading beginnen.

De pilotgeleider vervult de volgende functies:

¹³ Met “accessoires” worden hier de onderdelen bedoeld zoals stekkers en stopcontacten, overeenkomstig de IEC-terminologie terzake

¹⁴ Het gaat hier over de welbekende “blauwe” (230 V) en “rode” (400 V) accessoires, algemeen verkrijgbaar in de gespecialiseerde handel, waar ze ook wel bekend staan als “CEE-form”.

¹⁵ Bijvoorbeeld in de Verenigde Staten, waar als alternatief “Mode 2” is ontwikkeld.

- Verificatie dat het voertuig correct is aangesloten; indien het voertuig net aanwezig is, blijft het stopcontact spanningsloos, dit is vooral zeer interessant voor de veiligheid van de infrastructuur in het openbaar domein
- Continu nazicht van de integriteit van de aardverbinding
- In- en uitschakelen van het systeem
- Selecteren van de ampaciteit van de lader (optioneel – in het bijzonder voor semi-snellading waar de lader naar keuze 16 of 32 A uit het net kan opnemen)

Dit concept wordt beschreven in de internationale en Europese normen [xi]. Het gebruik van een pilootgeleider impliceert dat de gebruikte accessoires voorzien moeten zijn van een bijkomend contact. In 3.4 zullen een aantal oplossingen hiervoor worden voorgesteld.

3.3.3 Mode 4 lading

In mode 4 is het EV indirect verbonden met het net via een vaste lader, het wordt dus verbonden met de lader via een gelijkstroomkabel.

Voertuigen die in omschreven gebieden opereren, zoals industriële voertuigen, worden meestal met een vaste lader geladen; voor voertuigen op de openbare weg wordt Mode 4 meestal gebruikt voor snelladers, die immers een zware infrastructuur vereisen.

De snellading vertegenwoordigt echter een aanzienlijke meerkost ten overstaan van de gewone lading; dit is te wijten aan de volgende factoren:

- De hoge kostprijs van de vaste infrastructuur in vergelijking met de gewone lading of de semi-snellading (een volledig snellaadstation zoals afgebeeld in Figuur 19 kost ongeveer € 30.000; een versie voor gebruik in private garages, zonder betalingsfaciliteiten, komt op ongeveer € 10.000)
- De hogere kostprijs van de elektrische stroom: het opnemen van een hoge stroom gedurende de dag leidt tot piekbelastingen en een hogere marginale kost van de elektrische energie.

Mede omwille van deze hogere kostprijs worden de snellaadstations over het algemeen niet zo frequent gebruikt als de gewone laadstations. Dit belet niet dat hun aanwezigheid wel degelijk verantwoord is. Deze infrastructuren voldoen immers aan een dubbele behoefte:

- Enerzijds is de snellading wel degelijk een nuttige optie in “noodgevallen”, wanneer een gebruiker onverwacht een lange rit moet maken of wanneer zijn ladingsniveau sneller daalt dan verwacht
- Anderzijds hebben de snellaadstations ook een psychologisch nut. Vele gebruikers van elektrische voertuigen, vooral beginnende gebruikers die nog geen ervaring hebben met de werkelijke ontladkarakteristieken van de batterijen, zijn zeer reluctant om de volledige capaciteit van hun voertuig te benutten gezien zij vrezen voor een platte batterij. De aanwezigheid van een snellaadstation in de omgeving geeft hen de zekerheid dat zij in geval van nood toch nog kunnen bijladen. Het feit dat het snellaadstation bestaat, zal bij dergelijke gebruikers de drempel om effectief van het elektrisch voertuig gebruik te maken, verlagen, ook al zullen ze in de praktijk zelden gebruik maken van deze infrastructuur.

Een andere toepassing van Mode 4 laadinfrastructuur in de stad zijn zware voertuigen zoals autobussen. De “Montmartrebus” in Parijs bijvoorbeeld beschikt over een laadstation bij de terminus voor tussentijdse ladingen. De grootteorde van de vermogens voor “gewone” lading van dergelijke zware voertuigen stemt overeen met de vermogens voor “snelle” lading van lichte voertuigen.

3.3.4 Laadinfrastructuur voor tweewielers

Elektrische tweewielers (fietsen en scooters) genieten een groeiende populariteit. De vermogens nodig voor het laden van dergelijke voertuigen zijn vanzelfsprekend veel kleiner: ongeveer 1,5 kW voor een scooter, 100 W voor een fiets.

De scooters zijn meestal voorzien van een boordlader met laadkabel (Case A) die op een stopcontact kan worden aangesloten. Zij kunnen geladen worden in Mode 1 of Mode 3, en kunnen zonder veel problemen gebruik maken van dezelfde infrastructuur dan de vierwielige voertuigen.

Elektrische fietsen daarentegen hebben in vele gevallen een externe lader¹⁶; deze toestellen zijn bedoeld om binnenshuis te worden gebruikt. Het laden van dergelijke fietsen aan een openbare infrastructuur kan dus best georganiseerd worden in een overdekte en bewaakte stelplaats.

¹⁶ Van de zes types fietsen die thans te Brussel getest worden in het kader van het E-TOUR project, is er slechts één type voorzien van een boordlader. De externe laders voor de fietsen zijn compacte toestellen, meestal van klasse II (dubbele isolatie) zodat ze op een stopcontact zonder aarding kunnen worden aangesloten. In de meeste gevallen kan bovendien de batterij van de fiets worden verwijderd en bv. in de woning geladen.

3.4 Infrastructuur uitgebouwd in een aantal landen

3.4.1 Frankrijk

3.4.1.1 Gewone lading

Een uitgebreid netwerk van ongeveer 500 openbare laadstations werd in Frankrijk uitgebouwd door de elektriciteitsmaatschappij "Electricité de France" (EDF) [xiv], [xv]

In alle grote Franse steden zijn stations aanwezig, vooral in de plaatsen met intensieve EV-activiteiten zoals La Rochelle, Parijs, Lyon, Toulouse, Nantes en Straatsburg.

In totaal zijn er ongeveer 70 parkeergarages met elk 3 tot 10 stopcontacten; verder zijn er ongeveer 70 laadstations op de openbare weg (2 stopcontacten per terminal).

In de Franse hoofdstad zijn er thans ongeveer 300 publiek toegankelijke stopcontacten, verdeeld over 24 laadstations op straat en een 20-tal ondergrondse parkings.



Figuur 15: Laadstation van het Franse type: basiseenheid met twee stopcontacten. Het station kan bijkomende stopcontacten bedienen. (Foto: DBT)

Al deze stations zijn in principe voorzien voor Mode 3 met pilootgeleider. De pilootgeleider maakt gebruik van een vierde contactpunt in een bijzondere stekker (geproduceerd door "Framatome", afgebeeld in Figuur 16), die zo

ontworpen is dat hij compatibel is met een gewoon huishoudelijk stopcontact¹⁷. Gedurende de tijd dat het laadstation in bedrijf is, wordt de stekker mechanisch vergrendeld om loskoppeling door onbevoegden te vermijden.

De bijhorende kabel is afgeschermd; de afscherming dient als pilootgeleider. De connector voor aansluiting op het voertuig is van het gestandaardiseerd "Marechal" type. Alle elektrische voertuigen van Franse makelij (Citroën, Peugeot, Renault) kunnen van deze infrastructuur gebruik maken. De flexibele kabel hoort bij het voertuig; het is dus een case B aansluiting.

Het hoofdlaadstation (Figuur 15) bestaat uit een controle- en betaalmodule en twee stopcontactmodules.

De controlemodule stuurt het hele systeem. Zij voorziet in:

- De identificatie van de gebruiker via chipkaart
- De dialoog met de gebruikers via scherm en toetsenbord
- De aansturing van de stopcontactmodules
- De controle van elke fase van de werkingscyclus van het geheel
- De facturatie van de laad- en parkeertijd

De stopcontactmodules worden gestuurd door een eigen elektronische kaart die met de controlemodule communiceert. Zij bestuurt de lokale signalisatie (signaallampen), detecteert de correcte aansluiting van het voertuig (via het piloot contact) en vergrendelt het stopcontact. Tot 31 stopcontactmodules kunnen op één controlemodule worden aangesloten.

De lokale signalisatie is als volgt georganiseerd:

- Groen verklikkerlicht: stopcontact beschikbaar
- Geel verklikkerlicht: stopcontact in gebruik, voertuig in lading
- Rood verklikkerlicht: storing



Figuur 16: de "Framatome" stekker voor elektrische voertuigen (foto EDF)

In de praktijk bleken de bijzondere stekkers van Figuur 16 niet te voldoen. Zij hadden een korte levensduur en gaven licht aanleiding tot slechte contacten. Bovendien waren ze zeer duur (ongeveer € 100 per stuk).

Om die redenen werden de Franse openbare laadstations omgebouwd. Zij ontvangen thans gewone huishoudelijke stekkers; de pilootfunctie is hierbij weggefallen. De bescherming van een stopcontact gebeurt vooralsnog door

¹⁷ Bij gebruik van een dergelijk stopcontact valt de pilootfunctie natuurlijk weg en bevindt men zich in Mode 1. Een gewone huishoudelijke stekker kan echter niet gebruikt worden op deze laadpalen.

middel van een klep die mechanisch wordt vergrendeld gedurende de lading en die de stekker beschermt.

Met uitzondering van een aantal stopcontacten in parkings (waar de elektrische energie “gratis” wordt aangeboden, t.t.z. inbegrepen in het parkeergeld) gebeurt de toegang tot de laadstations en de betaling met behulp van chipkaarten die worden verdeeld door EDF.

De hoge kostprijs van de betaalinfrastructuur heeft ertoe geleid dat EDF thans vooral de installatie van laadpunten in parkeergarages of shoppingcentra promoveert. Deze moeten immers niet voorzien worden van een dergelijk systeem.

De prijs voor een laadstation zoals afgebeeld in Figuur 15 bedraagt ongeveer € 15.000. Bijkomende eenheden kosten ongeveer € 3.500 voor een bijkomend stopcontact zoals afgebeeld in Figuur 17.

Volgend op de initiële ervaringen met deze laadstations, werd een tweede generatie (BRN2) ontwikkeld, gebaseerd op contactloze betaalkaarten. Vier experimentele stations werden reeds uitgebouwd in de oostelijke voorsteden van Parijs. Hun kostprijs is met een factor vier verminderd tegenover de initiële infrastructuur.



Figuur 17: Bijkomend laadpunt, te monteren op paal of op muur (Foto DBT)

Figuur 17 toont een stopcontact voor montage op muur of op paal, dat gestuurd wordt vanaf het hoofdstation.

Het stopcontact van Figuur 18 omvat geen tarificatie en is bedoeld voor privé parkings. Bescherming is mogelijk met behulp van een sleutel. Merk op dat de laadkabel (met zijn connector) hier vast verbonden is met de paal: case C aansluiting. De pilootfunctie blijft hierbij verzekerd. De prijs van deze kast is ongeveer € 1.000.



Figuur 18: Laadpunt zonder tarificatie, bestemd voor gebruik op privé terrein (Foto DBT)

3.4.1.2 Snellading



Figuur 19: Snellaadstation in Frankrijk (foto EDF)

In Frankrijk worden een dertigtal snellaadstations uitgebaat door EDF. In Parijs zijn er zo vijf, meestal geassocieerd met benzinstations. Zij hebben de volgende kenmerken:

- Maximum vermogen 36 kW
- Gelijkstroomlading tot 150 A
- Standaardprotocol voor communicatie met het voertuig (dit laat toe om voertuigen met verschillende batterijspanningen aan hetzelfde station te laden)
- Lading aangepast aan batterijkarakteristieken
- Laadkabel vast aan het station (case C)

De laders zijn zowel beschikbaar met betalingssysteem (voor publiek gebruik; dezelfde kaarten als voor de gewone laadstations zijn geldig, alhoewel voor de snellading een hoger tarief wordt berekend) als zonder betalingssysteem. Deze laatste zijn voornamelijk bedoeld voor stelplaatsen van elektrische voertuigparken; de kostprijs is slechts één derde van de straatinfrastructuur. (€ 10.000 vs. € 30.000).

3.4.1.3 Automatische uitleensystemen

Een aantal automatische uitleensystemen voor elektrische voertuigen zijn in Frankrijk uitgebouwd, met telkens een aangepaste infrastructuur.

Voor het "Liselec" systeem, thans in gebruik in La Rochelle, werd een type laadpaal ontwikkeld dat zich discreet integreert in het stedelijk weefsel (Figuur 20)¹⁸.

Bij het Liselec systeem is er in principe geen interactie met het laadsysteem voorzien voor de particuliere gebruiker: het aansluiten van de voertuigen gebeurt door een aangestelde. De laadpalen zijn dan ook niet voorzien van een interactie- of betaalsysteem; de interactie met de gebruiker verloopt volledig via het voertuig.

¹⁸ Het ontwerp van deze palen, uitgevoerd in gietijzer, is geïnspireerd op een meerpaal en weerspiegelt de maritieme traditie van de stad La Rochelle.



Figuur 20: "Liselec" laadpalen in La Rochelle (foto DBT)

In St-Quentin-en-Yvelines werd het experimentele "Praxitèle" systeem uitgetest. Dit maakt gebruik van inductieve laders die zich op de parkeerplaatsen van de voertuigen bevinden. (Figuur 21)



Figuur 21: Inductieve lader "Praxitèle"

3.4.1.4 Goederendistributie

Elektrische voertuigen voor goederendistributie in de steden worden onder andere ingezet in het kader van het "Elcidis"¹⁹ project te La Rochelle.



Figuur 22: Elcidis platform te La Rochelle

Het Elcidis platform dat is uitgebouwd in La Rochelle omvat de stelplaats voor de elektrische bestelwagens. Deze worden 's nachts geladen aan Mode 1 stopcontacten; er is tevens een snellader in de stelplaats aanwezig voor gelegenheidslading wanneer nodig.

3.4.1.5 Toekomstige ontwikkelingen

De toekomstige uitbouw van laadstations voor elektrische voertuigen in Frankrijk kan als volgt worden samengevat [xv]:

- Uitbouwen van infrastructuur in grote steden waar ze tot nu toe niet bestaat
- Plaatsen van snellaadstations op strategische plaatsen in die steden waar er aanzienlijke aantallen elektrische voertuigen rijden
- Bij voorkeur de infrastructuur plaatsen in bestaande parkings (dit is veel goedkoper dan straatinfrastructuur!); de overeenkomst met de uitbaters houdt in dat de infrastructuur gratis geplaatst wordt op voorwaarde dat de lading gratis aan de gebruikers wordt aangeboden (t.t.z. zonder meerprijs op de parkeerkosten)
- Promotie van de thuislading door installatie van stopcontacten in parkings van appartementsgebouwen

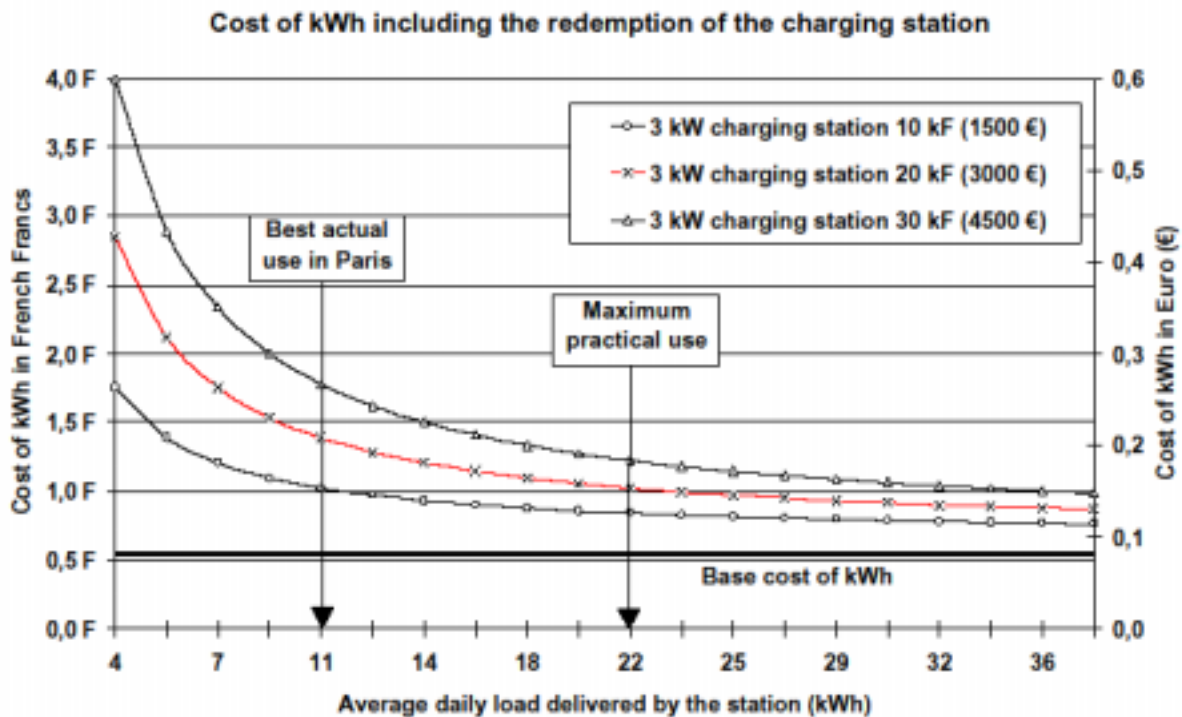
¹⁹ ELCIDIS is een Europees Thermie project gericht op de demonstratie van elektrische voertuigen voor goederendistributie in Rotterdam, Erlangen, La Rochelle, Milaan, Stavanger en Stockholm.

3.4.1.6 Financiële aspecten

De inspanningen van EDF om infrastructuur voor elektrische voertuigen uit te bouwen waren er tot op nu toe vooral op gericht om de ontwikkeling van een markt voor elektrische voertuigen te promoten, dit als deel van de publieke taak van de elektriciteitsverdelers. Verdere ontwikkelingen zullen in dit kader beschouwd worden in functie van de reële behoeften, waarbij tevens het financieel rendement van de infrastructuur moet worden in rekening gebracht.

Figuur 23 [xv] geeft een overzicht van de afschrijvingskosten voor een laadstation (op 8 jaar) in functie van de dagelijkse geleverde energie in kWh en van de prijs per kWh. Het is duidelijk dat voor het typisch gebruik van laadstations (11 kWh per dag in Parijs) de aangerekende kost van de energie hoog moet zijn tegenover de gewone elektriciteitsprijs om de infrastructuur financieel af te kunnen schrijven. Met dergelijke hoge prijzen per kWh wordt het elektrisch voertuig minder interessant voor de gebruiker. Vandaar dat de herlading thuis, aan nachttarief, door EDF wordt aanbevolen als de meest gunstige optie, temeer daar deze de netbelasting van de elektriciteitsproducent optimaliseert.

Deze gegevens onderlijnen de noodzakelijkheid om de vaste laadinfrastructuur zo eenvoudig en goedkoop mogelijk te verwezenlijken. Er zal dan ook naar gestreefd worden de infrastructuur op de openbare weg zo eenvoudig mogelijk te houden, en de installatie van infrastructuur zonder betaalfaciliteiten (bv. in parkings) te bevorderen.



Figuur 23: Afschrijving van openbare laadstations in Frankrijk

3.4.2 Zwitserland

3.4.2.1 Park & Charge

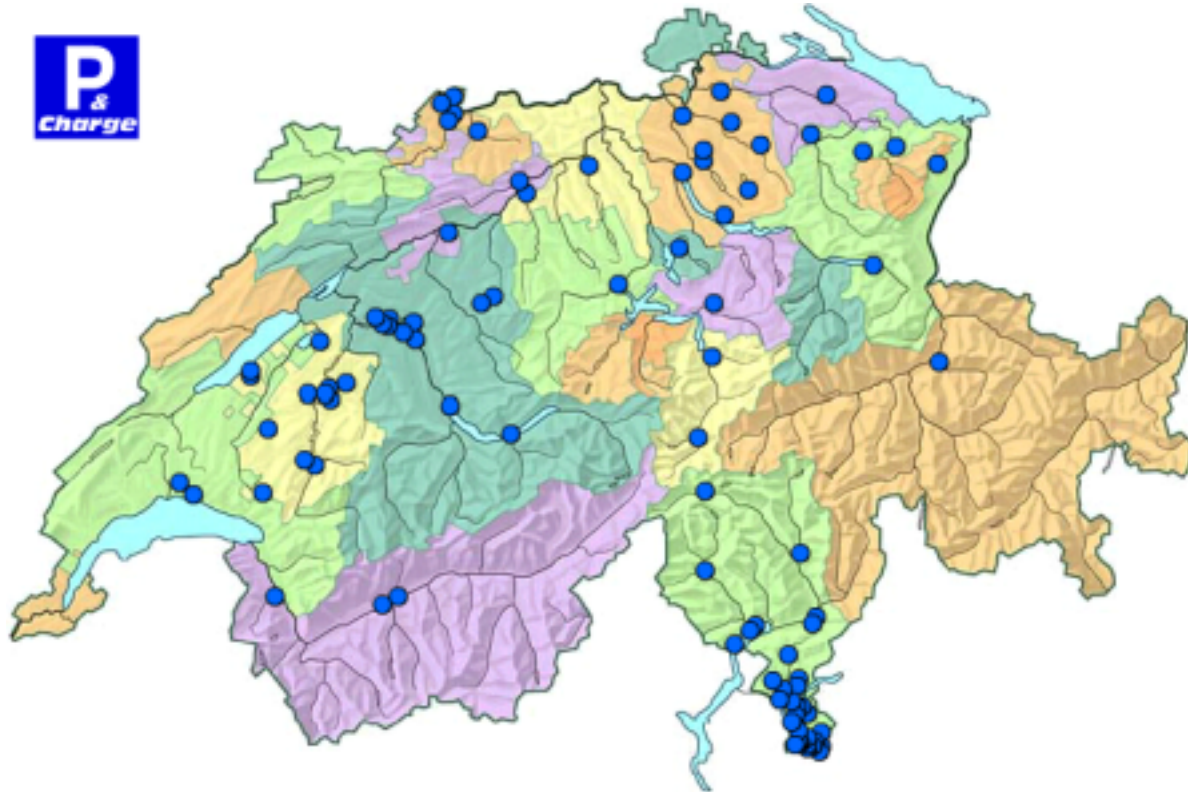
In Zwitserland wordt een groot aantal elektrische voertuigen gebruikt door privépersonen. Teneinde de EV gebruikers een grotere mobiliteit en reikwijdte te bezorgen, is er een aanzienlijk netwerk van publieke laadpunten ontplooid onder de naam "Park & Charge" [xvi].



Figuur 24: "E-totem" Laadstation te Mendrisio, Zwitserland (foto CITELEC)

Het Park & Charge concept is erop gericht het bestaande elektrisch net maximaal te benutten zonder zware investeringen in gesofistikeerde laadstations te moeten

doen. De toegang tot de laadpunten is gebaseerd op het lidmaatschap van een vereniging. Honderden laadpunten zijn in Zwitserland verspreid, vooral geconcentreerd in EV-pilootgebieden zoals Mendrisio of het kanton Ticino. Zij worden uitgbaat door gemeentebesturen, elektriciteitsbedrijven, garages, restaurants, handelaars,....



Figuur 25: Park&Charge laadpunten in Zwitserland

De betaling van de gebruikte energie gebeurt via de vereniging: gebruikers kunnen een “energie-abonnement” nemen voor een bepaalde periode (€ 67,55 voor een jaar). De uitbaters worden door de vereniging vergoed voor de opgenomen stroom.

Het Park & Charge laadstation omvat één of meer gewone²⁰ stopcontacten, geplaatst in een kastje dat toegankelijk is met behulp van een speciale sleutel die aan alle leden ter beschikking wordt gesteld en die identiek is voor alle laadstations.

Het Park&Charge systeem wordt verder besproken in §6.4.

Het gaat hier dus om Mode 1 lading met bijkomende mechanische bescherming.

De prijs van een dergelijk laadstation (met typisch 3 stopcontacten) bedraagt ongeveer € 650 voor een basisversie (gewone elektrische kast uit kunststof) en € 3.000 voor de “E-totem” versie die in Figuur 24 is afgebeeld.

²⁰ In de praktijk zullen dit vaak industriële stopcontacten volgens IEC 60309-2 zijn, temeer daar het gewone huishoudelijke Zwitserse stopcontact slechts op maximum 10A is berekend.

3.4.2.2 Semi-snelle lading

In Mendrisio, en ook elders, wordt er thans geëxperimenteerd met een nieuw type laadpaal, dat semi-snelle lading aan 32 A toelaat.



Figuur 26: Aangepaste IEC 60309-2 stekker (Mennekes) voor semi-snellading. Merk de additionele contactstrip in de stekker. Deze laat gewone lading (Mode 1) toe aan 16 A, en semi-snelle lading (Mode 3) aan 32 A.

De hierbij gebruikte stekker²¹ is een aangepast IEC 60309-2 type, voorzien van bijkomende zijdelingse contacten die de piloot- en communicatiefuncties verzorgen.

Wanneer deze stekker in een stopcontact (IEC 60309-2) wordt gestoken, zal hij functioneren onder Mode 1 als een gewone 16 A stekker. Het detecteren van een laadstation (via het piloot contact) zal echter toelaten 32 A uit het net te debiteren²². Het systeem is dan ook aangepast aan de zogenaamde “booster” laders, die toelaten het vermogen gedurende de lading te verdubbelen, daar waar een gewone lading aan 16 A steeds mogelijk blijft.

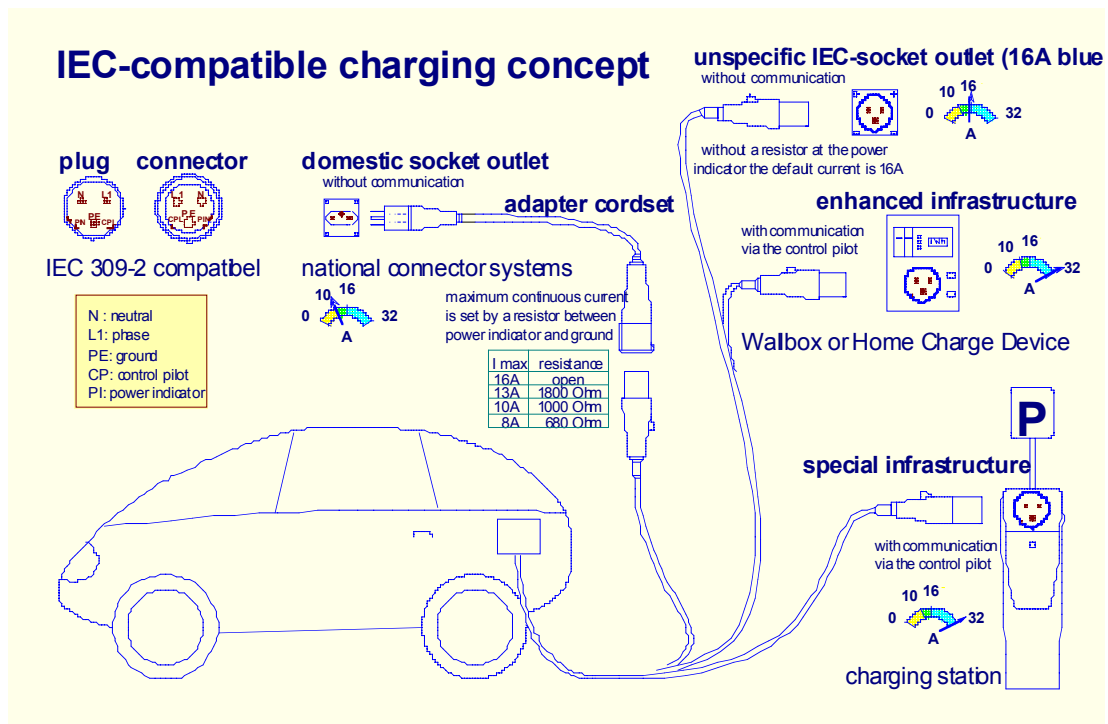
De mogelijke aansluitwijzen van dit systeem zijn aangeduid in Figuur 27.

De kostprijs van een dergelijke 32 A laadpaal (die tevens 2 16 A aansluitingen omvat) bedraagt ongeveer € 2.000 voor een gewone versie en € 4.250 voor de “E-totem” versie.

Gelijkaardige netwerken, steeds onder het motto “Park & Charge” en compatibel met het Zwitserse netwerk, worden eveneens ontwikkeld in Oostenrijk en Duitsland.

²¹ Dit ontwerp, dat compatibel blijft met het gangbare IEC 60309-2 stopcontact, is ontwikkeld en gebreveteerd door de firma Mennekes (D).

²² De gebruikte accessoires hebben als nominale stroom 16A, maar kunnen zonder probleem een stroom van 32A aan. Het pilootcontact verzekert de afschakeling onder belasting en vermijdt boogvorming op niveau van de accessoires.



Figuur 27: IEC 60309-2 compatibel laadconcept ontwikkeld in Zwitserland (bron: BRUSA)

3.4.3 Italië

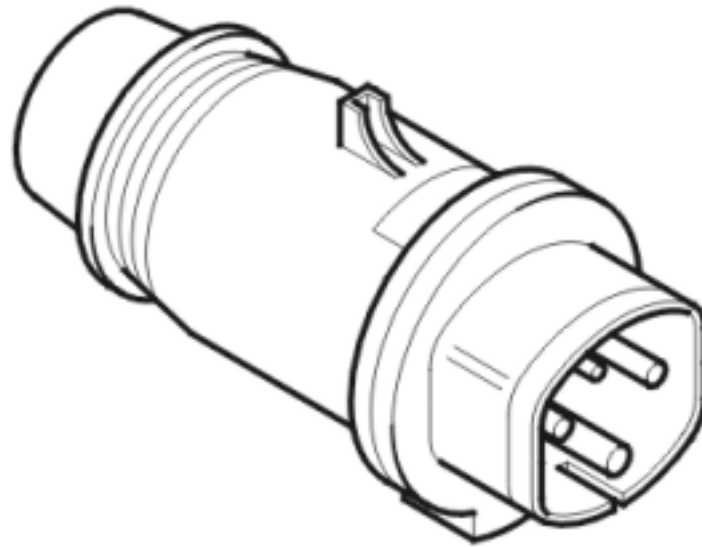
3.4.3.1 Italiaanse accessoires

Ook in Italië zijn er een aantal openbare laadstations voorzien. Het gebruik van Mode 1 lading is er enkel toegelaten in private garages; voor alle voor het publiek toegankelijke infrastructuur is Mode 3 voorgeschreven, met pilootcontact.

Voor de implementatie van het pilootcontact werd door de Italiaanse nationale normalisatiecommissies een bijzonder type accessoire ontworpen, geïllustreerd in Figuur 28.

Deze stekkers en stopcontacten worden o.a. gefabriceerd door de firma SCAME; de prijs (catalogusprijs groothandel) per stuk bedraagt € 22,78 voor zowel stekker als stopcontact.

Dit materiaal voldoet aan de Europese en internationale normen voor accessoires voor elektrische voertuigen [xvii]; er wordt naar gestreefd van dit ontwerp te veralgemenen voor alle Italiaanse elektrische voertuigen. Het gaat om 230 V, 16 A accessoires, die tevens voldoen aan de IEC 60309-1 [xviii] norm voor industriële stekkers. Er werd bewust gekozen voor accessoires met beperkte afmetingen gezien zij eveneens gericht zijn voor gebruik met de (in Italië zeer populaire) tweewielers. De stopcontacten zijn voorzien van kinderbeveiligingen.



Figuur 28: Italiaanse stekker voor EV met pilootcontact (SCAME)

Een versie die 32 A kan geleiden is in ontwikkeling voor semi-snelle lading. Volgens verklaringen van de fabrikant werden deze accessoires getest met 32 A volgens de procedure van IEC 60309-1.

De stekkers zijn echter niet compatibel met huishoudelijke stopcontacten, noch met het gewone IEC 60309-2 materiaal. Er zal dus altijd een bijbehorend stopcontact moeten worden geïnstalleerd, hetzij Mode 1 (pilotcontact niet aangesloten, alleen in privé ruimten), hetzij Mode 3 (voor alle andere ruimten). Een adapter voor aansluiting op een (Italiaans) huishoudelijk stopcontact is evenwel verkrijgbaar.

3.4.3.2 Laadstations in Milaan

In Milaan worden thans een aantal laadstations uitgebouwd die gebruikmaken van hogervermelde accessoires. Elk laadstation kan één vierwielig voertuig en acht scooters ontvangen.

3.4.4 Verenigde Staten

3.4.4.1 Algemeenheden

De groeiende belangstelling voor elektrische voertuigen in de Verenigde Staten (vooral in Californië) heeft ertoe geleid dat ook daar laadinfrastructuur werd ontwikkeld.

Anders dan in Europa was het in Amerika noodzakelijk een volledig nieuwe infrastructuur te ontwerpen. Het gewone huishoudelijke Amerikaanse stopcontact (120 V, 15 A) is immers te laag in vermogen om effectief een elektrisch voertuig op te laden²³.

Twee uiteenlopende opties worden in aanmerking genomen: de conductieve en de inductieve lading. De strijd tussen deze twee opties is bijwijlen zeer bitsig en weerspiegelt de strijd tussen de grote concurrenten G.M. en Ford. De huidige voorkeur gaat echter uit naar de conductieve lading, door haar geringere kosten voor de vaste infrastructuur.

3.4.4.2 Inductieve lading

De inductieve lading is vooral gepropageerd door G.M.; de gekozen inductieve technologie ("Magnecharge") is een "paddel" type met manuele connectie, overeenkomstig de te verschijnen norm IEC 61908-2.

Er bestaan hiervan verschillende types:

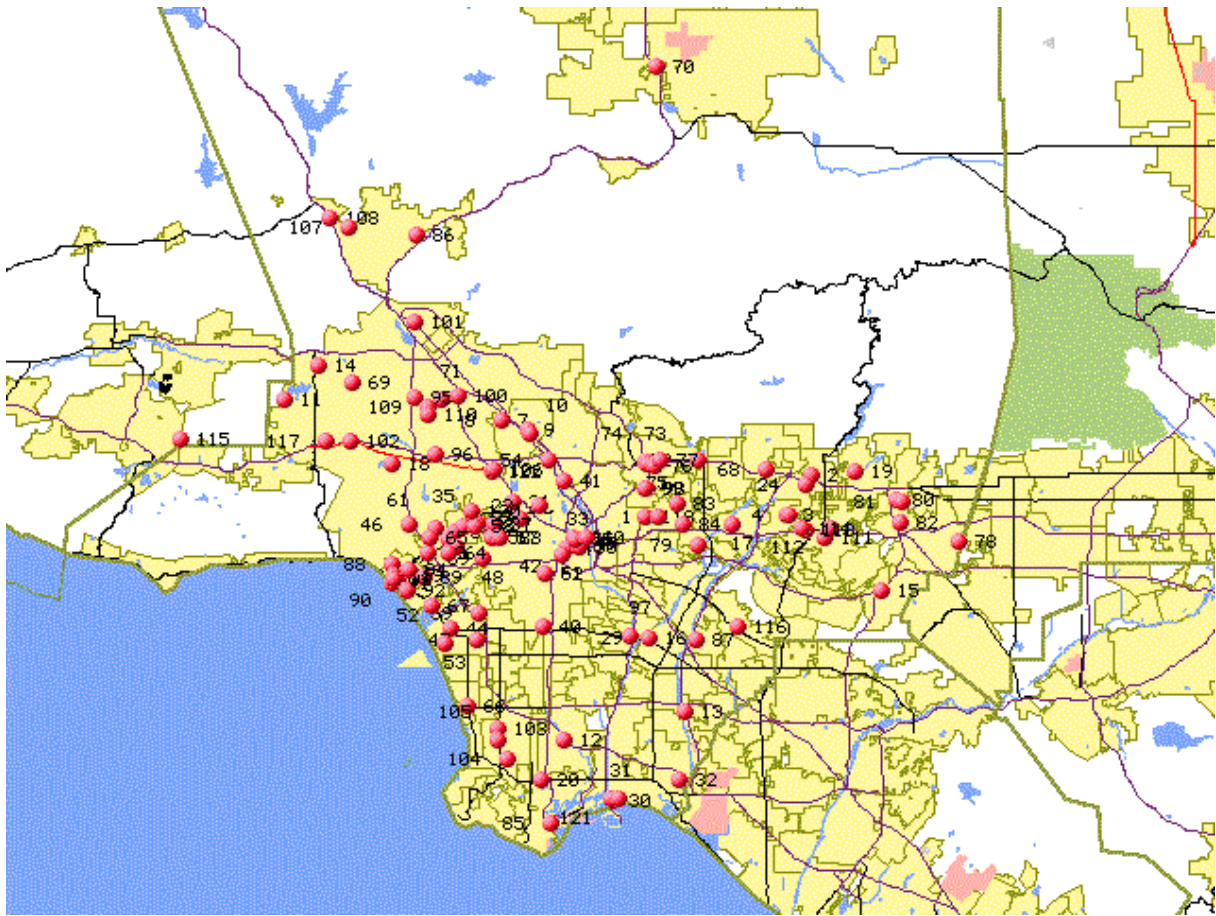
- "Level 1": lading aan laag vermogen, met gewoon 120 V stopcontact, 15 A. Bescherming "mode 2" met kastje in de kabel. Bedoeld om in noodgevallen thuis of elders te laden ("convenience unit").
- "Level 2": het meest gebruikte systeem, vaste aansluiting 240 V, 30 A. Dit systeem kan in de garage worden geïnstalleerd (de kostprijs is echter meer dan € 4.000).
- "Level 3": snellading, die eveneens via de inductieve interface kan worden bewerkstelligd.



Figuur 29: de "Magnecharge" inductieve laadpaddel, die in een sleuf op het voertuig wordt ingebracht

²³ Hierbij komt nog de afwijkende organisatie van de Amerikaanse elektriciteitsnetten tegenover de Europese: de laagspanningsdistributie gebeurt er niet driefasig, maar tweefasig (120 – 0 – 120 V). Een stopcontact van 240 V zou technisch mogelijk zijn, maar dergelijke aansluitingen worden voorbehouden voor vaste toestellen (wasmachine, fornuis, enz.), gezien een gewoon (Mode 1) stopcontact aan 240 V als te "gevaarlijk" beschouwd wordt voor niet-geofende gebruikers. Deze redenering moet tevens in het licht worden gezien van de juridische cultuur eigen aan de Verenigde Staten.

Met name in Californië en Arizona zijn openbare netwerken met Level 2 inductieve laders uitgebouwd. Figuur 30 toont het netwerk van laadpunten in de streek van Los Angeles.



Figuur 30: Publiek toegankelijke inductieve laadstations in Los Angeles en omgeving

3.4.4.3 Conductieve lading

Andere constructeurs, waaronder Ford, ondersteunen meer de conductieve optie. De garage infrastructuur omvat in dit geval een controlebox (met pilotcontact) die "Level 2" lading onder 240 V, 30 A toelaat. Deze box kost ongeveer € 200. Deze functioneert als een "case C" infrastructuur, met de kabel vastgemaakt aan de box. Een typische uitvoering is afgebeeld in Figuur 31.

Dergelijke toestellen worden ook voorgesteld voor gebruik op parkeerplaatsen buiten; de kostprijs voor een laadpaal voor 2 voertuigen bedraagt ongeveer € 1.100. (Figuur 32) Merk op dat deze infrastructuur systematisch van het case "C" is, met de laadkabel vast aan de paal bevestigd.



Figuur 31: Laadbox "Powerpak" voor conductieve lading, voorgesteld door Avcon Corporation (U.S.)



Figuur 32: Conductief laadstation in de Verenigde Staten

Ook voor de conductieve lading is er een openbaar netwerk van laadpunten uitgebouwd. In gans de Verenigde Staten zijn er meer dan 5200 conductieve laadstations, waarvan 3200 in Californië.

Als "convenience charger" (zonder vast geïnstalleerde infrastructuur) wordt er een "Mode 2" laadkabel voorgesteld; de pilot- en lekstroombeveiligingen bevinden zich hier in een kastje in de kabel, vlakbij de stekker.

De introductie van deze Mode 2 lading weerspiegelt het normalisatieproces in de Verenigde Staten waar de "National Electrical Code" (NEC 625) [xix] voorschrijft dat alle laadsystemen (inductief of conductief) de bescherming van het personeel implementeren.

3.4.4.4 Snellaadinfrastructuur

Een netwerk van snellaadstations wordt thans uitgebouwd op Hawaii [xx]. Het gaat hier om 60 en 120 kW²⁴ snelladers geproduceerd door "Aerovironment", die ongeveer € 35.000 kosten. Deze zullen worden geplaatst op parkeerterreinen van winkelketens; op het eiland Oahu werden 18 sites geselecteerd. Het project is mede gericht op het toerisme: de laadinfrastructuur maakt het mogelijk dat toeristen een elektrisch voertuig huren voor hun verplaatsingsbehoeften, en zo ook deze voertuigtechnologie op positieve wijze leren kennen.



Figuur 33: Aerovironment snellaadstation

²⁴ Deze zeer grote laadvermogens maken het noodzakelijk bijzondere maatregelen te nemen voor de beveiliging van de batterij. Met name de druk binnen de batterij moet bewaakt worden. De laders lenen zich zowel voor lood-, nikkel-cadmium en nikkel-metaalhydride batterijen.

3.5 Invloed op het elektriciteitsnet

3.5.1 Vermogenbehoefte van elektrische voertuigen

De introductie van grote aantallen elektrische voertuigen zal aanleiding geven tot een stijging van de behoefte aan elektrische energie. Deze stijging is echter beperkt: volgens een studie verricht door CITELEC zal de extra vraag die gepaard gaat met een introductie van 30%²⁵ elektrische voertuigen in Europa van 3,8% tot 6,7% bedragen, afhankelijk van het rendement van de gebruikte technologieën. Indien men onderstelt dat de elektrische voertuigen voornamelijk 's nachts worden geladen, kan deze extra vraag zonder probleem opgevangen worden door de basiscentrales; er is immers een aanzienlijke overproductiecapaciteit gedurende de daluren. **De extra vraag naar elektriciteit kan dus opgevangen worden door het bestaande productiepark zonder dat dit aanzienlijk moet uitgebreid worden.**

De elektrische energie opgewekt in de centrales moet echter tot de gebruiker worden gebracht, het is dus noodzakelijk aandacht te besteden aan het impact op het lokaal distributienet (middenspanning en laagspanning).

Wanneer men uitgaat van de "gewone" lading, kan het bestaande distributienet²⁶ zonder meer 30% elektrische voertuigen²⁷ opvangen.

Hierbij kunnen de volgende opmerkingen worden gemaakt:

- In tegenstelling tot wat vaak wordt beweerd, kan het openbaar verlichtingsnet niet gebruikt worden voor het aansluiten van elektrische voertuigen ("stopcontact op verlichtingspaal"): dit netwerk is slechts berekend voor de (vrij lage) verlichtingsvermogens en heeft geen vermogensreserve.
- In bepaalde wijken, waar veel elektrische accumulatieverwarming wordt gebruikt, kunnen de distributietransformatoren gedurende de nacht reeds sterk belast zijn. Elektrische accumulatieverwarming werd in het verleden gepropageerd door energieverdelers om de belasting van het net te optimaliseren en is als dusdanig, in het kader van de "peak-shaving"²⁸ strategie van de elektriciteitsproducenten, een "concurrent" van het laden van voertuigen. De laatste jaren wordt elektrische verwarming echter minder en minder toegepast.
- Een aantal oudere transformatoren van beperkt vermogen (100 of 160 kVA) zijn nog in gebruik; deze kunnen vervangen worden door grotere exemplaren (400 kVA) zonder overdreven kosten; deze vervanging is overigens in vele gevallen opgelegd door de campagnes ter verwijdering van PCB transformatoren.

²⁵ Dit getal van 30% stemt overeen met de potentiële penetratie van elektrische voertuigen zoals vermeld in §2.6

²⁶ Volgens studie verricht door VUB-CITELEC op het distributienet van de gemeente EVERE.

²⁷ Dit is vanzelfsprekend veel meer dan het huidig aanwezige aantal voertuigen; voor Brussel zou dit neerkomen op 150.000 elektrische voertuigen.

²⁸ "Peak-shaving": het wegwerken van "pieken" in de belastingscurve over het verloop van de dag. Een constant belasting van het elektriciteitsnet laat immers een maximale efficiëntie en betrouwbaarheid toe.

- Nieuwe onderstations (11 kV/230-400 V) zijn duur en kunnen niet altijd gemakkelijk ingeplant worden in het stedelijk weefsel.
- De gebruiksfactor (voorspelling van de evolutie van de belasting in de tijd) en de simultaneïteitscoëfficiënt moeten in rekening worden gebracht
- Nieuwe aansluitingen tussen het hoogspannings- en het middelspanningsnet zouden zeer kostbaar uitvallen.
- Het inplanten van laadpunten op straat stelt weinig problemen, daar hiervoor extra vertrekken kunnen worden voorzien in de distributiecabines.

3.5.2 Problematiek van de snellading

Snellading kan bijdragen tot het uitbreiden van de reikwijdte en de operationele flexibiliteit van elektrische voertuigen, maar legt een zwaardere belasting op aan het net²⁹.

Gezien de snellading voornamelijk overdag, tijdens de piekuren, zal plaatsvinden, is de marginale kost per kWh er zeer hoog. **Vandaar dat de kostprijs voor de gebruiker ook hoger zal gesteld worden, en dat de snellading voornamelijk beperkt zal blijven tot noodgevallen.**

Het gebruik van snellading met wisselstroom bij hiervoor aangepaste voertuigen laat toe om de voertuigen te gebruiken in het kader van het ogenblikkelijk beheer van het elektriciteitsnet³⁰.

De energie opgeslagen in de batterijen van de elektrische voertuigen die op het net zijn aangesloten, kan hierbij terug in het net worden gevoed om piekbelastingen op te vangen; zij zal dan gedurende een periode van mindere belasting van het net worden aangevuld. Het spreekt vanzelf dat hierdoor de totale tijdsduur van de lading verlengd kan worden, hetgeen zijn invloed zal hebben op de specifieke tarificatie van een dergelijke dienst. De gebruiker zal vergoed worden voor de "peak-shaving" dienst die hij aan het net aanbiedt, door hem bijvoorbeeld de voor het rijden opgenomen energie aan verminderde prijs of zelfs gratis aan te bieden.

²⁹ Een snellader van 36 kW stemt bv. overeen met vier huisaansluitingen (typisch 9 kW)

³⁰ Dergelijke systemen worden o.a. voorgesteld door "Wavedriver" (U.K.)

4 Wpa2: ANALYSE VAN DE MOGELIJKE LOCATIES VOOR DE INSTALLATIE VAN DE LAADPUNTEN IN HET BRUSSELS GEWEST

4.1 Algemeenheden

Momenteel zijn er geen openbaar toegankelijke infrastructuur³¹ voor elektrische voertuigen in het Brussels Hoofdstedelijk Gewest, met uitzondering van de onderzoeks- en demonstratie infrastructuur uitgebouwd bij het laboratorium Elektrotechniek van de V.U.B.

Een beleid dat er op gericht is het gebruik van elektrische voertuigen in Brussel te bevorderen zal er moeten op gericht zijn van openbare laadinfrastructuur te voorzien, niet enkel om de voertuigen effectief te laden, maar tevens omdat de aanwezigheid van dergelijke infrastructuur in het stadsbeeld essentieel is om het elektrisch voertuig aan een groter publiek bekend te maken en om het milieubeleid van de lokale overheden te illustreren.

Gezien de definitieve keuze van een infrastructuur momenteel open is, kunnen de ervaringen opgedaan van andere landen als richtlijn dienen voor het bepalen van de optimale oplossing conform de noden van het Brussels Hoofdstedelijk Gewest.

4.2 Dienstvoertuigen

4.2.1 Algemeenheden – Brandweer

Vandaag de dag vallen vrijwel alle elektrische voertuigen in the Brussels Hoofdstedelijk Gewest onder de noemer “dienstvoertuigen”. Deze voertuigen maken deel uit van een wagenpark (Brandweer, gemeenten, gewestadministratie, enz...) en worden meestal in de stelplaats geladen. Hiervoor blijft de keuze voor Mode 1 lading de meest voor de hand liggende, bij voorkeur gebruik makend van “industriële” stopcontacten (IEC 60309-2) en met vanzelfsprekend de nodige beveiligingsmaatregelen (differentieelschakelaar) aan netzijde³².

Gezien de lading van dienstvoertuigen in een gecontroleerde omgeving plaatsvindt (niet toegankelijk voor het publiek) kunnen de hiervoor gebruikte toestellen worden uitgevoerd zonder toegangscontrole- of betalingsfaciliteiten, en zijn zij derhalve eenvoudiger en goedkoper dan toestellen voor het publiek domein.

Voertuigen die intensief gebruik worden kunnen evenwel baat hebben bij semi-snellading of snellading.

De dienstvoertuigen zullen echter ook baat vinden bij de aanwezigheid van publieke laadinfrastructuur, met name voor gelegheidslading, terwijl anderzijds de zichtbaarheid van elektrische voertuigen in gebruik bij de

³¹ Er zijn over het algemeen geen openbaar toegankelijke stopcontacten, met uitzondering van bv. de verdeelkasten die worden gebruikt voor marktkramers en dergelijke, en die in principe ook kunnen gebruikt worden voor elektrische voertuigen.

³² De IEC 60309-2 accessoires zijn zo bijvoorbeeld ook geselecteerd voor de vloot van 20 elektrische voertuigen in gebruik bij de Stad Oostende.

overheden een niet te onderschatten factor is in de promotie van de voertuigen en in de onderlijning van het milieu- en mobiliteitsbeleid.

De accessoires die gebruikt worden voor deze voertuigen zullen dan best ook compatibel zijn met de te installeren publieke infrastructuur.

4.2.2 Goederendistributie

De belangstelling voor het gebruik van elektrische voertuigen bij de goederendistributie in de stad is ook in het Brussels Hoofdstedelijk Gewest zeer actueel. De stelplaats van een dergelijke voertuigvloot wordt bij voorkeur als volgt uitgerust:

- Eigen Mode 1 stopcontact voor elk voertuig, voor de basislading over de nacht.
- Gemeenschappelijke snellader, voor gelegenheids- of noodlading in functie van de behoeften, om een meer flexibele inzet van de vloot mogelijk te maken.
- Compatibiliteit van de gebruikte accessoires met de uit te bouwen publieke infrastructuur

4.3 Publiek toegankelijke infrastructuur

4.3.1 “Openbare” laadinfrastructuur

Publiek toegankelijke elektriciteitsaansluitingen bestemd voor het laden van elektrische voertuigen moeten voldoen aan de vereisten van Mode 3 om een optimale veiligheid te garanderen. De meeste elektrische voertuigen die thans op de markt zijn kunnen zonder probleem van de Mode 3 laadstations gebruik maken.

Voor het bepalen van de locaties van de openbare laadinfrastructuur in het Brussels Hoofdstedelijk Gewest kunnen een aantal zones worden voorgesteld die in eerste instantie in aanmerking komen om een laadstation uit te bouwen. Hierbij wordt een onderscheid gemaakt tussen de laadstations voor algemeen “openbaar” gebruik enerzijds (gericht op alle EV gebruikers, geplaatst in locaties met hoge activiteit) en op laadstations gericht op “residentiële” gebruikers (geplaatst in residentiële omgevingen) anderzijds, alhoewel alle stations best technisch compatibel zijn teneinde door alle elektrische voertuigen te kunnen gebruikt worden.

Voor de inplanting van deze stations zal worden uitgegaan van de activiteitencentra en verkeersknooppunten op het grondgebied van het Gewest. Op deze locaties kan een groot volume aan EV-verkeer worden verwacht.

In eerste instantie kunnen een tiental sleutellocaties worden voorgesteld:

- A. Het *stadscentrum* (vijfhoek) zal vanzelfsprekend een centrale rol spelen. De voornaamste activiteiten zijn toerisme, handel, vermaak en administratie. Verscheidene parkings in het centrum kunnen worden uitgerust met voorbehouden plaatsen voor elektrische voertuigen. Bovendien kan een laadstation “op straat” worden voorzien voor een duidelijke zichtbaarheid van het beleid op een centrale locatie. Binnen de vijfhoek worden een aantal karakteristieke locaties gedefinieerd.

- B. Het *Noordstation*: vervoersknooppunt (NMBS, MIVB, De Lijn), tevens belangrijk zakencentrum en zetel van gewestelijke administraties.
- C. Het *Zuidstation*: voornaamste spoorwegstation, aangesloten op het hogesnelheidsnetwerk, en aldus toegangspoort tot het Gewest.
- D. De *Europese wijk*: zetel van de Europese instellingen, ideaal geschikt voor beleidsillustrenderende infrastructuur met hoge zichtbaarheid.
- E. Het gebied (Elsene, Etterbeek): universiteiten, kantoren. De activiteiten van de V.U.B. kunnen hier als kiem van de ontwikkeling dienen.
- F. *Woluwe laan*: sterk groeiende zakenwijk, ziekenhuis UCL
- G. *Noord-Oost* (Evere): verbinding met de luchthaven, kantoorontwikkelingen, NATO, ...
- H. *Heizel*, centrum van ontspanningsactiviteiten, tentoonstellingspark
- I. *AZ-Jette*: medisch centrum en vervoersknooppunt in de nabijheid van de grote ring
- J. *Zuid-West* (Anderlecht): Erasmus ziekenhuis met rondom sterk groeiende bedrijfsactiviteiten

Deze locaties zullen worden uitgerust met Mode 3 laadstations: een typische configuratie zal twee tot vijf laadpunten (stopcontacten) omvatten. De te voorziene toename in het aantal elektrische voertuigen in het Gewest zal de noodzaak scheppen van het net te verdichten door nieuwe infrastructuur te voorzien waar nodig.

De exacte lokalisatie van de infrastructuren in de hierboven beschreven zones moet worden bepaald rekening houdend met de volgende, lokale en globale, factoren:

- De beschikbaarheid ter plaatse van bestaande structuren zoals parkings waar de laadpunten kunnen worden ondergebracht. Naast bestaande commerciële parkings komen ook de parkings verbonden aan distributiecentra in aanmerking
- De interactie met andere transportmodi en de intermodaliteit
- Lokale stedenbouwkundige toestand en verkeersplanning. In het bijzonder wordt hier gedacht aan verkeersvrije of -arme zones, waar de elektrische voertuigen een bevoorrechte toegang kunnen krijgen.

4.3.2 “Residentiële” laadinfrastructuur

Een aanzienlijk deel van de privé-voertuigen in het Brussels Hoofdstedelijk Gewest worden enkel of hoofdzakelijk gebruikt voor lokale verplaatsingen binnen het Gewest. Dergelijke taak kan ook door een elektrisch voertuig worden uitgevoerd; het sterk variërend karakter van de privé-ritten is tegenover de individuele gebruiker echter een beperkende factor om effectief een elektrisch voertuig te gaan gebruiken. Het eerlang op de markt verschijnen³³ van hybride voertuigen met “range extender” zal het elektrisch voertuig voor de particuliere gebruiker wel aantrekkelijker maken, gezien langere ritten zoals de traditionele

³³ De “Renault Kangoo Elect’road” met range extender wordt tegen eind 2001 op de Belgische markt verwacht

weekendtrip naar zee mogelijk worden, terwijl in de stad zuinig en zuiver elektrisch kan worden gereden.

Wanneer de bewoner beschikt over een garage of gereserveerde standplaats kan er op eenvoudige wijze een stopcontact worden voorzien om het voertuig op te laden. Er zijn echter tal van woonwijken in het Brussels Hoofdstedelijk Gewest (in het bijzonder de oudere wijken, die dateren van vòòr het massale autobezit), waar weinig of geen garages beschikbaar zijn, en waar de bewoners hun voertuigen op straat stallen.

Teneinde ook voor deze gebruikers het elektrisch voertuig aantrekkelijk te maken, dienen er openbare laadstations in de residentiële zones te worden voorzien.

Een geschikte locatie voor de initiële inplanting van deze stations zijn de omgevingen van de gemeentehuizen van de 19 gemeenten.

Waarom de gemeentehuizen? Deze locaties beschikken over talrijke troeven:

- In de meeste gevallen zijn de gemeentehuizen temidden van de oude woonwijken gelegen
- De gemeenten horen tot de eerste gebruikers van de elektrische voertuigen, en kunnen toegang krijgen tot de laadstations (voor gelegenheidslading weliswaar, de hoofdlading vindt immers in het depot plaats)
- Dit zijn bevoorrechte locaties voor de disseminatie van het beleid en de uitbouw van beleidsillustrerende infrastructuur.
- Meestal is er in de onmiddellijke omgeving van het gemeentehuis een politiepost, hetgeen de objectieve en subjectieve veiligheid bevordert.

Dit stemt overeen met de toestand in Parijs, waar er systematisch laadpunten voorzien worden nabij de gemeentehuizen van de arrondissementen.

Deze “residentiële” laadstations zijn ideaal van hetzelfde type en zijn volledig geïntegreerd met de “openbare” laadstations. Alle laadstations zijn overigens op dezelfde wijze voor alle gebruikers toegankelijk.

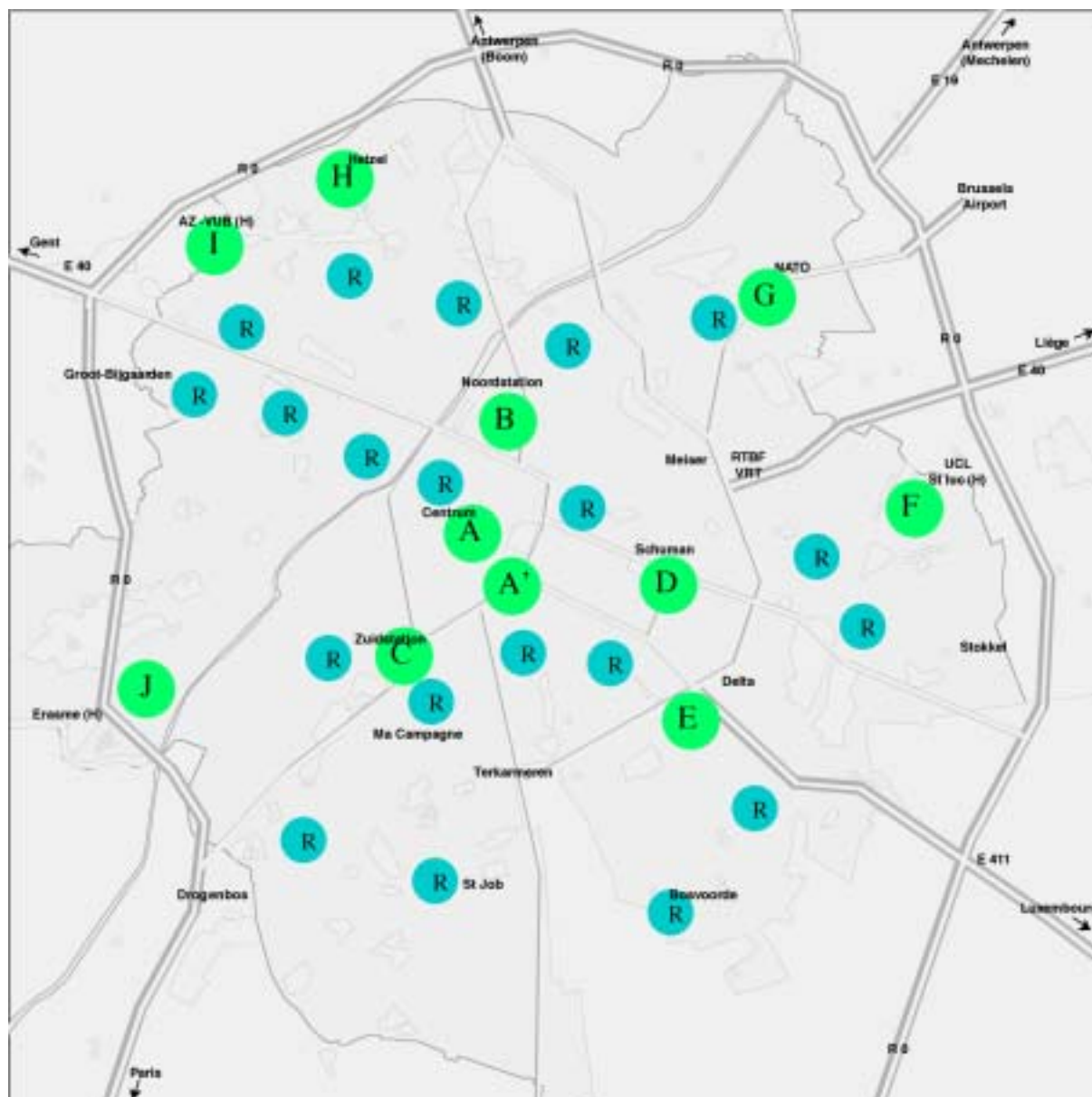
Voor “lokale” gebruikers kan een gunstige tariefregeling voor nachtladen worden ontwikkeld via een bewonersvignet.

Verder dienen de huisvestingsmaatschappijen aangemoedigd te worden om in de aan de appartementen voorbehouden autostandplaatsen systematisch stopcontacten te voorzien³⁴.

Eigenaars van elektrische voertuigen zouden er aanspraak op kunnen maken dat een parkeerplaats met laadfaciliteit in hun straat wordt aangelegd.

Een schematisch overzicht van de voorgestelde ligging van “openbare” en “residentiële” laadstations is afgebeeld in Figuur 34.

³⁴ Bij het laden van elektrische voertuigen moet evenwel aandacht besteed worden aan een voldoende luchtcirculatie; het laden in volledig gesloten garages is derhalve af te raden.



Figuur 34: Voorgestelde locaties voor laadstations in het B.H.G.

4.4 Laadstations op de openbare weg per gemeente

In de volgende bladzijden wordt de effectieve inplanting van zowel de “openbare” als de “residentiële” laadstations in de Brusselse gemeenten, voorgesteld. Telkens werd een laadpaal geplaatst binnen de bestaande parkeerplaatsen op de openbare weg. Deze afbeeldingen zijn zuiver ten titel van voorbeeld gegeven³⁵.

4.4.1 Anderlecht

4.4.1.1 Gemeentehuis

Gemeentehuis, Raadplein.

Plaatsing van het laadstation: publieke parking vòdr het gemeentehuis.

Kenmerken van de omgeving³⁶:

- Typisch woongebied
- Gemengd gebied
- Gebied van collectief belang of van openbare diensten
- Gebied van culturele, historische of esthetische waarde of voor stadsverfaaiing



Figuur 35: Anderlecht, Raadplein

³⁵ De definitieve uitbouw zal bovendien rekening houden met de optimale locatie volgens §4.12.2, de ligging van de elektrische leidingen en bijzondere plaatselijke vereisten

³⁶ Kenmerken van de omgevende blokken volgens het Gewestelijk Bestemmingsplan

4.4.1.2 Erasmus ziekenhuis

Het Erasmus ziekenhuis (ULB) is een sterke groeipool in het zuidwesten van het B.H.G., hetgeen de plaatsing van een laadstation daar verantwoordt.

Kenmerken van de omgeving:

- Gebied van collectief belang of van openbare diensten
- Stedelijk industriegebied



Figuur 36: Anderlecht, Erasmus ziekenhuis (Lennikse baan)

4.4.2 Brussel

4.4.2.1 Residentieel centrum

De omgeving van het stadhuis te Brussel kan nauwelijks “residentieel” genoemd worden en is overigens volledig verkeersvrij.

Als alternatief voor de plaatsing van een laadstation binnen de vijfhoek wordt dan ook de Nieuwe Graanmarkt voorgesteld. Deze buurt kent een heropleving als residentiële wijk, die bovendien zeer “trendy” is, hetgeen mooi aansluit bij het imago van het elektrisch voertuig.

Kenmerken van deze parkeerruimte: betaalde parking met tickets.

Kenmerken van de omgeving:

- Typisch woongebied
- Gebied van collectief belang of van openbare diensten
- Gebied van culturele, historische of esthetische waarde of voor stadsverfaaiing



Figuur 37: Brussel, Nieuwe Graanmarkt

4.4.2.2 Centrum

Het hart van Brussel heeft vanzelfsprekend ook behoefte aan een geschikte locatie. Hiervoor wordt de Magdalenasteenweg voorgesteld: vlakbij de Grote Markt, en ideaal om een infrastructuur met hoge zichtbaarheid uit te bouwen.

Kenmerken van de omgeving:

- Typisch woongebied
- Gemengd gebied
- Gebied van collectief belang of van openbare diensten
- Gebied van culturele, historische of esthetische waarde of voor stadsverfaaiing



Figuur 38: Brussel, Magdalena steenweg

4.4.2.3 Naamsepoort

Het hoger gelegen gedeelte van de stad heeft sterke administratieve en commerciële functies, en mag dan zeker niet ontbreken. Als locatie wordt de Naamse poort (Waterloo laan) voorgesteld.

- Typisch woongebied
- Sterk gemengd gebied
- Gebied van gewestelijk belang
- Administratief gebied
- Gebied van culturele, historische of esthetische waarde of voor stadsverfaaiing



Figuur 39: Brussel, Naamse poort

4.4.2.4 “Europese wijk”



Figuur 40: Brussel, Schuman plein

Het Schumanplein is het hart van de “Europese wijk”. De uitbouw daar van een laadstation kan bij uitstek een beleidsillustrerende maatregel vormen. Kenmerken van de omgeving:

- Administratief gebied

4.4.2.5 Heizel

De Heizelvlakte is één van de voornaamste trekpleisters in Brussel voor wat betreft tentoonstellingen en ontspanningsactiviteiten. Zowel wat het potentieel gebruik van de infrastructuur betreft als wat de uitstraling betreft is deze locatie essentieel. Door haar perifere ligging komt zij bovendien in aanmerking voor de uitbouw van een snellaadstation.

Kenmerken van deze omgeving:

- Gebied van collectief belang of van openbare diensten
- Parkgebied
- Gebied van culturele, historische of esthetische waarde of voor stadsverfaaiing



Figuur 41: Brussel, Eeuwfeestlaan

4.4.2.6 Laken

Laken is grotendeels residentieel van karakter. Als locatie wordt hier het einde van de Tielemans straat voorgesteld, dit is naast het oude gemeentehuis van Laken (Bockstael plaats). Voordeel van deze locatie boven het plein zelf is dat er hier geen interferentie is met de wekelijkse markt.

Kenmerken van deze parking: betalend met tickets, gratis met bewonerskaart.

Kenmerken van de omgeving:

- Typisch woongebied
- Gemengd gebied
- Sterk gemengd gebied
- Gebied van collectief belang of van openbare diensten
- Gebied van culturele, historische of esthetische waarde of voor stadsverfaaiing



Figuur 42: Laken, Tielemansstraat

4.4.3 Elsene

4.4.3.1 Gemeentehuis

Het gemeentehuis van Elsene is gevestigd op het Fernand Cocq plein. Van de rij parkeerplaatsen voor het gemeentehuis wordt voorgesteld er twee voor elektrische voertuigen voor te behouden.

Kenmerken van de omgeving:

- Typisch woongebied
- Gemengd gebied
- Parkgebied
- Gebied van collectief belang of van openbare diensten
- Gebied van culturele, historische of esthetische waarde of voor stadsverfaaiing



Figuur 43: Elsene, F. Cocq plein

4.4.3.2 V.U.B.

De V.U.B. campus is sinds meer dan 20 jaar het centrum van de E.V. activiteiten in het B.H.G. De aldaar beschikbare infrastructuur op het openbaar domein van de campus, thans de enige publieke E.V. infrastructuur in het Gewest, komt eveneens in aanmerking om als publieke infrastructuur uitgebouwd te worden.

Kenmerken van de omgeving:

- Gebied van collectief belang of van openbare diensten

Een alternatieve locatie in de buurt van de V.U.B. is de parking "Delta" (gelegen op grondgebied Oudergem)



Figuur 44: Laadstation V.U.B.

4.4.4 Etterbeek

4.4.4.1 Gemeentehuis



Figuur 45: Etterbeek, Oudergem laan

De openbare parkeergelegenheden voor het gemeentehuis aan de Oudergem laan stellen een prachtige en zeer zichtbare locatie voor een laadstation daar.

Kenmerken van de omgeving:

- Typisch woongebied
- Gebied van collectief belang of van openbare diensten
- Gebied van culturele, historische of esthetische waarde of voor stadsverfaaiing

4.4.5 Evere

4.4.5.1 Gemeentehuis

De omgeving van het gemeentehuis van Evere wordt thans verfraaid. De te voorziene parkeerplaatsen op straat worden weerhouden.

Het gemeentehuis beschikt ook over een publiek toegankelijke ondergrondse parking, deze is evenwel niet geschikt voor de "residentiële" toepassing daar deze 's nachts gesloten is.



Figuur 46: Evere, S. Hoedemakers square

4.4.5.2 Business district

Het noord-oostelijk gedeelte van het B.H.G. is één van de technologische polen met sterke ontwikkeling van bedrijven en heeft tevens een administratieve functie (N.A.T.O., Krijgsmacht). Een locatie op de Leopold III-laan wordt voorgesteld, nabij het kruispunt met de J. Bordet laan.

Kenmerken van de omgeving:

- Administratief gebied
- Stedelijk industriegebied



Figuur 47: Evere, Leopold III laan

4.4.6 Ganshoren

4.4.6.1 Gemeentehuis

Het gemeentehuis van Ganshoren is gevestigd in een pand aan de Keizer Karel laan. De infrastructuur kan slechts geplaatst worden op de (openbare) parkeerstrook vòòr het pand, die thans overigens op generlei wijze is voorbehouden.

Kenmerken van de omgeving:

- Typisch woongebied
- Gebied van collectief belang of van openbare diensten



Figuur 48: Ganshoren, Keizer Karel laan

4.4.7 Jette

4.4.7.1 Gemeentehuis



Figuur 49: Jette, Kardinaal Mercier plein

Hier werd een parkeerplaats op het Kardinaal Mercier plein weerhouden.
Kenmerken van de omgeving:

- Typisch woongebied
- Gemengd gebied
- Parkgebied
- Gebied van collectief belang of van openbare diensten
- Gebied van culturele, historische of esthetische waarde of voor stadsverfaaiing

4.4.7.2 Ziekenhuis

Het academisch ziekenhuis van de V.U.B. te Jette is één van de voornaamste activiteitspolen in het noordoostelijke gedeelte van het B.H.G.

Kenmerken van de omgeving:

- Gebied van collectief belang of van openbare diensten
- Woongebied met residentieel karakter
- Groengebied met hoogbiologische waarde



Figuur 50: Jette, A.Z. V.U.B.

4.4.8 Koekelberg

4.4.8.1 Gemeentehuis

Ook in deze gemeente is er een openbaar parkeerterreintje voor het gemeentehuis, waar het laadstation kan worden ingeplant.

Deze locatie presenteert echter het typisch probleem van de wekelijkse markt.

Kenmerken van de omgeving:

- Typisch woongebied
- Gebied van collectief belang of van openbare diensten
- Gemengd gebied



Figuur 51: Koekelberg, H. Van Huffel plein

4.4.9 Oudergem

4.4.9.1 Gemeentehuis

Hier worden een aantal bestaande parkeerplaatsen weerhouden in de Emiel Idiers straat, die naast het gemeentehuis complex loopt.

Kenmerken van de omgeving:

- Typisch woongebied
- Gebied van collectief belang of van openbare diensten
- Administratief gebied
- Punt van wisselend gemengd karakter



Figuur 52: Oudergem, Emiel Idiers straat

4.4.10 Schaarbeek

4.4.10.1 Gemeentehuis



Figuur 53: Schaarbeek, Colignon plein

Het Colignon plein vòòr het monumentale gemeentehuis van Schaarbeek biedt een prachtig kader voor de installatie van een laadpaal.

Kenmerken van deze parking: betalend met ticket.

Kenmerken van de omgeving:

- Typisch woongebied
- Gebied van collectief belang of van openbare diensten
- Gebied van culturele, historische of esthetische waarde of voor stadsverfaaiing

4.4.10.2 Noordstation

Het Noordstation is niet alleen een verkeersknooppunt, maar tevens een belangrijk administratief centrum.

Kenmerken van de omgeving:

- Administratief gebied
- Spoorweg gebied



Figuur 54: Schaarbeek, Noordstation

4.4.11 Sint-Agatha-Berchem

4.4.11.1 Gemeentehuis

Een kleine openbare parking naast het gemeentehuis biedt hier een goed zichtbare locatie aan.

Kenmerken van de omgeving:

- Typisch woongebied
- Gebied van collectief belang of van openbare diensten
- Gemengd gebied



Figuur 55: Sint-Agatha-Berchem, Koning Albert laan

4.4.12 Sint-Gillis

4.4.12.1 Gemeentehuis

Het monumentale gemeentehuis van Sint-Gillis is het centrum van deze residentiële gemeente en biedt een prachtig kader voor de uitbouw van een laadinfrastructuur.

Kenmerken van de omgeving:

- Typisch woongebied
- Gebied van collectief belang of van openbare diensten
- Gebied van culturele, historische of esthetische waarde of voor stadsverfaaiing



Figuur 56: Sint-Gillis, Van Meenen plein

4.4.12.2 Zuidstation



Figuur 57: Sint-Gillis, Zuidstation

Het grootste spoorwegstation van het B.H.G. is een essentiële locatie³⁷ voor een laadstation.

Kenmerken van de omgeving:

- Administratief gebied
- Spoorweg gebied

³⁷ Gezien de werken die thans nog in de omgeving van het Zuidstation plaatsvinden is de locatie van de foto als voorlopig te beschouwen

4.4.13 Sint-Jans-Molenbeek

4.4.13.1 Gemeentehuis

Het gemeentehuis van Sint-Jans-Molenbeek vormt het centrum van één van de dichtst bevolkte buurten in het B.H.G.

Kenmerken van de omgeving:

- Typisch woongebied
- Gebied van collectief belang of van openbare diensten
- Sterk gemengd gebied
- Gebied van culturele, historische of esthetische waarde of voor stadsverfaaiing



Figuur 58: Sint-Jans-Molenbeek, Gemeente plein

4.4.14 Sint-Joost-ten-Node

4.4.14.1 Gemeentehuis

Dit is tevens vlakbij de voornaamste administratieve centra gelegen.

Kenmerken van de omgeving:

- Typisch woongebied
- Administratief gebied
- Gebied van collectief belang of van openbare diensten
- Parkgebied
- Gebied van culturele, historische of esthetische waarde of voor stadsverfaaiing



Figuur 59: Sint-Joost-ten-Node, Sterrekunde laan

4.4.15 Sint-Lambrechts-Woluwe

4.4.15.1 Gemeentehuis

Kenmerken van de omgeving:

- Typisch woongebied
- Gebied van collectief belang of van openbare diensten
- Parkgebied
- Gebied van culturele, historische of esthetische waarde of voor stadsverfaaiing



Figuur 60: Sint-Lambrechts-Woluwe, Paul Hymans laan

4.4.15.2 Ziekenhuis



Figuur 61: Sint-Lambrechts-Woluwe, Ziekenhuis St. Luc, Hippocrates laan

Het ziekenhuis St. Luc (U.C.L.) is één van de voornaamste polen van het oostelijk B.H.G.

Kenmerken van de omgeving:

- Gebied van collectief belang of van openbare diensten

4.4.16 Sint-Pieters-Woluwe

4.4.16.1 Gemeentehuis

Kenmerken van de omgeving:

- Typisch woongebied
- Gebied van collectief belang of van openbare diensten
- Woongebied met residentieel karakter



Figuur 62: Sint-Pieters-Woluwe, Thielemanslaan

4.4.17 Ukkel

4.4.17.1 Gemeentehuis

Deze locatie is midden een typisch residentiële omgeving gelegen.

Kenmerken van de omgeving:

- Typisch woongebied
- Gebied van collectief belang of van openbare diensten
- Parkgebied
- Gebied van culturele, historische of esthetische waarde of voor stadsverfaaiing



Figuur 63: Ukkel, Jean Van der Elst plein

4.4.18 Vorst

4.4.18.1 Gemeentehuis

Kenmerken van de omgeving:

- Typisch woongebied
- Gebied van collectief belang of van openbare diensten
- Parkgebied
- Gemengd gebied
- Sterk gemengd gebied
- Gebied van culturele, historische of esthetische waarde of voor stadsverfaaiing



Figuur 64: Barcelonastraat, Vorst

4.4.19 Watermaal-Bosvoorde

De parkeerplaatsen rond het gemeentehuis van Watermaal-Bosvoorde zijn een prima locatie voor de uitbouw van een laadstation³⁸.

Kenmerken van de omgeving:

- Typisch woongebied
- Woongebied met residentieel karakter
- Gebied van collectief belang of van openbare diensten
- Gebied van culturele, historische of esthetische waarde of voor stadsverfaaiing



Figuur 65: Watermaal-Bosvoorde, A. Gilson plein

³⁸ Tijdens de opnames werd hier overigens een elektrisch voertuig waargenomen, zie foto

4.5 Betalende parkings

Bestaande parkeerterreinen of parkeergarages (met inbegrip van parkeerterreinen bij winkelcentra) zijn bovendien geschikt om laadinfrastructuur voor elektrische voertuigen te implementeren zonder dat er moet ingegrepen worden op de openbare weg. Bovendien kan men op die plaatsen afzien van een specifieke toegangs- en betaalfaciliteit (integratie in parkeertarief), wat de infrastructuur veel goedkoper en eenvoudiger maakt.

Te dien einde werden er contacten gelegd met Interparking N.V., de voornaamste parking uitbater in het B.H.G., teneinde hun interesse in het concept na te gaan. **De belangstelling van Interparking om deel te nemen aan het project en om in een aantal parkings een (beperkt) aantal voorbehouden plaatsen voor elektrische voertuigen te voorzien, bleek echter zeer gering te zijn.**

Voor wat het beleid betreft, kan in de toekomst de aanwezigheid van laadinfrastructuur deel opgelegd worden in het kader van de uitbatingsconcessie van de parkings.

4.6 Automatische uitleensystemen (Car-sharing)

Het principe van autodelen, of car-sharing, wordt voorgesteld teneinde een betere benutting van het wagenpark toe te laten en teneinde ook de parkeerdruk te verminderen. Elektrische voertuigen lenen zich zeer goed tot car-sharing systemen in het stedelijk milieu, voornamelijk onder de vorm van automatische uitleensystemen die een vorm zijn van geïndividualiseerd openbaar vervoer. Een experimenteel automatisch uitleensysteem met elektrische voertuigen werd van 1979 tot 1990 uitgebaat aan de VUB, met 9 voertuigen en uitleenstations op de campussen Oefenplein en Jette [xxi],[xxii]

Wat betreft de laadinfrastructuur die voor dergelijke systemen moet worden voorzien kan het voordelig zijn om een compatibiliteit met de algemene laadinfrastructuur na te streven, zij het dan dat voor dit type voertuigen uit de aard der zaak een interactie en dialoog met de gebruiker noodzakelijk is. Deze kan echter op voertuig niveau gebeuren (door communicatie via hertzkabel met het voertuig)³⁹, eerder dan op laadstation niveau. Op dergelijke manier kunnen voertuigen van een uitleensysteem mede gebruik maken van de hierboven genoemde laadstations.

De ervaringen met het Liselec systeem van La Rochelle kunnen aldus op positieve manier naar Brussel toe uitgebouwd worden.

Als locatie voor de uitleenstations kunnen bijvoorbeeld ook bestaande betalende parkings dienen, welke aldus een bijkomende activiteit met een belangrijke meerwaarde creëren.

³⁹ Zie ook 3.4.1.3. (Liselec systeem)

4.7 Snellaadstations

Zoals hierboven aangetoond in de bespreking van het Franse voorbeeld, kan tevens overwogen worden een beperkt aantal snellaadstations te voorzien. Hiervoor zijn de perifere laadstations de meest aangewezen locatie, gezien de nood voor snellading onder meer zal ontstaan wanneer de elektrische voertuigen gebruikt worden voor ritten naar bestemmingen buiten het grondgebied van het Gewest.

In eerste instantie kunnen volgende locaties worden voorgesteld:

- een noordwestelijke locatie in de omgeving van de Heizel: enerzijds een centrale activiteitspool, anderzijds gelegen in de omgeving van de uitvalswegen
- een zuidoostelijke locatie in de omgeving van Delta

De snellaadstations zijn echter gekenmerkt door een zeer hoge kostprijs en door een zwaardere en dus duurder elektrische aansluiting.

Snellaadstations zijn beschikbaar bij de Franse firma SGTE, die onder andere het netwerk snelladers voor EDF heeft verwezenlijkt.

Zij stelt thans de volgende producten voor:

- Snellader type BRR 36 kW "Entreprise". Dit toestel, bestemd voor opstelling in garage of stelplaats⁴⁰ wordt aangeboden aan de volgende voorwaarden:

○ Kostprijs	€ 11.586
○ Oplevering en opleiding	€ 415
○ Totaal (excl. BTW)	€ 12.001



Figuur 66: Snellader voor garage opstelling

⁴⁰ Mits hiervoor vanzelfsprekend een voldoende zware elektrische aansluiting (40 kVA) beschikbaar is!

- Snellader type BRR 36 kW met betaalsysteem, gemonteerd in kast voor montage op de openbare weg (cf. Figuur 19):
 - Kostprijs € 35.758
 - Oplevering en opleiding te definiëren
 - Aanpassing betaalsysteem⁴¹ € 2.875
 - Elektrische aansluiting⁴² € 2.744
 - Totaal (zonder plaatsing en oplevering, excl. BTW) € 41.377

Rekening gehouden met de opleverkosten, betekent dit bijna €42.000 per snellaadstation; voor de prijs van één snellaadstation kunnen er (cf. §4.10.1) een tiental gewone laadstations (met elk 2 stopcontacten van 16A, geschikt voor 32A) geplaatst worden.

4.8 Laadstations voor tweewielers

De promotie van het gebruik van elektrische tweewielers maakt het noodzakelijk om ook voor deze voertuigen een aangepaste infrastructuur te voorzien.

Elektrische scooters kunnen zonder veel problemen gebruikmaken van hetzelfde type laadpunten als vierwielige elektrische voertuigen; voor de fietsen daarentegen is met de huidige stand van de techniek en het aanbod op de markt (afzonderlijke laders) vooral het laden in bewaakte en afgesloten ruimtes de optie.

⁴¹ Betaalsysteem gebaseerd op de Franse betaalkaarten EDF. Voor gebruik in België, bijvoorbeeld met de Proton kaart, is een extra kost te voorzien van € 875 (cf. §5.6.3.4), en bovendien nog de kostprijs van het aanpassen van de software (€ 4.000 eenmalig, of € 2.000 per laadpaal indien men 2 snellaadstations veronderstelt, in het laatste geval wordt de totale extra kostprijs € 2.875 per laadpaal)

⁴² Kostprijs van een extra aansluiting 40 kVA op de openbare weg (Sibelgaz)

4.9 Keuze van de infrastructuur

4.9.1 Gebruikte accessoires

Voor de uitbouw van een efficiënte laadinfrastructuur in het Brussels Hoofdstedelijk Gewest is het noodzakelijk een verantwoorde keuze te maken van de infrastructuur, met name het type accessoires, dit teneinde een optimale oplossing te vinden die rekening houdt met de volgende aspecten:

- Betrouwbaarheid
- Veiligheid
- Kostprijs
- Compatibiliteit met bestaande infrastructuur

Teneinde aan de beide eerste voorwaarden te voldoen, verdient het aanbeveling accessoires te kiezen die in het algemeen voldoen aan de normen IEC 60309-1 [xviii] en, voor wat de infrastructuur op de straat betreft, aan IEC 62196 [xvii].

De analyse van de ervaringen in andere landen laat toe de volgende besluiten te trekken:

- De meeste elektrische voertuigen die op de Europese markt verkrijgbaar zijn worden uitgerust met een ingang aan voedingszijde die voldoet aan IEC 61851-21 [xxiii] en die de “Maréchal” connector aanvaardt; deze ingang is zowel geschikt voor gewone lading en snellading.
- Het gebruik van “huishoudelijke” accessoires voor elektrische voertuigen is niet aanbevolen.
- “Industriële” accessoires (IEC 60309-2) zijn te verkiezen. Voor Mode 1 lading (bv. in garages) kunnen dergelijke accessoires tegen een zeer bescheiden kostprijs (een standaard 16 A stopcontact kost minder dan € 10) voorzien worden.
- Wanneer men de verhoogde veiligheid van Mode 3 wenst, zijn er verschillende oplossingen beschikbaar op de Europese markt:
 - “Framatome” stekker (Frankrijk - Figuur 16): is weliswaar compatibel met de Franse (en ook Belgische) huishoudelijke stekker voor Mode 1 lading, maar is zeer duur (€ 100) en technisch niet betrouwbaar. Af te wijzen.
 - “Scame” stekker (Italië - Figuur 28): specifieke oplossing voor EV, laat Mode 1 en Mode 3 toe. Specifieke infrastructuur, niet compatibel met gewoon materiaal.
 - “Mennekes” stekker (Zwitserland/Duitsland - Figuur 26): is compatibel met IEC60309-2 accessoires. De versie met pilootcontact laat semi-snelle lading toe aan 32 A, mits natuurlijk het elektrisch voertuig hiervoor is uitgerust (“booster” lader)
 - “Case C” lading (cf. Figuur 18): hierbij is de kabel vast aan het laadstation bevestigd; de verbinding met het voertuig gebeurt via een connector. De pilootfunctie is hierbij verzekerd. Nadeel van dit systeem is de kabel, die bij niet-gebruik van het laadstation potentieel blootgesteld is aan vandalisme. Dit systeem zal dus eerder geschikt zijn voor gebruik in (afgesloten) parkeerruimtes.

De tweede en derde optie lijken hier de meest interessante te zijn, waarbij de “Mennekes” als bijkomend voordeel de compatibiliteit met IEC 60309-2 biedt. De overgang van Mode 1 naar Mode 3 wordt hierdoor eenvoudiger.

De “Scame” stekker is thans in normale productie. Een aantal stalen zijn geleverd aan de V.U.B., waar een elektrisch voertuig (Peugeot 106) met dergelijke stekker is uitgerust. Een DBT laadstation (zoals afgebeeld in Figuur 18) werd voorzien van een “Scame” stopcontact dat het oorspronkelijke “Framatome” stopcontact verving. Het voertuig is reeds enkele maanden in gebruik met deze accessoires; tot nog toe werden geen problemen vastgesteld.

Verdere met deze stekkers zijn eveneens voorzien, zo bijvoorbeeld proeven aan grote stroom (32 A) om de geschiktheid voor semi-snellading na te gaan.

Een “Mennekes” stekker en stopcontact zullen eveneens door de V.U.B. getest worden van zodra voorradig (verwacht tegen midden 2002); de resultaten van deze proeven zullen een advies voor de definitieve keuze van de accessoires toelaten.

Voor wat de vergrendeling van de stekker in het stopcontact betreft (vereist voor infrastructuur op straat teneinde loskoppelen door onbevoegden te voorkomen), gaat de voorkeur uit naar een systeem gebaseerd op een afsluitbaar luik met sleutel, zoals afgebeeld in Figuur 18 of Figuur 24. Een looper die past op alle laadstations kan dan ter beschikking gesteld worden van alle EV-gebruikers.

Systemen die de stekker in het stopcontact automatisch vergrendelen zijn eveneens ontworpen (Figuur 15), maar deze zijn zeer complex en duur, bovendien maken zij gebruik van de (voor Brussel niet weerhouden) “Framatome” stekker.

4.9.2 Gebruikte laadpalen

De in het openbaar domein te plaatsen infrastructuur moet vanzelfsprekend in de stedelijke omgeving worden geïntegreerd – het gaat hier immers om “stadsmeubilair”.

De eenvoudigste en goedkoopste oplossing, die erin bestaat van de stopcontacten te monteren op standaard grijze kunststof kasten, kan daarom niet worden weerhouden, temeer daar de plaatsing van bijkomende dergelijke kasten door tal van gemeenten wordt afgewezen, in het bijzonder op de centrale locaties die worden voorgesteld.

Een dergelijke kast is, naargelang de uitvoering, beschikbaar voor een bedrag van ongeveer € 750.

Een mooiere oplossing bestaat erin paaltjes te gebruiken die specifiek zijn bedoeld voor elektriciteitsdistributie op het openbaar domein. Dergelijke infrastructuren worden bijvoorbeeld aangeboden door verschillende leveranciers.

4.9.2.1 Paaltjes van de firma HESS.

Deze paaltjes zijn stevig uitgevoerd van verzinkt staal; het deksel is voorzien van een uitsparing om bij gesloten deksel doorgang voor de kabels toe te laten.

Een bijkomend, afzonderlijk afsluitbaar, compartiment, laat plaats aan de beveiligingen.

Deze palen zijn in verschillende types verkrijgbaar; in Figuur 67 tot Figuur 72 zijn enkele uitvoeringen afgebeeld.



Figuur 67: Paal type Toledo 250 (Hess)
Hoogte 1215 mm; diameter 245 mm



Figuur 68: Paal type Toledo 350 (Hess)
Hoogte 1108 mm; diameter 350 mm



Figuur 69: Paal type Madrid (Hess)
Hoogte 1107 mm; diameter 245 mm



Figuur 70: Paal type Morano (Hess)
Hoogte 1215 mm; diameter 245 mm

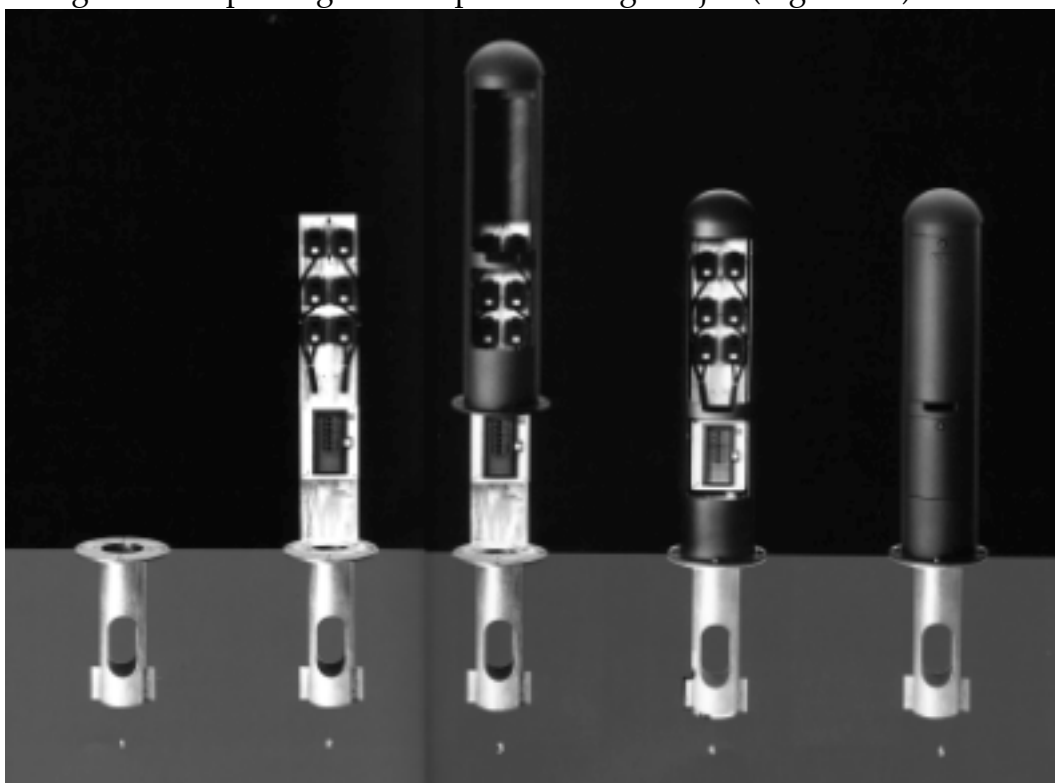


Figuur 71: Paal type Cadiz (Hess)
Hoogte 1300 mm; diameter 300 mm



Figuur 72: Paal type Toro (Hess)
Hoogte 1200 mm; breedte 240 mm

De montage van de palen gebeurt op eenvoudige wijze (Figuur 73).



Figuur 73: Montage van de HESS paal

Van de Belgische invoerder⁴³ bekwamen we de prijzen uit Tabel XI. Deze zijn bruto catalogusprijzen (exclusief BTW), zonder de accessoires en zonder de plaatsing.

<i>Type</i>	<i>Artikel nummer</i>	<i>Prijs</i>
Toledo 250 (Figuur 67)	60.12405.0	€ 1661,18
Toledo 350 (Figuur 68)	60.12404.0	€ 2959,49
Madrid (Figuur 69)	60.14600.0	€ 1661,18
Morano (Figuur 70)	60.14401.0	€ 1784,16
Cadiz (Figuur 71)	60.11705.0	€ 2876,53
Toro (Figuur 72)	60.14202.0	€ 1846,66
Ronda (z.afb.)	60.13600.0	€ 2618,78

Tabel XI: Prijzen van HESS materiaal

Deze prijs kan vergeleken worden met de Zwitserse E-totem paal (Figuur 24): zonder accessoires kost deze € 2938,40. Deze paal is echter van plastic gemaakt (met intern kader van staal). Door de vertegenwoordigers van de intercommunales wordt erop gewezen dat straatmeubilair in Brussel tegen een stootje moet kunnen, zeker als het geplaatst wordt in de onmiddellijke omgeving van parkeerplaatsen. Volledig stalen palen lijken dus te verkiezen.

Dezelfde opmerkingen kunnen ook gemaakt worden ten opzichte van de standaard kunststof kasten, die € 750 kosten.

De keuze van het type paal is gedeeltelijk gebaseerd op esthetische overwegingen, maar hangt ook samen met de beperkingen voor wat betreft de elektrische aansluiting. Indien een tellerkast vereist is in de paal, moet hiervoor de ruimte beschikbaar zijn (25 x 23 cm); **hiervoor komt waarschijnlijk enkel de paal Toledo 350 in aanmerking.**

4.9.2.2 Paaltjes van de firma MENNEKES

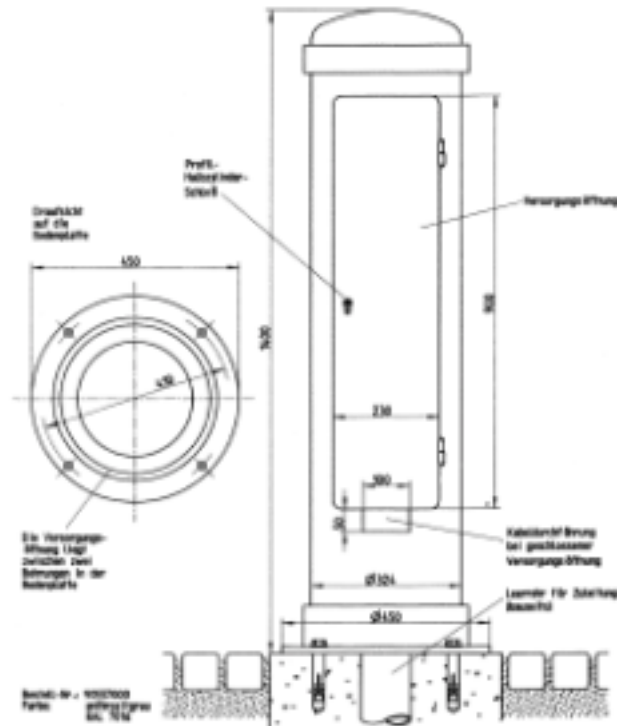
De firma MENNEKES, producent van elektrisch aansluitmateriaal, biedt eveneens een aantal geschikte paaltjes aan.

De paal van Figuur 74 is gemaakt van vuurverzinkt staal met poedercoating, en is bestand tegen vandalisme. Figuur 75 toont een voorbeeld van elektrische aansluiting (niet specifiek voor elektrische voertuigen) van deze paal. De kostprijs van de paal bedraagt € 1.949.⁴⁴

Het voordeel van deze paal tegenover de Hess palen is dat de deur **scharnierend** is i.p.v. uitneembaar, hetgeen ontegensprekelijk verkieslijk is voor infrastructuur die op de openbare weg wordt geplaatst; een losse deur zou op één of andere manier moeten gesolidariseerd worden met de paal (bv. met ketting), om verlies te voorkomen.

⁴³ Deze materialen worden ingevoerd door de firma Zumtobel Staff te Puurs

⁴⁴ Deze prijs werd rechtstreeks medegedeeld door de constructeur in Duitsland



Figuur 74: Mennekes paal



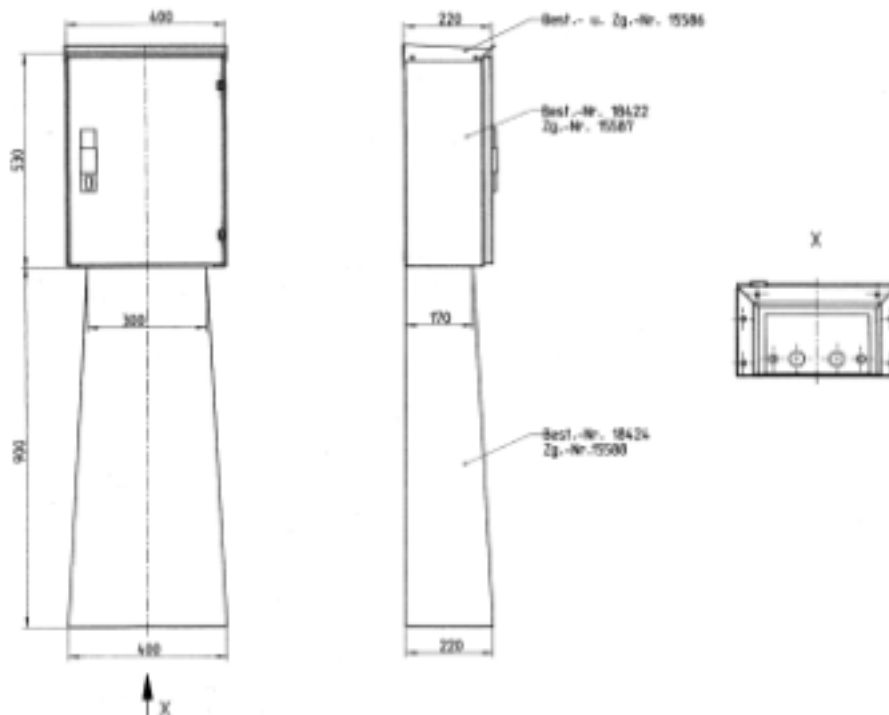
Figuur 75: Voorbeeld van aansluiting van deze paal

Een andere uitvoering is afgebeeld in Figuur 76. Deze bestaat uit een kastje uit roestvrij staal, op voet geplaatst. De prijs van dit geheel bedraagt € 1.469.

De firma Mennekes heeft op 18/12/2002 een offerte opgemaakt voor 30 palen van dit type, volledig bestukt en bedraad met 2 stopcontacten, beveiligingen (automatische zekering, differentieelschakelaar, Mode 3 lading), aan de prijs van € 6.965⁴⁵ per paal.

Begin 2003 zal een prototype van deze paal worden voorgesteld.

⁴⁵ Deze prijs is nog voor onderhandeling vatbaar!



Figuur 76: Mennekes laadkolom

4.9.3 Aansluitproblematiek

Al deze palen moeten vanzelfsprekend worden aangesloten op het elektriciteitsnet. De aansluitingen geleverd door de elektriciteitsdistributeur omvatten:

- Een hoofdschakelaar (automatische schakelaar): voor een laadpaal met 2 stopcontacten van 16A is een schakelaar van 40A te voorzien.
- Een teller. Er worden hoofdzakelijk elektromagnetische Ferraris-tellers ingebouwd; elektronische tellers zijn niet volledig erkend voor commerciële telling en moeten bovendien periodiek herijkt worden. De inbouw van een teller vereist een kastje van 25 x 30 cm, in de "smallere" palen is hiervoor moeilijk ruimte te vinden. De teller zou kunnen ingebouwd worden in een afzonderlijke "Geyer" kast; dit veroorzaakt vanzelfsprekend een bijkomende visuele belasting en een bijkomende kost. De teller zou kunnen vermeden worden indien de leverancier een forfaitaire tarificatie aanvaardt (zie ook §6.6.4).

Voor de kostprijs van de aansluiting werd contact genomen met de intercommunale Sibelgaz, die de volgende prijzen voorstelde:

4.9.3.1 Geval A: rechtstreekse aansluiting van de paal

Deze oplossing komt in aanmerking als de gekozen locatie van de paal zich **minder dan 4 meter** van een verdeelkabel bevindt. In dit geval wordt een rechtstreekse aansluiting gemaakt naar de paal. In de paal moet een kastje geplaatst worden met teller en zekering.

De kostprijs per paal (excl.BTW) zou hierbij neerkomen op:

- € 1.511,04 voor een aansluiting 32 A⁴⁶
- € 1.547,48 voor een aansluiting 63 A⁴⁷

Het lijkt hier in elk geval verantwoord om voor de zwaardere aansluiting te kiezen, gezien de geringe meerprijs enerzijds en gezien dit de flexibiliteit van de laadpalen sterk verhoogt door semi-snelle lading toe te laten⁴⁸, en dit aan een fractie van de prijs van een afzonderlijke snellader.

4.9.3.2 Geval B: onrechtstreekse aansluiting via kast

Indien de gekozen locatie van de paal zich **meer dan 4 meter** van een verdeelkabel bevindt, wordt er geopteerd om een bijkomende kunststof kast te plaatsen bij de verdeelkabel, hierin worden de tellerkastjes geplaatst, en vandaar gaat er een kabel (ten laste van de klant) naar de paal.

Alhoewel er in dit geval geen tellerkast in de paal moet komen (en dus slankere palen kunnen worden geplaatst) geldt hierbij het nadeel er een bijkomende grijze kunststof kast moet worden geplaatst, hetgeen een ontsierend aspect heeft en niet door alle gemeenten zal aanvaard worden.

De kostprijs per paal (excl. BTW) zou hierbij neerkomen op:

- € 1.908,81 voor een aansluiting 32 A
- € 1.945,25 voor een aansluiting 63 A

4.9.4 Accessoires van de landpaal zelf

Het betreft hier de feitelijke uitrusting van de laadpaal; deze moet voor elk laadstopcontact voorzien worden van:

- Een automatische zekering
- Een verliesstromschakelaar
- Een inrichting voor het besturen van het pilootcontact: elektronische schakeling en contactor. Deze wordt bv. aangeboden door de Zwitserse firma Brusa (Figuur 77)
- Een stopcontact geschikt voor piloot (SCAME aan € 22,78 of MENNEKES aan € 30⁴⁹). De definitieve keuze van het materiaal zal afhangen van de praktische proeven uit te voeren door de VUB op de Mennekes stekker wanneer deze beschikbaar is.

De firma Brusa biedt ook een volledige kit, afgebeeld in Figuur 78, aan met pilootcontact, contactor en beveiligingen, eveneens geschikt voor 32 A semi-snellading, tegen € 500.⁵⁰

⁴⁶ Geschikt voor 2 stopcontacten gewone lading

⁴⁷ Geschikt voor 2 stopcontacten semi-snelle lading

⁴⁸ De semi-snelle lading is thans op de meeste voertuigen slechts als nabouwoptie voorzien, maar zal zich wellicht in de toekomst veralgemenen

⁴⁹ Dit is een te verwachten prijs bij serieproductie van het materiaal, vanaf midden 2002.

⁵⁰ Dit materiaal zal geïmplementeerd worden in de uitbreiding van het VEL project in Ticino. De prijs is de te verwachten prijs bij productie (vanaf augustus 2002), zoals medegedeeld door Brusa.



Figuur 77: BRUSA wallbox controller met piloot



Figuur 78: Brusa wallbox met beveiligingen

4.10 Financiële aspecten van het voorstel

4.10.1 Investeringskost: de paal en zijn aansluiting

Rekening houdend met de gegevens hierboven, komen we tot de kostprijs in Tabel XII voor de in Brussel te voorziene palen. Hierop zijn vanzelfsprekend nog varianten mogelijk, naargelang het gekozen type paal⁵¹, en de uitrustingen.

Paal	Toledo 250	€	1.661,18
Accessories	Beveiligingen 2 @ € 500 elk	€	1.000,00
	Stopcontacten 2 @ € 30 elk	€	60,00
	Cilinder slot (Park&Charge)	€	34,00
Aansluiting	63 A rechtstreeks	€	1.547,48
Totaal		€	4.302,66

Tabel XII: Onkosten per paal – 2 aansluitingen semi-snellading

Varianten met andere palen:

Toledo 250	€ 4.302,66
Toledo 350	€ 5.600,97
Madrid	€ 4.302,66
Morano	€ 4.965,67
Cadiz	€ 5.526,01
Toro	€ 4.488,14
Ronda	€ 5.260,26
Mennekes	€ 4.590,48
Mennekes op voet	€ 4.110,48

Tabel XIII: Totale kosten voor verschillende typen palen

Al deze prijzen zijn te verstaan exclusief BTW en zonder montage- en plaatsingskosten. De plaatsing van de paal kan gebeuren door de regie van de gemeente; de montage van de elektrische onderdelen kan hetzij bij de constructeur van de paal hetzij bij Sibelgaz gebeuren.

Voor de volledig bestukte paal van Mennekes bedraagt de prijs inclusief aansluiting € 8512,48.

⁵¹ Het type Toledo 250 is hier slechts ten titel van voorbeeld gegeven; bij inbouw van een teller in de paal zijn mogelijk de “bredere” palen aangewezen

Voor een “onrechtstreekse” aansluiting (met aparte kast van de intercommunale) is er een meerprijs van € 397.77 te voorzien, maar kunnen anderzijds in elk geval de “smallere” palen gekozen worden.

Ter vergelijking:

- kostprijs van een paal met 2 stopcontacten, gewone lading, voorzien van **Proton betaalsysteem** (cf. Tabel XIV in §5.6.3.4, p.123):

€ 16.000

- kostprijs van een **snellaadstation** voor openbare weg (cf. §4.7, p.94):

€ 41.377

4.10.2 Totale kost van het project

Voor de voorgestelde 31 laadstations in dit project komt de totale kostprijs (zonder BTW en plaatsingskosten) op het volgende:

4.10.2.1 Laadpalen semi-snellading zonder betaalsysteem

31 laadstations met elk twee stopcontacten voor semi-snellading⁵²; naargelang de keuze van de paal zal de prijs variëren:

€ 127.424,88 tot € 173.630,07
(zonder montage)

€ 263.886

(met inbegrip van de bestukking en bedrading van de palen)

4.10.2.2 Laadpalen gewone lading met Proton betaalsysteem

31 laadstations met twee stopcontacten, voorzien van betaalsysteem:

€ 496.000

Het is duidelijk dat de optie “betaalsysteem”, met een driemaal hogere investering, niet te verantwoorden is.

4.10.2.3 Snelladers

2 snellaadstations voor plaatsing op de openbare weg, met betaalsysteem (§4.7):

€ 82.754

⁵² Deze laadstations zijn vanzelfsprekend ook geschikt voor de gewone lading!

4.10.3 Exploitatiekost: elektriciteitsverbruik

De exploitatiekosten van de laadstations zijn terug te brengen op het elektriciteitsverbruik, dat vanzelfsprekend afhangt van het feitelijk gebruik dat ervan gemaakt wordt. Ter vergelijking enige cijfers over het typisch verbruik in andere landen.

- In Parijs [xv] vertonen de goed gebruikte laadstations een dagelijks verbruik van 11 kWh voor de goed gebruikte laadstations⁵³; het een maximum praktisch verbruik haalbaar voor één paal bedraagt 22 kWh. De 11 kWh stemt hierbij ongeveer overeen met een feitelijke laadduur van drie tot vier uur in hoofdloading, of met een afstand⁵⁴ van 55 km
- De openbare laadstations in Zwitserland kennen een kleiner verbruik [xxiv], namelijk ongeveer 2 kWh per stopcontact en per dag gemiddeld. Dit is enerzijds toe te schrijven is aan het gebruik van “kleine” elektrische voertuigen in dat land, en anderzijds aan het feit dat het grootste deel van de lading van de elektrische voertuigen over het algemeen 's nachts in de gewone stelplaats plaatsvindt. De openbare laadpalen zullen worden gebruikt voor gelegenheidsloading overdag, overeenstemmend met ongeveer 20% van het energieverbruik.

De verbruikskost per dag zou hiermee in Brussel voor het eerste geval (11 kWh) € 1,7556 per dag bedragen, en voor het tweede geval (2 kWh) € 0,3192.

Voor de 31 voorziene laadpalen geeft dit een totaal verbruik per dag van € 54,42 resp. € 9,895; voor een jaar (365 dagen) geeft dit respectievelijk € 19.864,61 en € 3.611,75 voor het totaal park aan laadpalen.

Deze richtwaarden zijn slechts gebaseerd op de ervaringen in andere landen, het werkelijk verbruik te Brussel zal afhangen van het effectief gebruik van de palen. In een eerste fase zal het verbruik gering zijn, doordat de infrastructuren slechts geleidelijk aan in gebruik worden genomen met een toename van het aantal elektrische voertuigen. Bovendien zullen de palen voornamelijk gebruikt worden voor gelegenheidsloading.

Bovendien moet gesteld worden dat deze kostprijs overeenstemt met het gewone elektriciteitsstarief voor de gebruiker, en is het wellicht mogelijk betere voorwaarden (of een forfaitaire tarificatie per laadpaal) te bedingen bij de intercommunale voor deze specifieke toepassing.

⁵³ Laadstation met telkens 2 stopcontacten, dus 5,5 kWh per stopcontact

⁵⁴ Voor een typisch elektrisch voertuig (bv. Peugeot 106) dat 200 Wh/km verbruikt

4.1.1 Betaalsysteem voor de gebruiker

De onderscheiden opties voor het betaalsysteem van de laadstations zullen worden besproken in WpA3 en WpA4; voor de technische beschrijving wordt dan ook naar deze paragrafen verwezen.

De beste oplossing voor de implementering van een betaalsysteem zal rekening houden met de investeringskosten in het systeem in verhouding tot de omzet. Door de relatief geringe waarde van de verbruikte elektrische energie zal een bijzonder betaalsysteem (zoals Proton kaart) zich in vele gevallen niet financieel verantwoorden.

Zoals hierboven aangetoond, is een laadpaal met betaalsysteem driemaal duurder dan een paal zonder betaalsysteem. Deze meerprijs van ongeveer € 10.000 per paal zal zich nooit kunnen verantwoorden. Vandaar dat wij menen dat de installatie van een betaalsysteem niet verantwoord is.

Een geïntegreerde, forfaitaire, tarificatie lijkt dan ook de meest aangewezen oplossing.

Bij een dergelijk systeem worden alle laadpalen voorzien van een slot met gemeenschappelijke sleutel; de EV-gebruikers die aangesloten zijn bij het systeem beschikken over deze sleutel, die hen tot alle laadpalen toegang geeft.

Teneinde mee te streven naar een internationaal geïntegreerd netwerk van laadpunten, is het hierbij aan te bevelen het internationale Park&Charge systeem te adopteren. Dit systeem wordt uitgebreid behandeld in §6.4.

4.12 ***Praktische implementatie***

4.12.1 **Veiligheidsproblematiek**

Bij de inplanting van de laadpalen op de openbare weg⁵⁵ dient rekening gehouden te worden met een voldoende veilige opstelling, in het bijzonder wanneer men rekening houdt met de aanwezigheid van de laadkabels⁵⁶.

Deze laadkabels mogen inderdaad geen hinder of gevaar voor de voetgangers betekenen.

De natuurlijke weg van de kabels moet dan ook zo zijn dat de doorgangsweg voor de voetgangers niet gekruist wordt. Bovendien moet rekening gehouden worden met de typische lengte van de bij de voertuigen geleverde kabels⁵⁷, zodat de de voertuigen op vlotte wijze kunnen worden aangesloten, zonder dat kabels boven de grond komen te spannen hetgeen zeer gevaarlijk zou zijn voor de voetgangers. Ook de verschillende mogelijke aansluitpunten op het voertuig moeten worden in acht genomen⁵⁸.

4.12.2 **Mogelijke oplossingen**



Figuur 79: Paaltjes voor afscherming voetpad (foto genomen te Elsene)

⁵⁵ De lokalisatie van de laadpalen zoals afgebeeld in de foto's van §4.4 is slechts ten titel van voorbeeld te beschouwen

⁵⁶ De aanwezigheid van laadkabels zou kunnen vermeden worden door het algemeen gebruik van inductieve laders (§3.2.4). Voor publiek toegankelijke infrastructuur kan deze oplossing echter moeilijk weerhouden worden daar zij specifiek hiervoor geschikte voertuigen vereist.

⁵⁷ Standaardlengte voor deze kabels is 3 tot 5 meter.

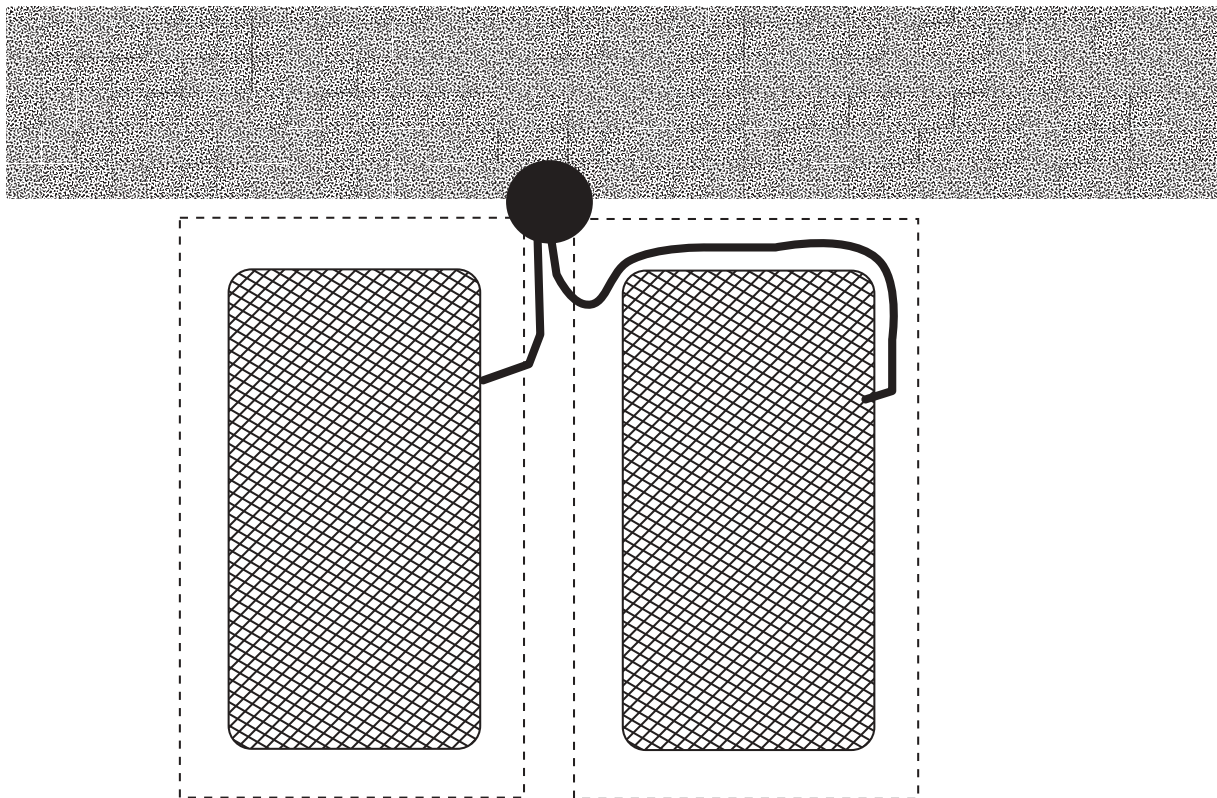
⁵⁸ Op de meeste thans verkrijgbare voertuigen is de laadconnector rechts vooraan aangebracht. Dit sluit echter niet uit dat er voertuigen met andere locaties op de markt zullen kunnen komen.

Een aantal mogelijke configuraties zijn als volgt weer te geven:

- Op een aantal plaatsen te Brussel, vooral in de nabijheid van kruispunten, zijn er reeds paaltjes aangebracht om het ongeoorloofd parkeren op de kruispunten te beletten (voorbeeld in Figuur 79). Het uiterste paaltje op de afbeelding zou in zulk een configuratie door een laadpaal kunnen vervangen worden; nadeel is hierbij echter dat deze laadpaal slechts één parkeerplaats effectief bedient.

Voor wat betreft de plaatsing van palen die twee parkeerplaatsen bedienen, kunnen er zich twee mogelijkheden voordoen:

- Dwarse parkeerplaatsen (Figuur 80)



Figuur 80: Plaatsing van paal bij dwarse parkeerplaatsen

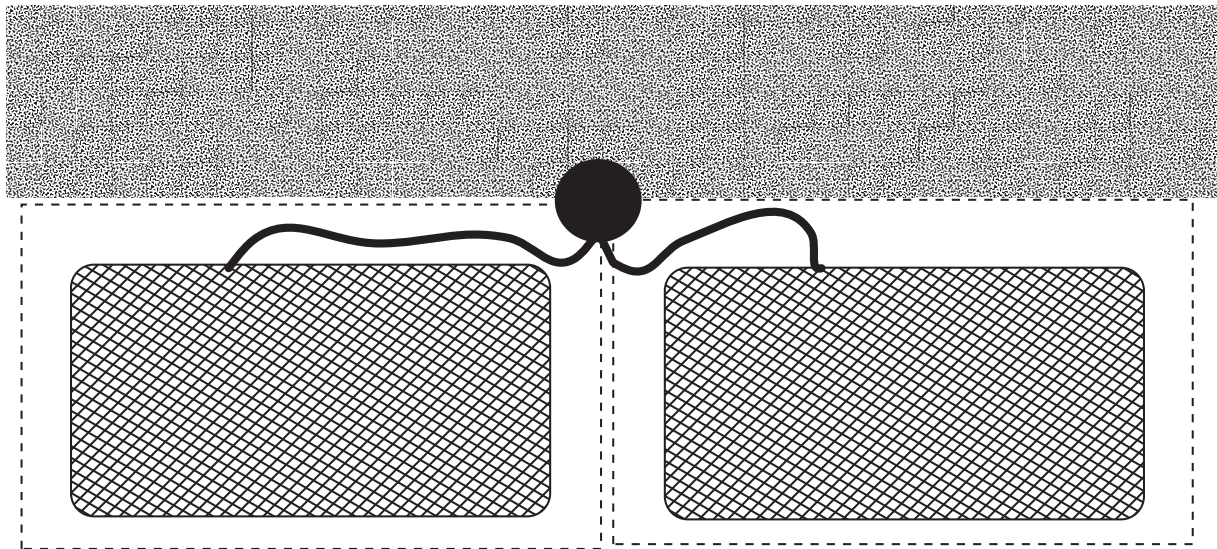
- Parallelle parkeerplaatsen (Figuur 81)

In beide gevallen kan de paal zo geplaatst worden, dat de kabels met weinig of geen hinder kunnen verdeeld worden.

De plaatsing van de paal zelf dient eveneens met overleg te gebeuren:

- Staat hij teveel op het voetpad, dan kan hij de voetgangers hinderen
- Staat hij op de rijbaan, dan is hij meer gevoelig voor aanrijdingen.

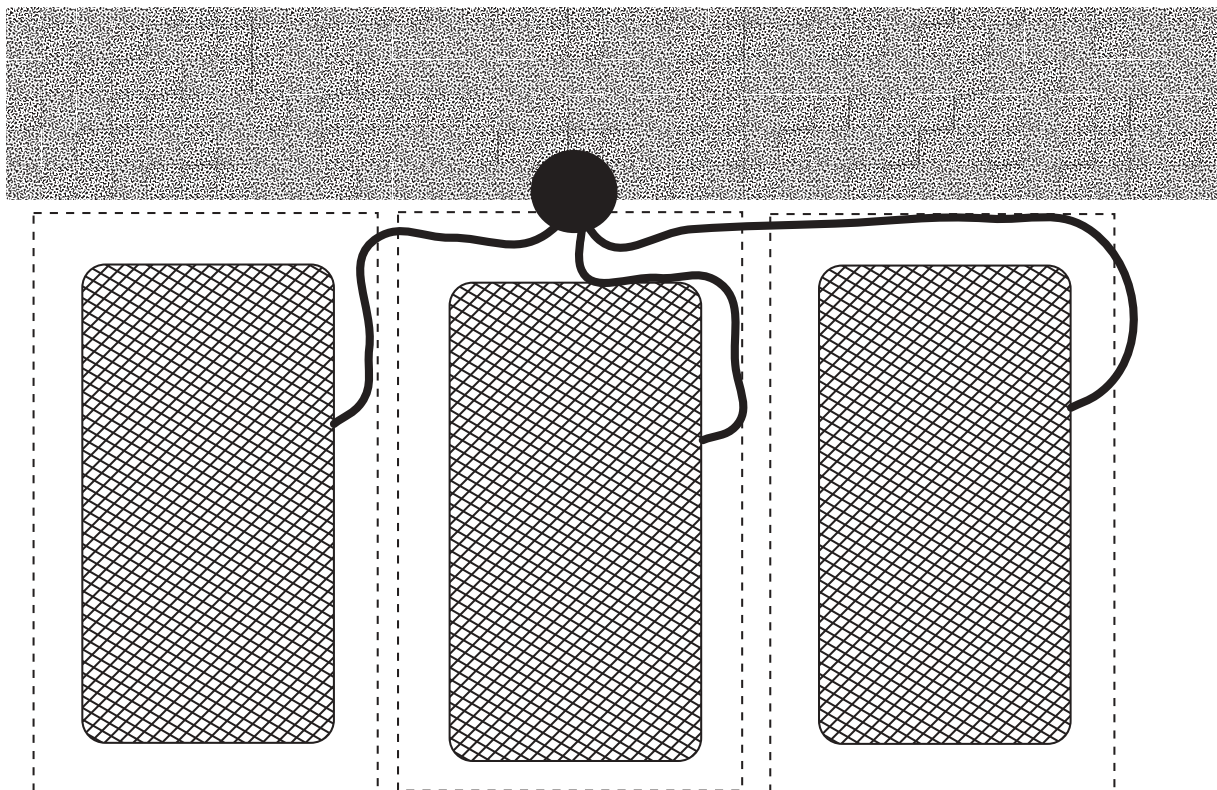
Het is aangewezen hier een compromis te zoeken; eventueel kan de paal omgeven worden door een kleine beplanting teneinde zijn positie te beschermen en hem beter in het stedelijk landschap te integreren.



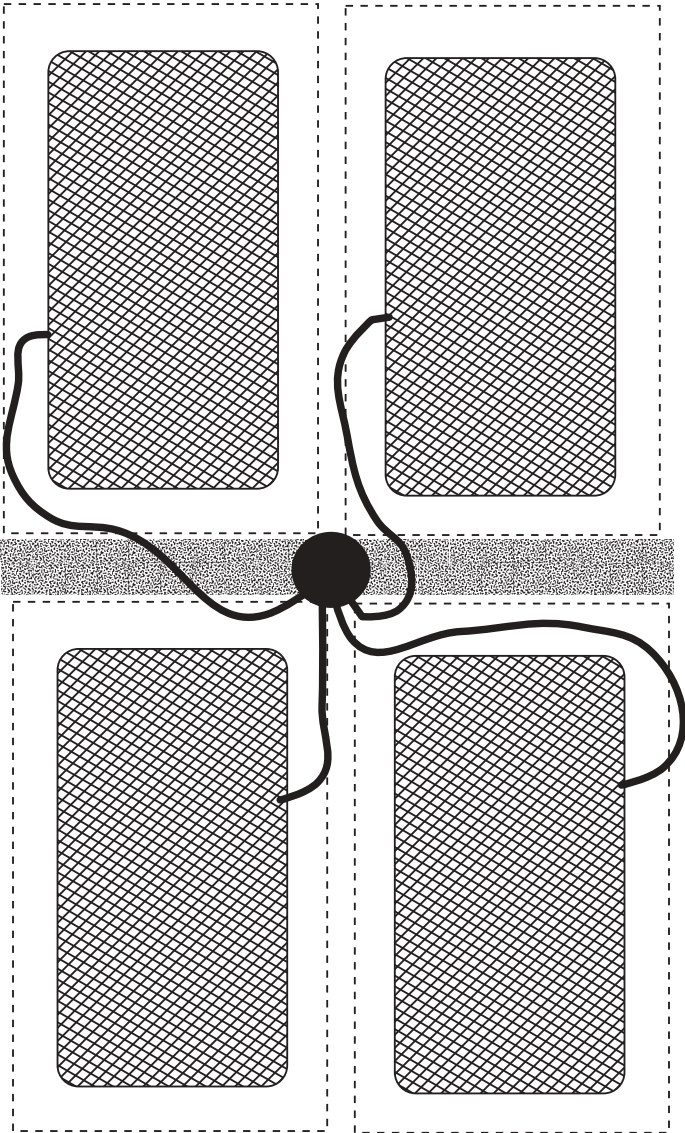
Figuur 81: Plaatsing van paal bij parallelle parkeerplaatsen

Alhoewel het zeker met de “grotere” types van palen (zoals de Toledo 350) mogelijk is om meer dan twee stopcontacten in de paal aan te brengen, hierbij stelt zich hierbij het probleem dat de kabels mogelijk meer hinder kunnen veroorzaken. Een tweetal configuraties kan worden weerhouden:

- Drie stopcontacten met dwars parkeren (Figuur 82)
- Vier stopcontacten met centraal parkeren (Figuur 83)



Figuur 82: Paal met drie stopcontacten



Figuur 83: Paal met vier stopcontacten

4.12.3 Signaletiek

Het verdient aanbeveling de laadstations te voorzien van een aangepaste signaletiek teneinde ze duidelijk zichtbaar te maken enerzijds en de aandacht te vestigen op het voorbehouden karakter anderzijds. Dit kan gebeuren met een gewoon onderbord; in verscheidene landen zijn reeds specifieke borden voorgesteld voor dit doel. Hierbij geven wij enkele voorbeelden ten titel van inlichting.



Figuur 84: Bord in gebruik te La Rochelle



Figuur 85: Bord in gebruik in Arizona (U.S.A.)



Figuur 86: Bord gebruikt in Zwitserland (Park&Charge)

5 WpA3: UITRUSTEN VAN DE LAADPUNTEN MET EEN BETAALKAART SYSTEEM TYPE “PROTON”

5.1 Algemeenheden over de betaling

De betaling van de elektrische energie verbruikt tijdens de lading kan op verschillende manieren gebeuren, die hierna zullen besproken worden:

- De elektriciteit kan worden gemeten
- Het tijdsgebruik kan worden gemeten
- Een forfaitaire tarificatie kan worden toegepast
- De kostprijs van de elektriciteit kan geïntegreerd worden in het parkeergeld. (deze optie wordt besproken in hoofdstuk 6.)

5.2 Meting van de elektrische energie

De meting van elektrische energie kan eenvoudig plaatsvinden met een elektrodynamische Ferraris meter. Deze zijn algemeen in gebruik voor elektrische aansluitingen, en zijn dan ook zeer goedkoop (ongeveer € 50 voor een gewone eenfasige meter). Deze apparaten zijn stevig en betrouwbaar. Zij hebben echter geen elektronische uitgang en kunnen dan ook niet op afstand worden afgelezen, hetgeen deze toestellen minder geschikt maakt voor geautomatiseerde systemen geïmplementeerd in laadstations.

Elektronische tellers bieden hier meer mogelijkheden. Deze zijn vooreerst meer compact van bouwwijze, hetgeen hun inbouw vereenvoudigt. Zij geven een pulsuitgang evenredig met het verbruik (typisch 1 puls per verbruikte Wh), die op eenvoudige wijze verwerkt kan worden door het stuursysteem van het laadstation.

Elektronische tellers zijn echter duurder (minimum € 100 voor een teller die aan de gewenste nauwkeurigheidsvereisten voldoet, waarbij nog de kosten van het gepaste stuursysteem dienen te worden gevoegd). Gezien het lage verbruik van één enkel laadpunt afzonderlijk⁵⁹ zal een investering in individuele tellers per laadpunt zich moeilijk kunnen verantwoorden.

5.3 Meting van de tijd

Gezien het maximaal vermogen tijdens de lading gekend is, bv. 3,5 kW (voor een “gewone” lading), kan men een meting van de tijd van lading ook beschouwen als een meting van energie: één uur lading stemt overeen met (maximaal) 3,5 kWh.

Tijd is veel eenvoudiger en goedkoper te meten dan elektrische energie; vandaar dat in vele gevallen voor de laadstations een tarificatie volgens de bezette tijd zal

⁵⁹ Cf. 3.4.1.6 hierboven: 11 kWh per dag in Parijs

worden doorgevoerd. Dit is ondermeer het geval met de laadstations van EDF in Frankrijk.

Een bijkomend voordeel van het tijdsfacturatie systeem is dat aan een gebruiker die het laadstation gedurende langere tijd bezet houdt zonder effectief energie te verbruiken (bijvoorbeeld omdat zijn batterij reeds vol geladen is), effectief het gebruik van de infrastructuur wordt aangerekend. Gedurende deze tijd ontzegt hij immers de toegang tot het laadstation aan andere gebruikers.

De facturatie van de tijd kan op verschillende manieren plaatsvinden:

- Rechtstreekse tijdslimiet: de gebruiker betaalt voor een bepaalde tijd; na verloop van deze tijd wordt de spanning afgeschakeld
- Passieve tijdscontrole: de spanning blijft altijd aan, maar de betaalde tijd wordt getoond door middel van een parkeervignet. Dit stemt overeen met het geïntegreerd parkeertarief zoals besproken in hoofdstuk 6
- Actieve tijdscontrole: bij het einde van de lading wordt de gebruikte tijd in rekening gebracht

5.4 Forfaitaire tarificatie

De forfaitaire tarificatie wordt bijvoorbeeld gebruikt bij het "Park & Charge" systeem in Zwitserland: toegang tot het systeem is hierbij onderworpen aan het bezit van een vignet. De prijzen van deze vignetten zijn weergegeven in Tabel XVI (p. 126). Bij een dergelijk systeem wordt de installatie van meetgroepen overbodig en kan de vaste investering in infrastructuur worden geminimaliseerd. Dit is te vergelijken met het integreren van de laadkost in het parkeertarief (zie hoofdstuk 6). De toegangscontrole gebeurt enerzijds met de sleutel die toegang geeft tot de laadpalen, en anderzijds met een vignet op het voertuig dat aangeeft dat de gebruiker in regel is.

5.5 Betaalmethoden

De betaling van de lading door de gebruiker kan op verschillende manieren plaatsvinden:

5.5.1 Betaling met munten

Dergelijke systemen zijn wel gekend, maar hebben het nadeel dat zij blootgesteld zijn aan diefstal en vandalisme, vooral indien geplaatst op het openbaar domein.

5.5.2 Betaling met kaarten

Betaalkaarten vormen een veilig alternatief voor munten. De volgende kaarten zijn mogelijk:

5.5.2.1 Specifieke EV-kaarten

Specifieke betaalkaarten kunnen worden ontwikkeld voor de laadstations. Voorbeeld hiervan zijn de kaarten in Frankrijk verdeeld door EDF. Het gaat hierbij over chipkaarten voor éénmalig gebruik met vooraf vastgestelde waarde, die bij het gebruik ontladen worden. Dergelijke kaarten zijn nog het best te vergelijken met telefoonkaarten.

De prijzen van dergelijke kaarten worden bepaald door de systeembeheerder. De kaarten aangeboden door EDF te Parijs kosten € 45; deze prijs omvat [xxv]:

- € 18 abonnementsgeld (toegang tot de laadpalen gedurende één jaar)
- € 27 verbruikskosten (400 eenheden aan € 0,068) gedebiteerd bij gebruik volgens de tijd:
 - gebruik van 08.00 tot 20.00: 5 eenheden per uur hetzij € 0,34
 - gebruik van 20.00 tot 08.00: 3 eenheden per uur hetzij € 0,20

Voor bijzondere toepassingen zoals automatische uitleensystemen voor elektrische voertuigen⁶⁰ werden er identificatiekaarten ontwikkeld die toegang geven tot het systeem en de gebruiker identificeren. De facturatie gebeurt dan via de centrale administratie, naargelang het gebruik dat van de voertuigen wordt gemaakt. Gebruikers krijgen maandelijks de rekening toegezonden.

5.5.2.2 Bank- en kredietkaarten

Het gebruik van gewone bankkaarten (type Bancontact) of kredietkaarten is minder aangewezen voor deze toepassing, gezien de transactiekosten per verrichting (waarvoor telkens een telefonische communicatie met Banksys vereist is) vrij hoog zijn ten opzichte van het totaal bedrag van de transactie.

5.5.2.3 Elektronische geldbeugels

Dit is bv. het geval met de "Proton" kaart (besproken in 5.6)

5.5.3 Betaling met vignet

Hierbij koopt de gebruiker op voorhand een vignet dat hem recht geeft de infrastructuren te gebruiken. Dit komt neer op een forfaitaire tarificatie (cf. 5.4). De controle op de betaling dient hier extern plaats te vinden, bijvoorbeeld door het personeel dat thans met de algemene parkeercontrole belast is (parkeerwachters).

5.6 De PROTON kaart

5.6.1 Algemeen

PROTON is de naam van een herlaadbare elektronisch geldbeugel die in 1994 werd gecreëerd door Banksys.

Elke bankkaart in België beschikt over de Proton-chip waarop een bedrag tot € 125 kan worden geladen voor het verrichten van kleine aankopen. In België zijn er zo meer dan 8.000.000 kaarten in omloop

Er zijn in België bijna 50.000 handelaars en meer dan 20.000 automaten (telefooncellen, drankautomaten, parkeermeters) die Proton aanvaarden. Het aantal transacties in 2000 overschreed de 51 miljoen, voor een totaal bedrag van M€ 195.

De technologie wordt eveneens geïmplementeerd in andere landen, hetgeen Proton tot de wereldnorm in elektronische geldbeugels maakt.

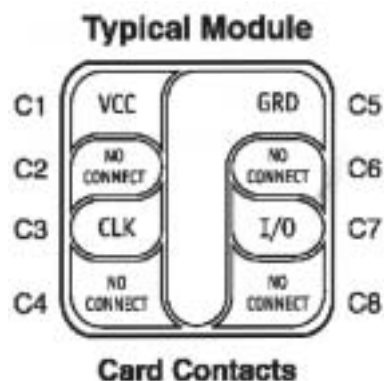
⁶⁰ Bijvoorbeeld het LISELEC systeem (La Rochelle)

De vraag stelt zich in hoeverre deze technologie kan gebruikt worden voor de specifieke toepassing van de laadstations.

Voordeel van het gebruik van PROTON is vanzelfsprekend het feit dat het gebruik van deze kaart zeer breed verspreid is. Bijna iedereen heeft wel een dergelijke kaart op zak, en de implementatie van specifieke EV-kaarten, met gans de bijbehorende administratie en onkosten, wordt overbodig.

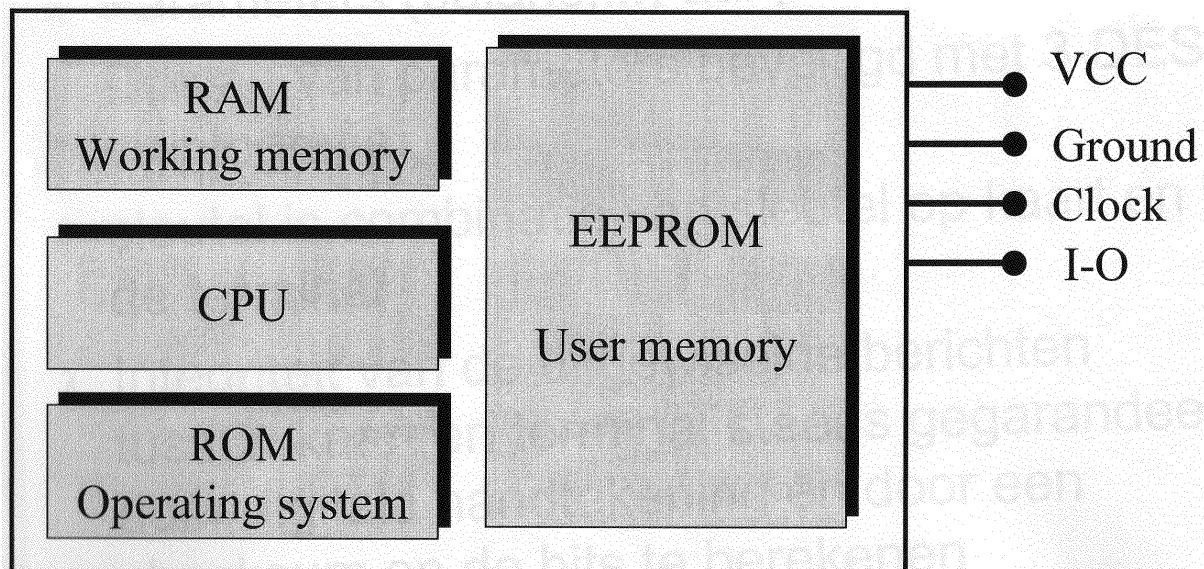
5.6.2 Technische aspecten

5.6.2.1 De PROTON kaart



Figuur 87: Chip op de PROTON kaart

De Proton functie is ingebouwd in een chip op de bankkaart. Deze chip is feitelijk een volwaardige microcomputer met microprocessor, EEPROM voor opslag, RAM werkgeheugen en operatingsystem in ROM.



Figuur 88: PROTON architectuur

De Proton kaart is voorzien van talrijke beveiligingen om frauduleus gebruik tegen te gaan. De opslag van de parameters (identificatie van de kaart, saldo) is beveiligd met 56-bit 3-DES cryptografie. De gebruikte sleutel is een combinatie van

een sleutel op de kaart en in de terminal; de integriteit van de uitgewisselde berichten tussen kaart en terminal is steeds gegarandeerd door een digitale handtekening en door een checksum op de bits te berekenen. Er zijn overigens vele sleutels in gebruik (issuer key, PIN code, loading key, payment key, certificate key, update key, session key). De veiligheid steunt op het feit dat de sleutels niet fysisch van de kaart kunnen gelezen worden en fysisch verdeeld bewaard worden op de kaart.

Fraude kan centraal worden opgespoord door opslag van alle transacties en verspreiding van zwarte lijsten (via terminals). Het RSA certificaat (authenticiteit) belet het ongeoorloofd creëren van nieuwe kaarten.

5.6.2.2 De PROTON terminal

De technische implementatie van Proton in een automatisch systeem is gebaseerd op de inbouw van een Proton terminal in het toestel.

Het type terminal dat hiervoor in aanmerking komt is de zogenaamde C-ZAM/V terminal, waarbij V staat voor "vending". Dit is een compact en robuust toestel waarbij de gebruikersinterface beperkt is tot drie drukknoppen:

- STOP om een transactie stop te zetten
- ? om het saldo van de kaart na te gaan
- OK om een transactie te valideren

De C-ZAM/V kan tot drie verschillende applicaties tegelijkertijd uitvoeren. Het toestel wordt aldus geschikt voor een veelvoud van applicaties.

De technische specificaties van C-ZAM/V zijn als volgt:

Functionele specificaties

- Offline betaalverkeer
- Nagaan van kaartsaldo
- Identificatie en authenticatie van de kaart
- Doorgeven van transacties (incassering)

Gebruikersinterface

- 3 toetsen: STOP, ?, OK

Kaartlezer

- chipkaartlezer met glijcontacten, verzegelde schakelaar
- compatibel met ISO 7816, EMV level 1
- geschikt voor zowel geheugen- als processorkaarten
- insertiecyclus: minstens 105

Display

- 1 x 16 karakters LCD met achtergrondverlichting



Figuur 89: C-ZAM/V terminal

Communicatie

- modemconnectie met externe RS232 modem
- RS232 poort voor connectie met automaat (modulaire jack 6P/6C)
- RS232 connectie met terminal (velocollect) (modulaire jack 4P/4C)
- Minifit connector voor interfaces (MDB, Executive)

Protocols

- VIC
- MDB
- Executive

Geheugen

- 512 K RAM
- 512 K Flash Eprom

Processor

- 16-bit SB80C188EC processor (13 MHz)
- 3 CSM (Chip Security Module) ISO 7816 SIM connector

Voeding

- 6-24 V gelijkspanning of 6-40V wisselspanning

Omgevingstemperatuur

- -20 °C tot +70 °C

Goedkeuringen

- CE markering

- CE 1976 EMC/ESD
- CE 1977 Safety EN60950
- IEC 60801-2
- IEC 60801-3
- IEC 60801-4
- EMC: EN55022 Class

Opties

- V22.bis modem
- Adapter AC/DC 6V 600 mA

Afmetingen

- Lengte 105 mm
- Breedte 105 mm
- Diepte 112 mm
- Gewicht 350 g

Bij de betalingsverrichting zal het te debiteren bedrag verschijnen op het schermje van de Proton terminal. De gebruiker kan dan de transactie bevestigen, het bedrag wordt dan van de Proton kaart afgeschreven en opgeslagen in het geheugen van de terminal. Op de display van de C-ZAM zal komen te staan dat de transactie succesvol verlopen is. Indien er iets mis gaat (slechte kaart, onvoldoende saldo,...) zal dit ook op de display verschijnen.

Bij elke transactie gebeuren de volgende controles:

- De kaart wordt gecontroleerd op fraude
- De verloopdatum van de kaart wordt gecontroleerd
- Het saldo op de kaart wordt gecontroleerd

Op geregelde tijdstippen (bv. dagelijks) zal het totaal bedrag opgeslagen in het geheugen worden opgeladen naar Banksys via een modem⁶¹. Banksys zal het bedrag dan overschrijven op de rekening van de uitbater.

Elke automaat of ander toestel dat gebruik wil maken van Proton moet door Banksys worden gehomologeerd, teneinde de communicatie tussen het toestel en de Proton terminal vlekkeloos te laten verlopen. Deze communicatie gebeurt volgens het zogenaamde VIC protocol (Vending IEP Communication Protocol). Banksys beschikt over een software werktuig ("Vending Machine Controller simulator") om de communicatie met Proton te testen.

5.6.2.3 Gebruik voor laadstations

Zuiver technisch is er geen enkel probleem om een laadverrichting te betalen met behulp van Proton; het systeem wordt overigens reeds op vele plaatsen gebruikt voor parkeermeters.

⁶¹ Dit vereist vanzelfsprekend dat het toestel is aangesloten op een telefoonlijn, alhoewel in principe ook een GSM modem kan aangewend worden.

Voor de specifieke betaling van de lading moet men echter rekening houden met de bijzonderheden van deze verrichting.

Met name zijn er twee afzonderlijke verrichtingen bij elke laadbeurt:

- Het in lading stellen van het voertuig
- Het afhalen van het voertuig (waarbij de kaart onder meer als taak heeft de gebruiker te identificeren en het juiste voertuig vrij te geven)

Naargelang de gekozen tarificatie kan de betaling van de verrichting zowel bij het begin als bij het einde plaatsvinden.

- In het eerste geval zal de gebruiker een prijs betalen naargelang de tijd dat hij wenst te laden. Na afloop van de tijd kan bv. de voeding van de laadpaal worden afgeschakeld. Er is bij afhalen van het voertuig geen verrichting op de kaart meer nodig.
- In het tweede geval zal de afrekening gebeuren op het moment dat het voertuig het laadstation verlaat. In dit geval zijn zal de kaart bij het in lading stellen gebruikt worden ter identificatie⁶². Het is echter essentieel dat in dit geval een mechanische vergrendeling van de stekkers⁶³ te voorzien teneinde het doorrijden zonder betaling te vermijden. De complexiteit van de laadpalen wordt hierdoor opgedreven.

5.6.3 Financiële aspecten

De kostprijs verbonden aan de implementatie van Proton omvat volgende punten:

5.6.3.1 Terminal en hardware

Het gebruik van Proton veronderstelt het gebruik van een "intelligente" laadpaal die voorzien is van een eigen microprocessor voor de aansturing van de stopcontacten, de automatische vergrendeling van de stekkers, de communicatie met de Proton terminal, enz. Dergelijke palen (bv. de Franse paal uit Figuur 15) kosten op zich veel meer dan gewone palen zonder betaalsysteem: ongeveer € 15.000, hetgeen driemaal meer is dan een paal zonder betaalsysteem.

De kostprijs van een Proton terminal voor inbouw in een automaat bedraagt € 375. Dit bedrag voegt zich bij de kostprijs van elke laadpaal (of van een centrale paal die enkele stopcontacten bedient)..

5.6.3.2 Implementatie van de communicatie

De software van het laadstation moet zijn aangepast voor de communicatie met de Proton terminal. Voor het schrijven van aangepaste software terzake om een bestaande paal (bv. de Franse DBT paal) aan te passen kan men rekenen op een (eenmalige voor gans het park) investering van € 4000, hierbij komt nog de kost van de softwarelicentie per laadstation (ongeveer € 500⁶⁴).

⁶² Er moet hierbij rekening gehouden worden dat de gebruiker van de kaart tijdens de lading allerlei verrichtingen kan uitvoeren (positief of negatief) zodanig dat het saldo van de kaart niet constant blijft.

⁶³ Deze kan de vorm hebben van een kleminrichting (zoals bij de Framatome stekkers) of een elektrisch bediende klep die de ruimte van het stopcontact afsluit. De handmatige afsluiting van de klep (met sleutel) komt hierbij niet in aanmerking.

⁶⁴ Prijs berekend door DBT voor de Franse laadstations

5.6.3.3 Commissieloon

Op de Proton transacties wordt door Banksys typisch een commissie van 2% ingehouden.

5.6.3.4 Overzicht van de onkosten per laadstation

Voor een laadstation met 2 stopcontacten, uitgerust met Proton bekomen we de volgende kostprijs:

Laadpaal: intelligente laadpaal (cf. Model afgebeeld in Figuur 15)	€ 15.000
Proton terminal (kaartlezer , Figuur 89)	€ 375
Aanpassing software (totale kost van € 4.000 geventileerd over het totaal aantal laadstations)	€ 125 ⁶⁵
Individuele software licentie	€ 500
Totaal	€ 16.000

Tabel XIV: Kostprijs voor Proton laadpaal

5.6.3.5 Besluiten

De implementatie van Proton betekent dus een aanzienlijke meerprijs ten opzichte van de eenvoudige palen zonder betaalsysteem (Tabel XII); rekening houdend met de te verwachten omzet per paal (zie §4.10.3), is dit ons inziens geen verantwoorde investering te noemen en is het meer aangewezen van een forfaitaire tarificatie gebruik te maken.

Het is duidelijk uit Tabel XIV dat deze extra kost voornamelijk te wijten is aan de bijzondere laadpaal die moet voorzien worden, en niet zozeer aan de Proton uitrusting zelf. De te verwachten opbrengsten van de betalingen kunnen het prijsverschil met een gewone paal echter niet verantwoorden.

Om rendabel te zijn, moet een Proton installatie voldoende omzet verwezenlijken. Een Proton terminals bij een parkeerautomaat, die een honderdtal of meer plaatsen bedient kan een gemiddelde omzet van ongeveer € 100 of meer per dag halen. Voor onze toepassing, een laadpaal die slechts twee stopcontacten bedient, is de haalbare omzet veel lager en is installatie van het systeem niet verantwoord.

Ten titel van besluit kan dus gezegd worden dat de implementatie van Proton voor de beschouwde toepassing van laadstations in het Brussels Hoofdstedelijk Gewest financieel niet verantwoord is, en dat het aanbeveling verdient een forfaitaire tarificatie toe te passen.

⁶⁵ € 4000 voor het aanpassen van de software, verdeeld over het geheel van de voorziene laadstations

6 WpA4: ANALYSE VAN DE MOGELIJKHEID OM EEN SPECIAAL TARIEF IN TE VOEREN DAT DE PARKEER- EN ELEKTRICITEITSKOST COMBINEERT

6.1 Verbruik van de lading

De omvattende problematiek van de betaling, zoals deze in het vorige hoofdstuk werd besproken, moet evenwel bekeken worden in het kader van de onderliggende bedragen.

Zoals besproken in §3.2.2, is bij de "gewone" lading, die in de meeste gevallen haar toepassing zal vinden, het typisch vermogen 3,5 kW.

Gedurende een periode van één uur zal dus een elektrische energie van 3,5 kWh worden verbruikt.

De kostprijs één uur gewone lading bedraagt⁶⁶ dan € 0,5586.

6.2 Parkeertarieven

Typische parkeertarieven⁶⁷ in het B.H.G. zijn afgebeeld in Tabel XV.

Locatie	Tarief 1 uur	Tarief 2 uur	Tarief 4 uur
Overdekte parkings			
Parking Galerie Louise	€ 1,98	€ 3,97	€ 7,93
Parking 2 Portes	€ 1,86	€ 3,72	€ 7,31
Parking 58	€ 1,74	€ 3,47	€ 6,94
Parking CCN	€ 1,36	€ 2,73	€ 4,21
Parking Inno Bascule	€ 1,36	€ 2,73	€ 5,45
Parking Stokkel	€ 0,87	€ 1,61	€ 3,10
Betaald parkeren op straat			
Brussel (Nieuwe Graanmarkt)	€ 0,99	€ 2,48	Niet toegelaten
Brussel (Bockstael plein - Laken)	€ 0,99	€ 2,48	Niet toegelaten
Oudergem (Waverse steenweg)	€ 1,24	€ 2,48	Niet toegelaten
Schaarbeek (Colignon plein)	€ 0,99	€ 1,98	Niet toegelaten
Sint-Joost (Sterrekunde laan)	€ 0,50	€ 0,99	Niet toegelaten

Tabel XV: Parkeertarieven in het B.H.G.

Niettegenstaande de differentiatie die men kan opmerken tussen de verschillende zones, waarbij algemeen het parkeren in het stadscentrum duurder

⁶⁶ Laagspanningstarieven geldig voor de maand december 2001, inclusief energietaks: € 0,1596/kWh (dagtarief)

⁶⁷ Tarieven december 2001, omgezet in euro. De lijst is vanzelfsprekend niet exhaustief, maar geeft karakteristieke tarieven voor de betrokken zones weer. Op te merken valt dat in de gemeente Oudergem het betaald parkeren thans gratis is voor elektrische voertuigen (zonder laadinfrastructuur wel te verstaan)

uitvalt⁶⁸, kan men opmerken dat de tarieven voor het betaald parkeren steeds hoger zijn dan het overeenkomstig elektriciteitsverbruik van een elektrisch voertuig.

Dit geldt evenzeer als men de parkeertarieven vergelijkt met de tarieven voor bv. de EV-kaarten in Parijs (cf. §5.5.2.1).

6.3 Geïntegreerde tarificatie

Rekening houdend met de kostprijs van de meetinfrastructuur (zoals in het vorige hoofdstuk beschreven) kan men derhalve stellen dat het verantwoord is de kostprijs van het elektriciteitsverbruik bij het laden te integreren in de bestaande kostprijs van het parkeren.

De gebruiker van de laadinfrastructuur hoeft op deze manier slechts zijn elektrisch voertuig te parkeren op de voorbehouden plaats, aan te sluiten op de laadpaal, en zijn parkeergeld te betalen, op de gebruikelijke wijze. Het laden wordt hier in feite "gratis" aangeboden, hetgeen een bijkomende "incentive" ten voordele van de elektrische voertuigen verwezenlijkt.

6.4 Het Park&Charge systeem

Het kan overwogen worden om het systeem voor het B.H.G. te integreren met het Park&Charge systeem dat reeds gebruikt wordt in o.a. Zwitserland; dit zal bijdragen tot de creatie van een internationaal geïntegreerd netwerk⁶⁹, waarbij alle laadpunten in de internationale Park&Charge gids [xxvi] worden gepubliceerd.

Een Park&Charge systeem omvat voor de gebruiker de volgende elementen:

- De sleutel, die toegang verleent tot alle laadpalen die tot het systeem behoren (hiervoor wordt in Zwitserland een waarborg van € 67,55 aangerekend)
- Het vignet, eigen aan het voertuig, dat toelaat van het systeem gebruik te maken en dat een forfaitaire vergoeding voor het energieverbruik omvat. Deze vergoeding is afhankelijk van het type voertuig en is gegeven in Tabel XVI. Zij wordt bepaald voor het ganse Park&Charge netwerk in verschillende landen, in overleg tussen de verschillende nationale organisaties.

⁶⁸ Het relatief goedkope tarief van de parking C.C.N. voor langparkeerders is te verklaren door de bijzondere ligging van deze parking nabij een station, waardoor hij zich eerder tot uitgaande reizigers dan tot kortparkeerders richt.

Anderzijds is het goedkope tarief van de parkeermeters te Sint-Joost wel zeer uitzonderlijk geworden in het B.H.G. Het is te verwachten dat dit tarief werd aangepast bij de ombouw van de parkeermeters naar euro.

⁶⁹ Heden ten dage omvat dit netwerk honderden locaties in Zwitserland, Duitsland en Oostenrijk (cf. Figuur 25)

Type	Prijs per jaar
Tweewieler	€ 20,26
Driewieler	€ 47,28
Vierwieler ⁷⁰	€ 67,55
Vierwieler met 32 A lading	€ 94,57

Tabel XVI: Park&Charge vignetten

De prijs van € 67,55 voor een jaarvignet met energie stemt (volgens het gewone tarief) overeen met een elektriciteitsverbruik van 420 kWh, of een afgelegde afstand van 2100 km⁷¹. Bij gewone lading (aan 3,5 kW) stemt deze energie overeen met een laadduur van 120 uur. Dit is het verbruik dat moet verwezenlijkt worden aan de openbare laadpalen (dus niet bijvoorbeeld in de eigen garage) om de aankoop van het vignet te verantwoorden.

De elektrische voertuigen in de stad leggen typische afstanden af van 5.000 tot 10.000 km per jaar (cf. §8).

6.5 Park&Charge organisatie

Bij een lokale implementatie van zulk systeem zal een lokale organisatie "Park&Charge België" moeten instaan voor het lokaal beheer van het systeem. Een dergelijke organisatie dient een contract af te sluiten met Park&Charge Zwitserland; de hoofdbeschikkingen van zulk contract omvatten het volgende:

- De lokale organisatie is als enige verantwoordelijk voor de opbouw, uitbating en onderhoud van Park&Charge, en voor het beheer van de leden in een bepaald land (in casu België)
- De organisatie is financieel onafhankelijk van Park&Charge organisaties in andere landen, en heeft geen financiële verplichtingen terzake buiten de beschikkingen van het contract
- De uitgebouwde infrastructuur moet gratis ter beschikking voor in regel zijnde Park&Charge gebruikers uit alle landen; daartegenover kunnen Belgische Park&Charge gebruikers gratis de Park&Charge infrastructuur in andere landen gebruiken
- De prijzen voor de gebruikers (kostprijs van de vignetten) wordt jaarlijks door de afgevaardigden uit de verschillende landen vastgesteld; deze prijzen zijn in alle landen gelijk
- Voor alle laadstations worden dezelfde sleutels en cilinders gebruikt⁷²; deze kunnen door de nationale organisaties tegen kostprijs bekomen worden bij Park&Charge Zwitserland

⁷⁰ In principe is dit tarief beperkt voor voertuigen tot 1500 kg; in de praktijk wordt het ook toegepast voor zwaardere voertuigen (bv. Peugeot Partner)

⁷¹ Voor een klein elektrisch voertuig, bv. Peugeot 106, met een verbruik van 200 Wh/km

⁷² Cylinder type KABA 20, AP 226279

- De vignetten worden centraal gedrukt in Zwitserland en kunnen door de nationale organisaties tegen kostprijs bekomen worden voor verdeling ter plaatse
- De nationale organisaties moeten conform de wettelijke beschikkingen in hun land verzekerd zijn

De nationale organisatie staat in voor de verdeling van de vignetten naar de gebruikers toe en voor de vergoeding van het elektriciteitsverbruik naar de exploitanten van de laadstations toe.

De exploitant (i.e. eigenaar van de paal) blijft verantwoordelijk voor het inrichten van de parkeerplaatsen en de plaatsing van de laadpalen

Het elektriciteitsverbruik van de palen wordt doorgerekend aan Park&Charge, hetzij via een afzonderlijke teller rechtstreeks op het net, hetzij via een privé teller op de installatie van de gebruiker.

De exploitant kan de energie ook “gratis” ter beschikking stellen; het niet moeten inbouwen van een extra teller en de verminderde administratiekosten maken deze optie interessant.

6.6 Praktische implementatie⁷³

De praktische implementatie van de “Park&Charge” tarificatie is overeen te komen met de verschillende instanties die verantwoordelijk zijn voor de uitbating van de parkeergelegenheden en voor de elektrische aansluitingen.

6.6.1 Park & Charge België

Een organisme dient belast te worden met het beheer van het Park&Charge netwerk in België. Zij zal het contract met Zwitserland ondertekenen, en heeft als taak:

- In te staan voor de verdeling van de sloten naar de exploitanten van de laadpalen toe (de cilinders worden tegen kostprijs geleverd door Zwitserland)
- In te staan voor de verdeling van de sleutels en de energievignetten naar de gebruikers toe (blanco vignetten worden door Zwitserland tegen drukprijs geleverd)
- In te staan voor de afrekening van het energieverbruik naar de exploitanten toe

6.6.2 De exploitanten van de laadpalen

In dit kader wordt hieronder verstaan de eigenaars van de infrastructuren, in de praktijk zal dit neerkomen op de gemeenten of het Gewest.

⁷³ Zie ook §4.10

6.6.3 De exploitanten van de parkings

In het kader van de mogelijke inplanting van laadpalen in bestaande betalende parkings werd contact opgenomen met de n.v. Interparking welke de meeste Brusselse parkings uitbaat. Deze contacten wezen echter op een zeer geringe belangstelling om aan het project deel te nemen en om in een (initieel beperkt) aantal parkeergarages een plaats voor elektrisch aangedreven voertuigen (met stopcontact) voor te behouden.

6.6.4 De intercommunale (Sibelgaz)

Sibelgaz heeft een offerte voor de aansluiting van de laadinfrastructuur op de beschouwde locaties uitgewerkt (zie §4.9.3). Deze offerte heeft echter slechts betrekking op de aansluitingskosten.

Voor wat betreft het elektriciteitsverbruik, worden de laadstations door Sibelgaz⁷⁴ alsnog beschouwd als gewone klanten. Dit betekent dat elk laadstation voorzien zal moeten worden van een teller en dat het individueel verbruik wordt aangerekend. Als bezwaar tegen een forfaitaire tarificatie wordt aangebracht dat het exacte verbruik van de laadpaal niet precies te voorspellen is⁷⁵.

Nochtans biedt de forfaitaire tarificatie een aantal voordelen:

- Geringere aansluitingskost (er moet geen teller worden voorzien)
- Geringere ruimtelijke impact, met name voor de gevallen waar de teller niet in de laadpaal kan worden ingepast
- Geringere administratieve onkosten

De implementatie van de forfaitaire tarificatie verdient dan ook om besproken te worden op het niveau van de intercommunale. Daarenboven kan specifiek voor de toepassing “elektrische voertuigen” wellicht een preferentieel tarief bedongen worden.

Een eventuele sponsoring door Sibelgaz van het project (ideaal zou zijn het gratis ter beschikking stellen van de elektrische energie) zou overigens op aanzienlijke wijze kunnen bijdragen tot het milieuvriendelijk imago van de intercommunale.

⁷⁴ Althans door de technische diensten belast met de aansluiting van infrastructuren op het openbaar domein

⁷⁵ Dit in tegenstelling met verlichtingspalen, reclameborden, schuilhuisjes en dergelijke die enkel verlichtingstoestellen herbergen, waar het verbruik precies berekend kan worden, en waar de forfaitaire tarificatie wel toepassing vindt.

7 WpA5: STUDIE VAN DE VEILIGHEIDS-ASPECTEN, NORMEN EN REGLEMENTEN

7.1 Algemeenheden

Het nieuwe tijdperk van het elektrisch voertuig ging van start gedurende het laatste kwart van de 20^{ste} eeuw, doordat enerzijds het energie- en milieubewustzijn groeide en doordat anderzijds de vermogenelektronica een nooit geziene ontwikkeling van de elektrische voertuigtechnologie mogelijk maakte, tot op het punt waar slechts marktfactoren de grote doorbraak van het elektrisch voertuig als een schoon en efficiënt vervoermiddel tegenhouden.

Deze ontwikkelingen hebben de nood gecreëerd voor internationale normalisatie ter zake. Deze normen zijn vooral gericht op veiligheid, compatibiliteit van componenten en meettechnieken.

7.2 Overzicht van de internationale normalisatie

7.2.1 Organismen actief in het domein

Voor de ontwikkeling van de normalisatie in het domein van de elektrische voertuigen moet nagegaan worden welke organismen feitelijk bevoegd zijn hiervoor. Dit probleem is niet zo eenvoudig als het er uit ziet: het elektrisch voertuig staat immers voor een “gemengde” technologie:

- Enerzijds is het een voertuig, waarvoor de normalisatie tot het domein van ISO⁷⁶ behoort
- Anderzijds is het een elektrische machine, waarvoor de normalisatie tot het domein van IEC⁷⁷ behoort

Dit verschil is weerspiegeld in de samenstellingen van de technische comités: bij ISO bestaan deze vooral uit autoconstructeurs, bij IEC daarentegen uit elektriciens. Bovendien is er een sterk verschil in “normalisatiecultuur” tussen deze beide werelden.

Door een IEC-ISO stuurgroep is de volgende werkverdeling overeengekomen:

- Aspecten met betrekking tot het voertuig zelf worden behandeld door ISO
- Aspecten met betrekking tot de aansluiting van het voertuig aan het net (laadinfrastructuur, elektromagnetische compatibiliteit tijdens de lading, enz..), alsmede zuiver elektrische aspecten van de componenten, worden behandeld door IEC

Gedurende de afgelopen jaren zijn de normalisatiecomités op zowel IEC als ISO niveau zeer actief geweest rond de normalisatie van elektrische voertuigen en hun infrastructuur. De voornaamste documenten die zijn gepubliceerd en worden voorbereid worden in de volgende paragrafen besproken.

⁷⁶ ISO: *International organisation for standardisation*, opgericht in 1948, gevestigd te Genève. Europese tegenhanger: CEN

⁷⁷ IEC: *International Electrotechnical Commission*, opgericht in 1906, gevestigd te Genève. Europese tegenhanger: CENELEC

7.2.2 IEC TC69

De hoofdactiviteiten van het technisch comité 69 binnen IEC hebben betrekking met laders en infrastructuur. Een eerste internationale norm, IEC 718 [xxvii], die voor het laatst herzien werd in 1997, wordt thans vervangen door een overkoepelende set van normen die alle aspecten van de laadinfrastructuur behandelen.

De documenten met betrekking tot de conductieve lading werden gepubliceerd in 2001, als resultaat van verscheidene jaren werk door WG4 van TC69. Deze normen, gegroepeerd onder nummer IEC 61851, zijn als volgt gestructureerd:

- Deel 1: Algemene vereisten [x], van toepassing op materiaal voor lading van elektrische wegvoertuigen met standaard wisselspanningen tot 690 V, en gelijkspanningen tot 1000 V, en voor de voeding van bijkomende diensten op het voertuig wanneer het verbonden is met het net.
- Deel 2-1: Vereisten van het elektrisch voertuig [xxviii], dit omvat samen met deel 1 de vereisten gesteld aan het elektrisch voertuig voor een conductieve verbinding met wisselstroom of gelijkstroom, wanneer het elektrisch voertuig is verbonden met het net.
- Deel 2-2: Vereisten voor het wisselstroom laadstation [xi], dit omvat samen met deel 1 de vereisten voor wisselstroom laadstations met conductieve verbinding met het elektrisch voertuig.

Voor de inductieve lading zijn de werken nog bezig: het relevante document IEC 61980 circuleert thans als "committee draft". De structuur van IEC 61980 is gelijkaardig aan IEC 61851; het omvat de volgende delen:

- Deel 1: Algemene vereisten
- Deel 2: Handmatige aansluitingssystemen met "paddel". Het betreft hier een dimensionele norm die de accessoires beschrijft zoals ze o.a. door G.M. worden gebruikt.

7.2.3 IEC SC23H

Het comité SC23H houdt zich bezig met industriële stekkers en stopcontacten. Werkgroep 6 is specifiek toegewijd aan stekkers en stopcontacten voor elektrische voertuigen. De specifieke behoeften voor het elektrisch voertuig hebben geleid tot de ontwikkeling van IEC 62196 "Stekkers, stopcontacten, koppelstekkers en ingangen – Conductieve lading van elektrische voertuigen", waarbij de specificaties gebaseerd zijn op de welbekende norm IEC 60309-1 [xxix] voor industriële stekkers en stopcontacten. 62196 is compatibel met de diverse eisen gesteld in 61851.

Het weze hier opgemerkt dat IEC 60309-1 een algemene norm is die de vereisten weergeeft waaraan de accessoires moeten voldoen, daar waar IEC 60309-2 [xiii] een dimensionele norm is die een bepaalde stekkerfamilie beschrijft.

7.2.4 ISO TC22 SC 21

Het normaliseringswerk binnen ISO rond elektrische voertuigen heeft betrekking op het voertuig zelf. Zoals de gewoonte is in de automobielwereld beschrijven deze normen geen ontwerpdetails of vormgeving (zulks wordt meestal als te restrictief ervaren). Het werk is eerder gericht op prestatienormen (of beter gezegd normen die de meting van de voertuigprestaties beschrijven) enerzijds en op veiligheidsnormen anderzijds.

De volgende veiligheidsnormen in de 6469 reeks werden in 2001, na een jarenlange voorbereiding, als definitieve normen gepubliceerd:

- ISO 6469-1 [xxx]: dit document beschrijft de technische veiligheidseisen voor de batterijen aan boord van elektrische voertuigen (auto's en bestelwagens) vanuit het standpunt van het beschermen van de passagiers en de omgeving.
- ISO 6469-2 [xxxi]: dit document beschrijft de technische veiligheidseisen voor elektrische voertuigen met betrekking tot de functionele veiligheid van de elektrische tractieinrichtingen
- ISO 6469-3 [xxxii]: dit document beschrijft de technische veiligheidseisen voor elektrische voertuigen met betrekking tot de bescherming van personeel tegen elektrische gevaren wanneer het voertuig niet met het net is verbonden⁷⁸.

Tevens werd in 2001 het document ISO 8715 gepubliceerd [xxxiii], dat de gebruikskarakteristieken op de weg van batterij-elektrische voertuigen specificeert. Het definieert en behandelt meetprocedures procedures voor grootheden zoals maximum snelheid, maximum halfuursnelheid, acceleratie, en klimvermogen.

Verder zijn volgende normen in voorbereiding (circulatie als "Draft International Standard", zodat publicatie eerlang kan worden verwacht

- ISO/DIS 8713: *Electric road vehicles – Terminology*. Dit document definieert een aantal begrippen rond elektrische voertuigen qua terminologie.
- ISO/DIS 8714: *Electric road vehicles – Reference energy consumption and range – Test procedures for passenger cars and light commercial vehicles*. Dit document beschrijft methoden om het energieverbruik en de reikwijdte van batterij-elektrische auto's en bestelwagens te meten.

Nieuwe onderwerpen ter normalisatie zijn door het ISO comité eveneens aangenomen:

- Veiligheidseisen voor brandstofcellen
- Energieverbruik en reikwijdte van hybride elektrische voertuigen
- Terminologie en definities voor brandstofcel- en hybride-elektrische voertuigen

⁷⁸ De normalisatie voor wanneer het voertuig wel met het net is verbonden (t.t.z. tijdens de lading) komt immers ten laste van IEC!

7.3 Interface voor conductieve lading

Voor de behoeften van het B.H.G. in het kader van dit onderzoek zal voornamelijk de conductieve lading in aanmerking moeten worden genomen.

De definitie van de “laadmodi” (cf. § 3.2.1) is één van de voornaamste verwezenlijkingen geweest van de IEC werkgroep terzake. Specifieke laadinfrastructuur voor elektrische voertuigen valt onder de zogenaamde “Mode 3”, gedefinieerd als “*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*”. [x]

Het is precies de aanwezigheid van de “control pilot” of pilootgeleider, welke typisch is voor mode 3 en welke de bijkomende veiligheidsvoorzieningen verwezenlijkt die vereist zijn voor de uitbouw van infrastructuur op de openbare weg (zie ook § 1.3.2)

Gezien de noodzaak van een bijkomend contact voor de pilootgeleider, en gezien de mogelijkheid van verschillende laadmodi, werd er een gemeenschappelijke interface⁷⁹ gedefinieerd.

De componenten van een conductief laadsysteem zijn de volgende:

- De *ingang* op het voertuig, waar de kabel wordt aangesloten
- De *connector* die op het voertuig wordt aangesloten
- De *kabel*
- De *stekker* die op het stopcontact past
- Het *stopcontact*

Deze moeten niet altijd alle aanwezig zijn, men onderscheidt de volgende gevallen:

- Case A: kabel vast aan het voertuig, geen ingang of connector. Deze oplossing werd vroeger veel gebruikt, en is nu nog slechts gebruikelijk bij zeer kleine voertuigen
- Case B: losse kabel met stekker en connector. Dit is een flexibele oplossing die thans het meest wordt gebruikt
- Case C: vaste kabel met connector, verbonden aan het laadstation. Geen stekker of stopcontact. Deze oplossing wordt gebruikt voor snellading gezien daar een zware kabel is vereist.

Teneinde een efficiënte oplossing voor elke toepassing te vinden, en de infrastructuren zoveel mogelijk onderling uitwisselbaar te maken, werden er twee ontwerpen voorgesteld voor de interface

- Een “universele” interface voor alle laadmodi, met een nominale stroom van 32 A wisselstroom, alsmede een aansluiting voor snellading met *ofwel* wisselstroom *ofwel* gelijkstroom

⁷⁹ De interface wordt hier beschouwd op het niveau voertuigingang/connector

- Een “basic” interface met nominale stroom van 32 A, zonder aansluiting voor snellading

Aldus zijn er drie soorten ingangen op het voertuig

- Universeel a.c. (U_A) voor voertuigen die snellading met wisselstroom aanvaarden
- Universeel d.c. (U_D) , voor voertuigen die snellading met gelijkstroom aanvaarden⁸⁰
- Basic (B)

en drie soorten connectoren:

- Universeel a.c. (U_A)
- Universeel d.c. (U_D)
- Universeel 32 A (U_{32}) (bevat geen aansluiting voor snellading)
- Basic

Deze ingangen en connectoren passen op elkaar als aangeduid in Tabel XVII

Ingang	Connector			
	U_A	U_D	U_{32}	B
U_A	Ja	Neen	Ja	Neen
U_D	Neen	Ja	Ja	Neen
B	Neen	Neen	Neen	Neen

Tabel XVII: Interface compatibiliteit

De contactposities die hierbij in gebruik zijn worden aangeduid in Tabel XVIII.

⁸⁰ Deze aansluiting is bv. representatief voor de meeste elektrische voertuigen die thans op de Belgische markt zijn.

Pos	U _A	U _D	U ₃₂	B	functie
1	•	•			Hoog vermogen a.c. of d.c.
2	•	•			Hoog vermogen a.c. of d.c.
3	•	•			Hoog vermogen a.c. of d.c.
4	•	•	•	•	32 A fase 1
5	•	•	•	•	32 A fase 2
6	•	•	•	•	32 A fase 3
7	•	•	•	•	32 A nulleider
8	•	•	•	•	Aardgeleider
9	•	•	•	•	Pilootgeleider
10	•	•	•		Communicatie ⁸¹
11	•	•	•		Communicatie
12	•	•	•		Aarding gegevens
13				•	Vermogensindicator ⁸²
14				•	Vermogensindicator

Tabel XVIII: Contactposities

De configuratie van de contactposities is vast voor alle “universele” aansluitingen, met contacten die al dan niet gebruikt worden naargelang de toepassing.

De “basic” aansluiting kan éénfasig of driefasig zijn, met eventuele bijkomende contacten voor piloot en vermogenindicator.

7.4 Achtergronden van de normalisatie

De conductieve lading zal de geprefereerde oplossing blijven door haar eenvoud en haar compatibiliteit met bestaande aansluitingen (in Mode 1). De ontwikkeling van de normalisatie terzake steunt op de basisprincipes die hieraan ten gronde liggen:

7.4.1 Veiligheid

Normalisatie moet in de eerste plaats gericht zijn om een veilige werking van de toestellen mogelijk te maken en om de personen te beschermen. Elektrische voertuigen worden in specifieke omstandigheden ingezet voor wat de lading betreft: gebruik door niet gespecialiseerde personen, frequente onderbreking onder belasting, gebruik in vochtige omgeving, zware behandeling van kabels en connectoren. De bescherming kan afdoende verwezenlijkt worden met verliesstroomschakelaars. Voor privé-installaties is het de verantwoordelijkheid van de eigenaar (Mode 1 lading). Voor openbare installaties, waar bijkomende veiligheidsmaatregelen moeten worden genomen, is Mode 3 vereist met pilootgeleider.

⁸¹ Verwezenlijken van communicatie tussen de lader en het voertuig

⁸² Dit contact is een optie om het opgenomen vermogen van de lader in te stellen naargelang de capaciteit van de aansluiting

7.4.2 Flexibiliteit

Teneinde het een kans te geven om een significant marktaandeel te bekomen, vooral voor wat betreft privé-voertuigen, moet het elektrisch voertuig in staat zijn geladen te worden op velerlei locaties buiten de eigen garage. Stekkers en stopcontacten moeten dus compatibel zijn. Een gemeenschappelijke interface is reeds ontworpen voor de connector aan voertuigzijde; voor de stopcontactzijde moet rekening gehouden worden met de uiteenlopende bestaande infrastructuren. Een gemeenschappelijk type accessoires voor alle EV gebruikers in een bepaalde zone is hierbij essentieel.

7.4.3 Kostprijs

De kostprijs van de infrastructuur moet zo laag mogelijk gehouden worden om de meerprijs van het elektrisch voertuig (die hoofdzakelijk te wijten is aan de geringe productieaantallen) niet nog zwaarder te laten wegen.

De laadinfrastructuur moet niet te duur zijn of “over-engineered”.

7.4.4 Conclusies

De normalisatie activiteiten over conductieve lading zijn er op gericht een wereldwijde (of minstens continent-wijde) unieke infrastructuur te verwezenlijken die de grootschalige inzet van elektrische voertuigen moet mogelijk maken. De vooruitgang die op dit vlak is geboekt tonen de voordelen van de internationale normalisatie; de comités die actief zijn op dit domein werken op voorbeeldige wijze samen. Een aantal problemen die nog moeten opgelost worden, zijn vooral terug te brengen op specifieke tradities in bepaalde streken.

8 WpBI: ANALYSE VAN DE GEBRUIKSOMSTANDIGHEDEN VAN DE ELEKTRISCHE VOERTUIGEN VAN DE BRUSSELSE BRANDWEER EN ANDERE DIENSTEN

8.1 Inleiding

Bij de openbare diensten in het Brussels Hoofdstedelijk Gewest zijn er thans 67 elektrisch aangedreven voertuigen in gebruik⁸³, verdeeld als volgt:

- 22 elektrische personenwagens
- 20 elektrische bestelwagens
- 10 elektrische scooters
- 2 elektrische fietsen
- 2 kleine elektrische vuilniswagens
- 10 diesel-elektrische autobussen⁸⁴
- 1 hybride personenwagen (Toyota Prius)

Een aantal van de meest representatieve gebruikers werden weerhouden voor verder onderzoek, via een gesprek met de verantwoordelijken en de gebruikers van de betrokken diensten.

Hierbij werd het gebruik van de voertuigen nagegaan aan de hand van de volgende open vragen:

- Voor welke taken wordt het voertuig typisch ingezet?
- Welk is de typisch afgelegde afstand per dag?
- Hoeveel ritten (in en uit de stelplaats) vinden er per dag plaats?
- Is het voertuig aan één bestuurder toegewezen of is het gebanaliseerd?
- Waar wordt het voertuig geladen? Enkel in de stelplaats of daarbuiten?
- Wanneer wordt het voertuig geladen? Elke avond, na elke rit of wanneer de batterij plat is?
- Welk is de appreciatie voor de prestaties van het voertuig in het verkeer?
- Welk is de appreciatie voor de autonomie van het voertuig?
- Welk is de appreciatie voor de technische betrouwbaarheid van het voertuig?
-

⁸³ Het betreft hier de voertuigen die aan ons bekend zijn (toestand 2001 – gegevens ontleend enerzijds aan de bevraging uitgevoerd in het kader van de studieopdracht “Schone Voertuigen” uitgevoerd door de V.U.B. in opdracht van het B.I.M., en anderzijds aan rechtstreekse contacten in het kader van deze studieopdracht “laadinfrastructuur”). Deze lijst is wellicht nog aan te vullen gezien de onvolledige respons op de vragenlijsten terzake.

⁸⁴ Dit zijn de Mercedes CITO autobussen in gebruik bij de M.I.V.B., hier volledigheidshalve opgenomen.

8.2 Brandweer⁸⁵

8.2.1 Situering

De grootste vloot elektrische voertuigen is in gebruik bij de Brusselse Brandweer, in totaal 29 voertuigen zijn hier in gebruik:

- 20 van het type Peugeot 106
- 9 van het type Peugeot Partner⁸⁶

Deze voertuigen werden aangekocht in 1998 (20 voertuigen voor een totaal inclusief bedrag van € 304.165) en 1999 (10 voertuigen voor een totaal bedrag van € 156.173). De prijs voor het omnium onderhoudscontract voor alle voertuigen (met inbegrip van de batterij leasing) bedraagt € 39.663 per jaar; geventileerd per voertuig geeft dit € 1.166 voor een 106 en € 1.633 voor een Partner⁸⁷.

De leasingprijs van de batterij omvat het onderhoud, de waarborg (vervangen van defecte monoblocs) en de terugname van de batterij voor recyclage op het einde van haar levensduur. De nikkel-cadmiumbatterijen waarmee deze voertuigen zijn uitgerust kunnen op een efficiënte en milieuvriendelijke wijze gerecycleerd worden en stellen geen enkel probleem voor het milieu.

Voor al deze voertuigen zijn er in de kazernes stopcontacten voorzien met blauwe IEC60309-2 stekkers; de lading gebeurt in Mode 1.

De aanschaf van een snellader is overwogen, maar werd nog niet verwezenlijkt gezien enerzijds de hoge aankoop prijs van een dergelijk toestel (€ 11.586 voor een 36 kW toestel voor garage opstelling) en anderzijds het feit dat er bij de gegeven uitbating niet echt een behoefte voor bestaat.

8.2.2 Gebruik

8.2.2.1 Inzet van de voertuigen

De elektrische voertuigen zijn geïntegreerd in het park dienstvoertuigen van de Brandweer, zij het dat zij niet gebruikt worden voor interventies⁸⁸, maar toepassing vinden in de algemene dienst. Zij worden als volgt ingezet:

- de 106 worden vooral gebruikt door Brandweerofficieren voor preventieve bezoeken, controles en dergelijke.
- de Partner zijn toegewezen aan de voorposten, en wordt door het aldaar gestationeerde personeel gebruikt voor klein vervoer, boodschappen en dergelijke. De centrale keuken beschikt eveneens over een Partner.

Het onderhoud van de voertuigen is gedekt door het omnium onderhoudscontract; het klein onderhoud, met inbegrip van het periodiek bijvullen van de batterij, vindt echter plaats in de ateliers van de Brandweer zelf. Deze beschikt hiervoor over een toestel voor watervulling, een toestel voor batterijconditionering en een diagnosecomputer⁸⁹.

⁸⁵ De gegevens in deze paragraaf resulteren uit een bevraging van de Brusselse Brandweer, in het bijzonder Majoor De Herdt die verantwoordelijk is voor het wagenpark.

⁸⁶ De tiende Partner van de Brandweer werd vernield bij een verkeersongeval.

⁸⁷ Het verschil tussen beide is voornamelijk te wijten aan het verschil in leasingprijs van de batterij; de Partner beschikt over 28 monoblocs (168V); de 106 over 20 (120V).

⁸⁸ Voor de interventies worden vanzelfsprekend vooral gespecialiseerde voertuigen (ladderwagen, autopomp, ambulance,...) ingezet.

⁸⁹ Deze apparaten werden door Peugeot ter beschikking van de Brandweer gesteld.

8.2.2.2 Gebruikskosten

De afgelegde afstanden voor deze voertuigen bedragen 5.000 à 10.000 km per jaar. Dit laat toe een schatting te maken van de gebruikskosten (bv. bij 8000 km/jaar):

- Afschrijving € 0,2397/km (op 8 jaar)
- Onderhoudscontract € 0,1710/km⁹⁰
- Verbruik € 0,0265/km⁹¹
- Totaal € 0,4372/km

Het is duidelijk dat vooral de hoge investeringskost de totale kostprijs opdrijft; het energieverbruik daarentegen is beperkt en bedraagt slechts 6% van de totale kostprijs.

Merk op dat deze kostprijs overeenstemt met de gegevens van Tabel VIII (p. 21).

8.2.3 Problemen

De problemen die zich hebben voorgedaan met deze voertuigen situeren zich voornamelijk op twee vlakken:

8.2.3.1 Batterijtoestand en autonomie

De voertuigen bij de Brandweer worden meestal gebruikt voor korte afstanden (15 tot 30 km per dag), dit uit hoofde van de zendingen waarmee deze voertuigen worden belast. Dergelijke afstanden zijn vanzelfsprekend haalbaar voor de elektrische voertuigen; wanneer deze echter systematisch na elke rit worden geladen treedt een zogenaamd geheugeneffect van de batterij op, waardoor de (schijnbare) capaciteit van de batterij en dus ook de haalbare autonomie zullen dalen. In voorkomend geval moet de batterij worden gereconditioneerd⁹² met het hiervoor bestemde toestel.

Dit fenomeen kan vermeden worden door de voertuigen slechts in lading te zetten wanneer ze voldoende ontladen zijn. Een dergelijke discipline is eenvoudig te verwezenlijken bij die voertuigen die aan één gebruiker zijn toegewezen, maar is moeilijker bij de gebanaliseerde voertuigen⁹³. Deze worden immers systematisch op het einde van de dienst in lading gezet ten behoeve van de volgende ploeg. Problemen met ontladen batterijen bij deze voertuigen zijn in dit geval dan ook ondermeer terug te brengen op het “vergeten” in lading te zetten door de vorige gebruiker.

8.2.3.2 Verwarming

De elektrische voertuigen zijn voorzien van een hulpverwarming op benzine. , bedoeld voor het verwarmen van het interieur en het ontwasemen van de

⁹⁰ Dit is de gemiddelde prijs per voertuig, rekening houdend met de prijs van het globale onderhoudscontract

⁹¹ In de onderstelling dat er 25% tijdens de dag en 75% tijdens de nacht wordt geladen, met een gemiddeld verbruik van 270 Wh/km

⁹² Een dergelijke reconditionering houdt niets meer in dan een (statische) diepe ontlading van de batterij, gevolgd door een volledige oplading.

⁹³ Het is een algemeen verschijnsel in voertuigenparken dat gebanaliseerde voertuigen meestal in een slechtere staat van onderhoud verkeren en meer problemen hebben dan gepersonaliseerde voertuigen; dit is te wijten aan de afwezigheid van persoonlijke verantwoordelijkheidszin ten overstaan van een gebanaliseerd voertuig.

Bovendien speelt in dergelijke zaken het opleidingsniveau van het betrokken personeel ook een rol.

ruiten. Een elektrische verwarming (gevoed door de batterij) zou immers energetisch minder gunstig uitvallen, gezien deze kan tot 30% van de batterij-energie verbruikt, met een overeenkomstige vermindering van de autonomie tot gevolg. Bij een elektrische tractiemotor is de “afval” warmte, gezien het hoog rendement van de motor, immers onvoldoende om het voertuig te verwarmen. **Er is dus een bijkomende warmtebron nodig: een met benzine gevoed kacheltje, aangesloten op het watercircuit van het voertuig⁹⁴.**

Er werden echter regelmatig pannes aan deze verwarming vastgesteld, welke voornamelijk kunnen worden toegeschreven aan twee oorzaken:

- Het niet tijdig bijvullen van de benzinevoorraad: gezien de gebruikte pompjes niet zelfaanzuigend zijn, is bij volledige uitputting van het reservoir een manuele interventie nodig om het toestel terug aan de praat te krijgen. De behoefte om te tanken wordt door het personeel vaak niet ingezien (“het is een elektrisch voertuig, het heeft geen benzine nodig”), alhoewel een controlelampje op het instrumentenbord aangeeft dat het reservoir bijna leeg is.
- Het niet gebruik van de verwarming gedurende een langere periode (bv. de zomermaanden, wanneer er geen directe behoefte is aan verwarming), dit geeft aanleiding tot uitdroging, verstopping en moeilijkheden om het toestel terug op te vangen. Te dien einde wordt het aanbevolen om de verwarming regelmatig (minstens één keer per maand) te laten draaien.

Het is duidelijk dat deze problemen kunnen beheerst worden door op een verantwoorde manier met de voertuigen om te gaan. Vandaar het belang van een goede begeleiding en scholing van het betrokken personeel.

8.2.4 Appreciatie

De elektrische voertuigen worden over het algemeen positief geapprecieerd door de gebruikers, waarbij evenwel opvalt dat de houding van de officieren die een elektrisch voertuig als persoonlijk voertuig toegewezen krijgen veel positiever is dan van de gebruikers van de gebanaliseerde voertuigen. Ook de keuren van de Brandweer, die een Partner ter beschikking heeft, is zeer tevreden over dit voertuig.

De prestaties van de voertuigen worden als gelijkwaardig beschouwd met kleine benzinewagens. Zij worden tevens beschreven als “ideale tweede gezinswagens”. Het gebruik van elektrische voertuigen werd slechts expliciet afgewezen door die gebruikers die systematisch langere ritten buiten het grondgebied van het Gewest moeten uitvoeren⁹⁵.

De stilte van de voertuigen wordt door alle gebruikers bijzonder op prijs gesteld. Er kan gesteld worden dat de elektrische voertuigen voldoen aan de behoeften van de Brandweer voor wat betreft voertuigen voor algemene dienst; vanuit de

⁹⁴ Dergelijke toestellen worden overigens ook gebruikt voor het verwarmen van vrachtwagen-cabines, autobussen en dergelijke. De voornaamste fabrikanten van dit materiaal zijn de firma's “Eberspächer” en “Webasto”.

⁹⁵ Het gaat hier over bestemmingen zoals Leuven en Waver, welke in theorie haalbaar zouden moeten zijn voor de beschouwde elektrische voertuigen, maar welke – heen en terug – de enveloppe van de autonomie bijna volledig benutten.

administratie wordt echter als voornaamste bezwaar tegen de elektrische voertuigen evenwel de hoge kostprijs⁹⁶ vermeld. Zonder dit bezwaar zou de administratie de invoering van elektrisch aangedreven veralgemenen voor alle zendingen waarvoor dergelijke voertuigen in aanmerking komen.

⁹⁶ In de huidige marktcondities is de aankoopprijs van een elektrisch voertuig tot driemaal zo groot dan een vergelijkbaar thermisch voertuig.

8.3 Kabinet DELATHOUWER⁹⁷

Bij het kabinet van Staatssecretaris Robert Delathouwer is een kleine vloot van elektrisch aangedreven voertuigen in gebruik:

- 2 personenwagens Peugeot 106
- 1 hybride personenwagen Toyota Prius
- 2 scooters Peugeot Scootelec
- 2 elektrische fietsen

De Peugeot 106 voertuigen worden gebruikt voor allerlei boodschappen en verplaatsingen binnen het Gewest. De dagelijks afgelegde afstand bedraagt 40 à 45 km. Over het algemeen zijn de gebruikers tevreden met de autonomie van het voertuig. De voertuigen worden systematisch in lading gezet wanneer de laadtoestand minder dan 50% bedraagt.

De hybride Prius is volledig te vergelijken met een thermisch voertuig (dit voertuig hoeft overigens niet vanaf het net opgeladen te worden).

De scooters en fietsen zijn zeer populair voor korte verplaatsingen in de stad⁹⁸. De autonomie van de scooter, die maximum 25 km bedraagt, wordt echter als nogal krap gezien⁹⁹. Vandaar dat de scooters systematisch na elke rit worden opgeladen; dit is vanzelfsprekend niet bevorderlijk voor een goede uitbating van de batterij. Teneinde hieraan te verhelpen wordt de volgende uitbating voorgesteld:

- één scooter wordt voorbehouden voor de “langere” ritten, deze wordt altijd maximaal geladen
- één scooter wordt voorbehouden voor de “kortere” ritten, deze wordt slechts geladen als hij (bijna) plat is
- wekelijks worden beide scooters omgewisseld

Op die manier kan een optimale benutting van de batterijen mogelijk gemaakt worden.

⁹⁷ De gegevens in deze paragraaf resulteren uit een gesprek met de gebruikers van elektrische voertuigen op het kabinet (de hh. A. DeRas, R. Devos, F. Donvil, S. El Maliji, J. Gelissen en J.P. Wouters)

⁹⁸ Voor zover de weersomstandigheden gunstig zijn natuurlijk!

⁹⁹ De langste ritten die systematisch met deze voertuigen gemaakt worden (bv. van het kabinet aan de Louizalaan naar het B.I.M. en terug), bereiken de enveloppe van de autonomie.

8.4 Net Brussel¹⁰⁰

De stadsreinigingsdienst Net Brussel beschikt thans over 7 elektrische scooters en 2 kleine vuilnisophaalwagens.

De scooters werden oorspronkelijk aangekocht ten behoeve van de brigadiers van de dienst, voor toezicht- en controle taken. De ervaring hiermee was echter negatief: het imago van de voertuigen werd door het personeel niet geaccepteerd. De hierbij optredende problemen (slechte wegligging, onvoldoende autonomie) zijn dan ook voornamelijk aan opzettelijk slechte behandeling van de voertuigen en aan tegenwerking van het personeel te wijten.

De scooters worden thans voornamelijk gebruikt voor de behoeften van het hoofdkantoor; de gebruikers hier gaan er met meer overleg mee om en halen zonder problemen de (normale) autonomie van 25 à 30 km.

Hieruit blijkt eens te meer dat de motivatie en de responsabilisering van het personeel een essentiële factor is in het welslagen van een EV-project¹⁰¹.

Sinds 1991 zijn er te Brussel twee kleine elektrische vuilnisophaalwagens van het merk Apollo in dienst. Deze voertuigen zijn gebouwd op een industrieel chassis en zijn voorzien van een vuilnismand van 2 m³. Zij worden gebruikt voor het ophalen van straatvuilnisbakken in de omgeving van het depot.

De ervaringen met deze voertuigen zijn over het algemeen positief; de meest frequente problemen treden op met de verwarmingsinstallatie, net zoals dit het geval was bij de Brandweer.

Initieel werden er voor elk voertuig twee sets batterijen aangekocht, met het doel van door batterijwissel de dagelijkse autonomie van het voertuig te vergroten. Deze techniek werd echter verlaten door de omslachtige manipulatie van de batterijbakken¹⁰².

¹⁰⁰ Gegevens resulterend uit een gesprek met ing. J.P. Awouters van Net Brussel

¹⁰¹ Ditzelfde probleem deed zich voor bij het experiment met elektrische vuilnisophaalwagens in Brussel de jaren '70 van vorige eeuw.

¹⁰² Het gaat hier om tractiebatterijen die meerdere honderden kilogram wegen; voor de batterijwissel is de tussenkomst van een heftruck vereist.

9 WpB2: FORMULERING VAN ADVIEZEN VOOR DE OPTIMALE BENUTTING VAN HET GEBRUIKTE MATERIAAL

9.1 Algemene aanbevelingen

De opvolging van het gebruik van elektrische voertuigen in het Brussels Hoofdstedelijk Gewest enerzijds, en de ervaringen opgedaan met diverse Europese projecten anderzijds [xxxiv] hebben toegelaten een aantal aanbevelingen te formuleren teneinde de uitbating van elektrisch aangedreven voertuigen te optimaliseren.

Het is duidelijk gebleken dat de thans op de markt beschikbaar zijnde elektrische voertuigen geschikt zijn om een aanzienlijk aantal missies uit te voeren; om de beste resultaten te bereiken moeten echter een aantal eenvoudige aanbevelingen opgevolgd worden:

- **Zending van het voertuig goed kennen!**
Het elektrisch voertuig is bij uitstek geschikt voor veeleisende toepassingen in stadsverkeer, zoals bijvoorbeeld postdistributie. Het energieverbruik voor dergelijke zendingen zal echter hoger liggen dan bij gewoon verkeer (en de autonomie overeenkomstig lager); hiermee moet bij de planning rekening worden gehouden. De autonomie die door de constructeur opgegeven is wordt immers bepaald op basis van standaard rijcycli die veel minder zwaar zijn dan distributiecycli met een groot aantal stilstanden.
- **Voertuig effectief gebruiken!**
Een regelmatig, best dagelijks, gebruik van het voertuig laat toe van de investering maximaal te benutten en het energieverbruik minimaal te houden. Batterijen zijn niet gemaakt om alleen gelaten te worden, voornamelijk loodbatterijen gaan in conditie achteruit als ze gedurende lange tijd niet gebruikt worden¹⁰³. Wanneer de batterijen gedurende lange tijd aan een batterijlader blijven aangesloten, zal er overtollig energie- en waterverbruik optreden.
Een stilstaand, ongebruikt voertuig draagt bovendien in generlei wijze bij tot de oplossing van energie-, mobiliteits- of milieuproblemen.
Bepaalde hulpsystemen aan boord van het voertuig, zoals bijvoorbeeld de verwarming, worden eveneens best geregeld gebruikt (ook in de zomer) om problemen te vermijden.
- **Batterijen oordeelkundig opladen!**
Goede laadtechnieken voor de batterij zullen deze in goede staat houden en het energieverbruik verminderen. Het systematisch opladen na een

¹⁰³ In voorkomend geval is het aanbevolen de batterijen geregeld een onderhoudslading te geven.

korte rit is te vermijden: enerzijds geeft dit aanleiding tot te frequente “eindladingen” (met hoger energie- en waterverbruik tot gevolg), anderzijds treedt er in de batterijen een geheugeneffect op hetgeen de autonomie van het voertuig negatief beïnvloedt. Het verdient dan ook aanbeveling de batterijen van het voertuig geregeld volledig te ontladen. Korte tussenladingen (bv. onder de middag) daarentegen verhogen de in één dag haalbare autonomie en verminderen het energieverbruik.

- **Personeel goed motiveren!**

Het succes van elk project staat of valt met de motivatie van het betrokken personeel. Wanneer deze negatief is, bijvoorbeeld door een negatieve perceptie ten opzichte van het elektrisch voertuig¹⁰⁴, is de kans op een actieve en positieve medewerking van het personeel klein. De introductie van de voertuigen moet gepaard gaan met een degelijke inlichting van het personeel zodanig dat de echte voordelen van het elektrisch voertuig worden geapprecieerd. Het personeel moet een efficiënte briefing krijgen rond de correcte omgang met het voertuig en de aanbevolen laadtechnieken. Hierbij moet met overtuiging, eerder dan met dwang gehandeld worden, teneinde negatieve reacties te vermijden. De opleiding moet aangepast worden aan het niveau en de belangstellingsfeer van het personeel: een pedante intellectuele presentatie zal weinig indruk maken op de praktisch gerichte geest.

- **Energieverbruik opvolgen!**

Bij gebruik in een wagenpark is het opvolgen van het energieverbruik van elk individueel voertuig een essentieel beheersinstrument om het gebruik van de voertuigen te optimaliseren.

¹⁰⁴ “Elektrisch voertuig is te traag, te weinig performant, heeft geen uitstraling....” en andere misvattingen van dit type. De aanwezigheid van dergelijke argumenten hangt mede af van de scholingsgraad en de betrokkenheid van het personeel.

9.2 Bijzondere informatiesessie

Een informatiesessie aangaande de evoluties van de voertuigtechnologie werd georganiseerd op 25 juni 2002, in het auditorium "Paul Janssens" van de VUB, ten behoeve van de administraties die elektrische voertuigen in gebruik hebben of hiervoor belangstelling hebben.

Het programma van deze studienamiddag was als volgt:

- verwelkoming door Staatssecretaris R. Delathouwer
- algemene bespreking en technische voorstelling van de elektrische en hybride voertuigen door Prof. G. Maggetto (VUB)
- uiteenzetting over de milieuvoordelen van elektrische en hybride voertuigen door dr. ir. J. Van Mierlo (VUB), waar de resultaten van het onderzoek "Schone Voertuigen" (uitgevoerd door VUB en ULB in opdracht van het BIM) werden voorgesteld
- uiteenzetting over de laadinfrastructuur door ir. P. Van den Bossche (VUB) en aanbevelingen in verband met een optimale benutting van het voertuig.

De presentaties zijn in bijlage gevoegd.

De vergadering werd bijgewoond door een dertigtal personen van verscheidene administraties:

- AWOUTERS J.P. - Net Brussel
- CASSE Ph. - S.A. D'IETEREN
- CAUDRON E.--Garage communal d'Etterbeek
- CERFONT Ch.- Administration Economie-Ministère de la Région de Bruxelles-Capitale
- COURTOIS M. -- Cabinet Delathouwer
- DA SILVA N.--Service fédéraux pour les Affaires Environnementales
- De Bisschop E. -Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap
- DE MUELENAERE S. -ACLVB-CGSLB
- DEBRY Ph. -Echevin-Administration communale d'Anderlecht
- DEGAILLIER M. -Service fédéraux pour les Affaires Environnementales
- DELATHOUWER R. -Staatssecretaris-Brusselse Hoofdsteelijke Regering
- GELISSEN J. -Kabinet Delathouwer
- GLUME J.L. -Directie Vervoerbeleid-MRBC/AED
- HENDRICKX C.
- HOTYAT R. -Commission régionale de développement
- JANSEGERS E. --Net Brussel
- LAMBERT C. - Conseil de l'Environnement-Région de Bruxelles-Capitale
- LEFEVRE F. - BFE/FPE - ASBE
- LEURQUIN L.--Commune de Watermael-Boitsfort

- LUCAS Ph. - Ir-Directeur-Transports-Propreté publique-Commune d'Ixelles-8ème direction
- MABILDE E. -service environnement-Commune d'Etterbeek
- MIRCEA L.-Responsable de la Direction Technique-TEC-BW
- POPELIER G.--VTB-VAB
- ROS M.-Assistant technique-Commune d'Anderlecht
- SCHERBAM A.--CPAS de Schaerbeek
- SEMINCK E.--Ministerie Brussels Hoofdstedelijk Gewest
- STRAETEMANS C --M.B.H.G.-B.U.V.-Dir. Vervoerbeleid
- VAN DEN EYNDE N. --FEBETRA
- VAN WAEYENBERGE--MRBC
- VANEERDEWEGH Ph.-Adviseur afdeling mobiliteit en infrastructuur- Belgisch Instituut voor het Verkeer
- WOLTERS F.--Electrabel

Na afloop was er gelegenheid tot discussie op een receptie die werd aangeboden in het laboratorium van de vakgroep ETEC.

10 Lijst van figuren

Figuur 1: Elektrisch voertuig met één motor.....	8
Figuur 2: Elektrisch voertuig met wielmotoren.....	8
Figuur 3: Serie hybride.....	8
Figuur 4: Parallel hybride.....	9
Figuur 5: Gecombineerde hybride.....	9
Figuur 6: “Ecoscore” [vii].....	19
Figuur 7: Aansluiting van het elektrisch voertuig.....	25
Figuur 8: IU laadkarakteristiek.....	26
Figuur 9: Conductieve lading (IEC TC69 WG4).....	28
Figuur 10: Infrastructuur voor inductieve lading.....	30
Figuur 11: Inductief laadsysteem in het wegdek.....	30
Figuur 12: Inductief laadsysteem met automatische koppeling.....	31
Figuur 13: Overzicht van de benodigde laadtijden in functie van het vermogen.....	32
Figuur 14: Gelegenheidslading in functie van het vermogen.....	33
Figuur 15: Laadstation van het Franse type: basiseenheid met twee stopcontacten. Het station kan bijkomende stopcontacten bedienen.....	38
Figuur 16: de “Framatome” stekker voor elektrische voertuigen.....	39
Figuur 17: Bijkomend laadpunt, te monteren op paal of op muur.....	40
Figuur 18: Laadpunt zonder tarificatie, bestemd voor gebruik op privé terrein.....	41
Figuur 19: Snellaadstation in Frankrijk.....	42
Figuur 20: “Liselec” laadpalen in La Rochelle.....	43
Figuur 21: Inductieve lader “Praxitèle”.....	43
Figuur 22: Elcidis platform te La Rochelle.....	44
Figuur 23: Afschrijving van openbare laadstations in Frankrijk.....	45
Figuur 24: “E-totem” Laadstation te Mendrisio, Zwitserland.....	46
Figuur 25: Park&Charge laadpunten in Zwitserland.....	47
Figuur 26: Aangepaste IEC 60309-2 stekker (Mennekes).....	48
Figuur 27: IEC 60309-2 compatibel laadconcept ontwikkeld in Zwitserland.....	49
Figuur 28: Italiaanse stekker voor EV met pilotcontact.....	50
Figuur 29: de “Magnecharge” inductieve laadpaddel.....	51
Figuur 30: Publiek toegankelijke inductieve laadstations in Los Angeles.....	52
Figuur 31: Laadbox “Powerpak” voor conductieve lading.....	53
Figuur 32: Conductief laadstation in de Verenigde Staten.....	53
Figuur 33: Aerovironment snellaadstation.....	54
Figuur 34: Voorgestelde locaties voor laadstations in het B.H.G.....	61
Figuur 35: Anderlecht, Raadplein.....	62
Figuur 36: Anderlecht, Erasmus ziekenhuis (Lennikse baan).....	63
Figuur 37: Brussel, Nieuwe Graanmarkt.....	64
Figuur 38: Brussel, Magdalena steenweg.....	65
Figuur 39: Brussel, Naamse poort.....	66
Figuur 40: Brussel, Schuman plein.....	67
Figuur 41: Brussel, Eeuwfeestlaan.....	68
Figuur 42: Laken, Tielemansstraat.....	69
Figuur 43: Elsene, F. Cocq plein.....	70
Figuur 44: Laadstation V.U.B.....	71
Figuur 45: Etterbeek, Oudergem laan.....	72

Figuur 46: Evere, S. Hoedemakers square	73
Figuur 47: Evere, Leopold III laan	74
Figuur 48: Ganshoren, Keizer Karel laan	75
Figuur 49: Jette, Kardinaal Mercier plein.....	76
Figuur 50: Jette, A.Z. V.U.B.....	77
Figuur 51: Koekelberg, H. Van Huffel plein	78
Figuur 52: Oudergem, Emiel Idiers straat.....	79
Figuur 53: Schaarbeek, Colignon plein	80
Figuur 54: Schaarbeek, Noordstation	81
Figuur 55: Sint-Agatha-Berchem, Koning Albert laan.....	82
Figuur 56: Sint-Gillis, Van Meenen plein.....	83
Figuur 57: Sint-Gillis, Zuidstation	84
Figuur 58: Sint-Jans-Molenbeek, Gemeente plein.....	85
Figuur 59: Sint-Joost-ten-Node, Sterrekunde laan.....	86
Figuur 60: Sint-Lambrechts-Woluwe, Paul Hymans laan.....	87
Figuur 61: Sint-Lambrechts-Woluwe, Ziekenhuis St. Luc, Hippocrates laan	88
Figuur 62: Sint-Pieters-Woluwe, Thielemanslaan.....	89
Figuur 63: Ukkel, Jean Van der Elst plein	90
Figuur 64: Barcelonastraat, Vorst	91
Figuur 65: Watermaal-Bosvoorde, A. Gilson plein	92
Figuur 66: Snellader voor garage opstelling	94
Figuur 67: Paal type Toledo 250 (Hess)	98
Figuur 68: Paal type Toledo 350 (Hess)	98
Figuur 69: Paal type Madrid (Hess).....	98
Figuur 70: Paal type Morano (Hess)	98
Figuur 71: Paal type Cadiz (Hess).....	99
Figuur 72: Paal type Toro (Hess)	99
Figuur 73: Montage van de HESS paal.....	99
Figuur 74: Mennekes paal.....	101
Figuur 75: Voorbeeld van aansluiting van deze paal.....	101
Figuur 76: Mennekes laadkolom.....	102
Figuur 77: BRUSA wallbox controller met piloot	104
Figuur 78: Brusa wallbox met beveiligingen	104
Figuur 79: Paaltjes voor afscherming voetpad (foto genomen te Elsene).....	109
Figuur 80: Plaatsing van paal bij dwarse parkeerplaatsen	110
Figuur 81: Plaatsing van paal bij parallelle parkeerplaatsen.....	111
Figuur 82: Paal met drie stopcontacten	111
Figuur 83: Paal met vier stopcontacten.....	112
Figuur 84: Bord in gebruik te La Rochelle.....	113
Figuur 85: Bord in gebruik in Arizona (U.S.A.).....	113
Figuur 86: Bord gebruikt in Zwitserland (Park&Charge).....	114
Figuur 87: Chip op de PROTON kaart.....	118
Figuur 88: PROTON architectuur.....	118
Figuur 89: C-ZAM/V terminal	120

I I Lijst van tabellen

Tabel I: Prestaties van elektrische voertuigen.....	10
Tabel II: Batterijen voor elektrische voertuigen.....	11
Tabel III: Vergelijking van types tractiemotoren.....	12
Tabel IV: Energieverbruik van verschillende aandrijvingen.....	15
Tabel V: Relatieve emissiewaarden van schadelijke stoffen in de atmosfeer	19
Tabel VI: Kostprijs van een kleine bestelwagen (500 kg), bv. Peugeot Partner	20
Tabel VII : de verhoudingen van de brandstofkosten per 100 km.....	21
Tabel VIII: Gemiddelde jaarlijkse globale kost en kost per km	21
Tabel IX: Vergelijking van voertuigtypes.....	22
Tabel X: Indicatief potentieel marktsegment.....	23
Tabel XI: Prijzen van HESS materiaal.....	100
Tabel XII: Onkosten per paal – 2 aansluitingen semi-snellading.....	105
Tabel XIII: Totale kosten voor verschillende typen palen.....	105
Tabel XIV: Kostprijs voor Proton laadpaal.....	123
Tabel XV: Parkeertarieven in het B.H.G.....	124
Tabel XVI: Park&Charge vignetten.....	126
Tabel XVII: Interface compatibiliteit.....	133
Tabel XVIII: Contactposities.....	134

I 2 Bibliografie

- i C.J. Campbell, J.H. Laherrère: *The end of cheap oil*. Scientific American, Maart 1998
- [ii] Adviescentrum voor duurzame energie en elektrische voertuigen. <http://www.hec.w4r.nl/>
- [iii] Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, Afdeling Algemeen Milieu- en Natuurgebied. "OECD working group on low emission vehicles implementation issues survey on the experience of OECD member countries." 16 July 2001.
- [iv] Murray Jonathan, Lane Ben, Lillie Ken, McCallum Joshua. "The report of the alternative fuels group of the cleaner vehicles task force; an assessment of the emissions performance of alternative and conventional fuels." January 2000.
- [v] Maggetto, G., Van Mierlo J., Van den Bossche P., Van den Bossche S., Deloof W., Lecho C., "Elektrische en hybride voertuigen; een duurzaam en milieuvriendelijk alternatief."
- [vi] Van Mierlo, Joeri. "Simulation software for comparison and design of electric, hybrid and internal combustion vehicles with respect to energy, emissions and performances." Thesis submitted for the degree of doctor in applied sciences. VUB. April 2000
- vii ETEC-VUB, CESE-ULB, Verslag WP4 "Schone Voertuigen", januari 2002
- [viii] ETEC-VUB, CESE-ULB. Verslag WP1; "Definitie van het begrip Schone Voertuigen." 27 september 2001
- ix IEC 60718, *Electrical equipment for the supply of energy to battery road vehicles*, §5.2.8
- x IEC 61851-1, *Electric vehicle conductive charging system – Part 1: General requirements*, IEC, Geneva, 2001
- xi IEC 61851-22, *Electric vehicle conductive charging system – Part 22: AC electric vehicle charging station*, IEC, Geneva, 2001
- xii G. Maggetto, P. Van den Bossche, *Inductive Automatic Charging: The Way to Safe, Efficient and User-Friendly Electric Vehicle Infrastructure*, EVS-18, Berlin, 201
- xiii IEC 60309-2, *Plugs, socket-outlets and couplers for industrial purposes – Part 2: Dimensional interchangeability requirements for pin and contact-tube accessories*, IEC, Geneva, 1999
- xiv Een overzicht van de laadstations in Frankrijk is te vinden op http://transports.edf.fr/point_recharge/accueil/index.htm
- xv E. Teyssedre, *Recharging infrastructures for electrical and hybrid vehicles in France*, EVS-17, Montréal, 2000
- xvi Meer informatie en een lijst van locaties zijn te vinden op <http://www.ecs-five.ch/park&charge/index-gb.html>
- xvii IEC 62196, *Plugs, socket-outlets, vehicle couplers and vehicle inlets - Conductive charging of electric vehicles - Part 1: Charging of electric vehicles up to 250A a.c. and 400A d.c. (CDV)*
- xviii IEC 60309-1, *Plugs, socket-outlets and couplers for industrial purposes – Part 1: General requirements*, IEC, Geneva, 1999
- xix Article 625, *National Electrical Code*, National Fire Protection Association Inc., 1999
- xx Thomas L. Quinn, *Statewide Rapid Charging Infrastructure*, EVS-17, Montréal, 2000
- xxi G. Maggetto, J.L. Van Eck et al.: "Brussels Electric Vehicle Experiment", Drive Electric 80, Wembley, 1980
- xxii P. Van den Bossche, G. Maggetto, *Brussels EV experiment anno x: electric vehicles in urban transport*, EVS-10, Hong-Kong, 1990
- xxiii IEC 61851-21, *Electric vehicle conductive charging system – Part 21: Electric vehicle requirements for conductive connection to a.c./d.c. supply*, IEC, Geneva, 2001
- xxiv Volgens gegevens in <http://www.ecs-five.ch/park&charge/Betreiber.htm>
- xxv 1000 véhicules électriques chez EDF, Dossier de presse, EDF, 1997

-
- xxvi LEMNET, uitgegeven door ECS, Dübendorf, Zwitserland; ook online te raadplegen op <http://petrix.dreifels.ch/lemnet/index.htm>
- xxvii IEC 60718, *Electrical equipment for the supply of energy to battery-powered road vehicles*. Ed. 3.0, IEC, Geneva, 1997
- xxviii IEC 61851-21, *Electric vehicle conductive charging system – Part 21: Electric vehicle requirements for conductive connection to a.c./d.c. supply*, IEC, Geneva, 2001
- xxix IEC 60309-1, *Plugs, socket-outlets and couplers for industrial purposes – Part 1: General requirements*, IEC, Geneva, 1999
- xxx ISO 6469-1: *Electric road vehicles – Safety specifications – Part 1: On-board energy storage*. ISO, Geneva, 2001
- xxxi ISO 6469-2: *Electric road vehicles – Safety specifications – Part 2: Functional safety means and protection against failures*. ISO, Geneva, 2001
- xxxii ISO 6469-3: *Electric road vehicles – Safety specifications – Part 3: Protection of persons against electric hazards*. ISO, Geneva, 2001
- xxxiii ISO 8715:2001, *Electric road vehicles – Road operating characteristics*, ISO, Geneva, 2001
- xxxiv Gustaf Landahl et al., *Electric Vehicle Working Group – Evaluation of Targeted Transport Projects*, European Commission, Thermie B Contract STR/2011/98, 2000 (een aanzienlijke bijdrage aan dit verslag werd geleverd door CITELEC)