

**TNO-rapport**  
97.OR.VM.025.1/RSM

TNO Wegtransportmiddelen

Schoemakerstraat 97  
Postbus 6033  
2600 JA Delft

Telefoon 015 269 69 00  
Fax 015 262 07 66



Het kwaliteitssysteem van  
TNO Wegtransportmiddelen  
voldoet aan ISO 9001.

## **ELEKTRISCHE EN HYBRIDE VOERTUIGEN**

### **Een Quick Scan van de stand van zaken en trends**

Datum  
12 maart 1997

Auteur  
R.T.M. Smokers  
S. Mourad  
D. Schmal  
C.J.T. van de Weijer  
P. van Sloten  
P. Hendriksen

Oprachtgever  
Ministerie en Verkeer en Waterstaat  
SSZ Coördinatie Commissie Elektrische voertuigen  
drs. P.N.M. Pilgram  
Postbus 20901  
2500 EX DEN HAAG

Akkoord  
R.T.M. Smokers  
(projectleider)

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'R.T.M. Smokers'.

Akkoord  
P. van Sloten  
(sectiehoofd)

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'P. van Sloten'.

Projectnummer  
730710412

Alle rechten voorbehouden.  
Niets uit deze uitgave mag worden  
vermenigvuldigd en/of openbaar  
gemaakt door middel van druk, foto-  
kopie, microfilm of op welke andere  
wijze dan ook, zonder voorafgaande  
toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd  
uitgebracht, wordt voor de rechten en  
verplichtingen van opdrachtgever en  
opdrachtnemer verwezen naar de  
Algemene Voorwaarden voor onder-  
zoekopdrachten aan TNO, dan wel  
de betreffende terzake tussen de  
partijen gesloten overeenkomst.  
Het ter inzage geven van het  
TNO-rapport aan direct belang-  
hebbenden is toegestaan.

© 1997 TNO

Aantal pagina's  
111

Aantal bijlagen  
2

Aantal figuren  
7

Aantal tabellen  
8



## Samenvatting

Elektrische aandrijving heeft in de afgelopen jaren een grote ontwikkeling door-  
gemaakt, zowel in technisch opzicht als in het denken over mogelijke toepassin-  
gen van de verschillende vormen van elektrische aandrijving.

Ging recentelijk de aandacht van publiek, onderzoekers en fabrikanten vooral uit  
naar batterij-elektrische voertuigen, de laatste jaren mag de hybride-elektrische  
aandrijving zich verheugen in een groeiende belangstelling. Batterij-elektrische  
voertuigen worden meer en meer gezien als voertuigen voor niche-toepassingen,  
terwijl met name serie-hybride aandrijving mogelijkheden opent voor vergaande  
energiebesparing en emissiereductie bij de all-purpose auto.

Daar staat tegenover dat juist in 1996 een aantal grote autofabrikanten op de  
markt is gekomen met in kleine series gebouwde batterij-elektrische voertuigen.  
Naast het aanbod van omgebouwde conventionele voertuigen groeit ook het  
aantal speciaal voor toepassing van elektrische aandrijving ontwikkelde voer-  
tuigen.

Geconcentreerde inspanningen in batterij-ontwikkeling hebben geleid tot een  
prijzdaling en vergroting van de betrouwbaarheid van "conventionele" batterijen  
(lood-zuur en nikkel-cadmium). Anderzijds is ook op het gebied van geavan-  
ceerde batterijen, zoals NiMH en lithium-batterijen, meer vooruitgang geboekt  
dan verwacht.

De oprichting, in Nederland, van een Coördinatie Commissie Elektrisch vervoer  
voor het SSZ-programma is een goede aanleiding om een overzicht te geven van  
de stand van zaken en recente ontwikkelingen op het gebied van elektrisch  
vervoer.

Dit rapport is een met beperkte middelen en in korte tijd samengestelde samen-  
vatting van informatie die bij TNO aanwezig is in de vorm van literatuur en de  
kennis en ervaring van medewerkers. In de beschrijving van concrete voertuigen,  
componenten of activiteiten is geen volledigheid nagestreefd. Wel is gepoogd om  
in grote lijnen een degelijk beeld te schetsen van de belangrijke ontwikkelingen  
en om deze aan de hand van zinnige voorbeelden te illustreren.

Het verzamelen en ontwikkelen van kennis op het gebied van elektrische en  
hybride aandrijving door TNO is mede mogelijk gemaakt door de verstrekking  
van doelfinanciering vanuit de departementen EZ, VROM en V&W.

Overwogen wordt om dit rapport regelmatig te updaten en een brede versprei-  
ding te geven indien hiervoor belangstelling blijkt te zijn.



## Inhoud

|           |                                                                         |     |
|-----------|-------------------------------------------------------------------------|-----|
| 1         | Inleiding .....                                                         | 7   |
| 1.1       | Doel en opzet Quick Scan .....                                          | 7   |
| 1.2       | Achtergrond elektrische en hybride voertuigen .....                     | 7   |
| 1.3       | Definities en terminologie .....                                        | 10  |
| 1.4       | Voor- en nadelen van verschillende elektrische aandrij-<br>vingen ..... | 16  |
| 1.5       | Energie- en milieu-aspecten .....                                       | 18  |
| 2         | Technologie .....                                                       | 25  |
| 2.1       | Overzicht van elektrische en hybride voertuigen .....                   | 25  |
| 2.2       | Componenten .....                                                       | 35  |
| 2.2.1     | Auxiliary Power Units .....                                             | 35  |
| 2.2.2     | Elektrische machines en vermogenselektronica .....                      | 40  |
| 2.2.3     | Energieopslag .....                                                     | 45  |
| 2.2.4     | Brandstofcellen en reformers .....                                      | 54  |
| 2.3       | Integratie-aspecten .....                                               | 61  |
| 2.3.1     | Systeemmanagement .....                                                 | 61  |
| 2.3.2     | Voertuigontwerp .....                                                   | 65  |
| 2.3.3     | Simulatiemodellen .....                                                 | 69  |
| 2.4       | Infrastructuur en laadapparatuur .....                                  | 70  |
| 3         | Marktaspecten en actoren .....                                          | 75  |
| 3.1       | Marktaspecten .....                                                     | 75  |
| 3.2       | Consument .....                                                         | 83  |
| 3.3       | Industrie .....                                                         | 85  |
| 3.4       | Overheid .....                                                          | 92  |
| 3.5       | Praktijkproeven met elektrische voertuigen .....                        | 95  |
| 4         | Conclusies .....                                                        | 99  |
| 5         | Literatuurlijst .....                                                   | 105 |
| Bijlage A | Informatiebronnen                                                       |     |
| Bijlage B | Overzicht van elektrische en hybride voertuigen                         |     |



# **1 Inleiding**

## **1.1 Doel en opzet Quick Scan**

Op verzoek van de SSZ Coördinatie Commissie Elektrische voertuigen (CCE) is door TNO-WT, in samenwerking met TNO-MEP, een zogenaamde Quick Scan uitgevoerd op het gebied van elektrische en hybride voertuigen.

Doel van deze Quick Scan is om de leden van de CCE een beknopt overzicht te geven van de huidige stand van zaken rond elektrische en hybride voertuigen. De geleverde informatie dient de CCE als achtergrond bij het ontwikkelen van zowel een korte als lange termijn visie m.b.t. Nederlandse activiteiten op dit terrein.

Dit rapport heeft betrekking op het gehele scala aan elektrische wegvoertuigen uiteenlopend van fietsen en scooters tot en met bussen en vrachtwagens, en is als volgt opgebouwd:

In Hoofdstuk 1 wordt het perspectief geschetst waarin elektrische en hybride voertuigen moeten worden gezien. In Hoofdstuk 2 wordt een technologische beschrijving gegeven van elektrische en hybride voertuigen, de verschillende componenten die daarin gebruikt (kunnen) worden alsmede van een aantal met ontwikkeling en gebruik van deze voertuigen samenhangende aspecten als voertuigontwerp, systeemmanagement en infrastructuur. Hierbij wordt uitleg gegeven over de werking van de technologie en wordt de huidige stand van zaken beschreven inclusief waarneembare trends. Aspecten die samenhangen met de ontwikkeling, promotie en marktintroductie worden in Hoofdstuk 3 beschreven aan de hand van kenmerken en activiteiten van belangrijke actoren. Het rapport wordt afgesloten met conclusies uit deze Quick Scan en een aantal aanbevelingen waarin meningen en visie van TNO zijn verwerkt.

## **1.2 Achtergrond elektrische en hybride voertuigen**

De ontwikkeling en de aandacht voor het elektrische voertuig (EV, Electric Vehicle) is niet iets van de laatste jaren. Het eerste elektrische voertuig werd in 1837 door Robert Davidson in Schotland gebouwd [Harris,1996]. Aan het einde van de 19e eeuw was het elektrisch voertuig één van de marktleiders voor wegtransport [Mom, 1995][van de Weijer, 1996]. Echter, door de opmerkelijke verbeteringen aan de verbrandingsmotor (onder andere door de elektrische startmotor!) zijn sinds de dertiger jaren de elektrische wegvoertuigen bijna geheel van het toneel verdwenen. Sinds die tijd steekt de aandacht voor EV's van tijd tot tijd weer de kop op wanneer er energie- of milieuproblemen worden gesigna-

leerd, zoals begin zeventiger jaren bij de oliecrisis, waar EV's een oplossing voor zouden kunnen bieden.

De laatste jaren is de aandacht voor ontwikkeling en inzet van EV's met name ingegeven door milieuproblemen zoals luchtvervuiling in stedelijke gebieden, zure regen en mondiale klimaatverandering. Vooral in de Verenigde Staten komt daarbij ook nog de sterke wens om onafhankelijk te zijn van de olie-import.

Deze verhoogde aandacht van overheid, industrie en consument zal low en zero emission voertuigen in de toekomst een grotere kans geven op marktintroductie dan wel uitbreiding van hun marktaandeel. De overheid kan in de ontwikkeling van EV's een belangrijke rol spelen, zoals in Californië (CARB) te zien is. Hierdoor is een grote stimulans ontstaan voor de ontwikkeling van EV's, zowel bij kleinere bedrijven, als bij universiteiten en grote autofabrikanten. Op het gebied van regelsystemen, elektrische componenten en batterijen zijn de laatste jaren erg grote vorderingen gemaakt in vergelijking met de voorgaande twee decaden.

Puur elektrische voertuigen hebben echter nog steeds grote beperkingen op het gebied van prestatie, massa, vermogen, actieradius, belading, beschikbare laadinfrastructuur, acculevensduur en kosten. Een groot deel van deze problemen komt voort uit de beperkingen van energie-opslag in accu's. Het gebruik van EV's is daarom tot nu toe beperkt gebleven tot niche markten zoals vorkheftrucks, mijnvoertuigen, golfauto's en bijvoorbeeld melkdistributie (UK). Doordat de accutechnologie ook op korte en middellange termijn een beperkte energiedichtheid zal kennen in vergelijking met de vloeibare brandstofopslag zijn er voorlopig, als er geen wettelijke of financiële stimulansen komen, voor EV's alleen kansen in nieuwe niches, zoals stadsdistributievoertuigen, taxi's in vlootgebruik en andere toepassingen in stedelijk gebied waar de voordelen van EV's duidelijk naar voren komen (stil, zuinig en schoon) en de beperkte actieradius in mindere mate een probleem is.

Door de andere aard van de componenten en vooral door de lage productie-aantallen zijn de kosten van EV's nu niet concurrerend met die van voertuigen met een verbrandingsmotor (Internal Combustion Engine Vehicles, ICEV's). Er zal in Hoofdstuk 3.1 dieper op kostenaspecten worden ingegaan.

Een ander aspect dat de invoering van EV's sterk beïnvloedt, is de beperkte beschikbaarheid van laadinfrastructuur. Dit kan resulteren in een kip/ei-probleem, wanneer investeringen in laadinfrastructuur niet op tijd en in goede coördinatie met alle betrokken partijen op gang komen. Onvoldoende beschikbaarheid van infrastructuur in combinatie met de beperkte actieradius zal de mogelijkheden voor inzet van EV's in vergelijking met conventionele voertuigen in hoge mate beperken.

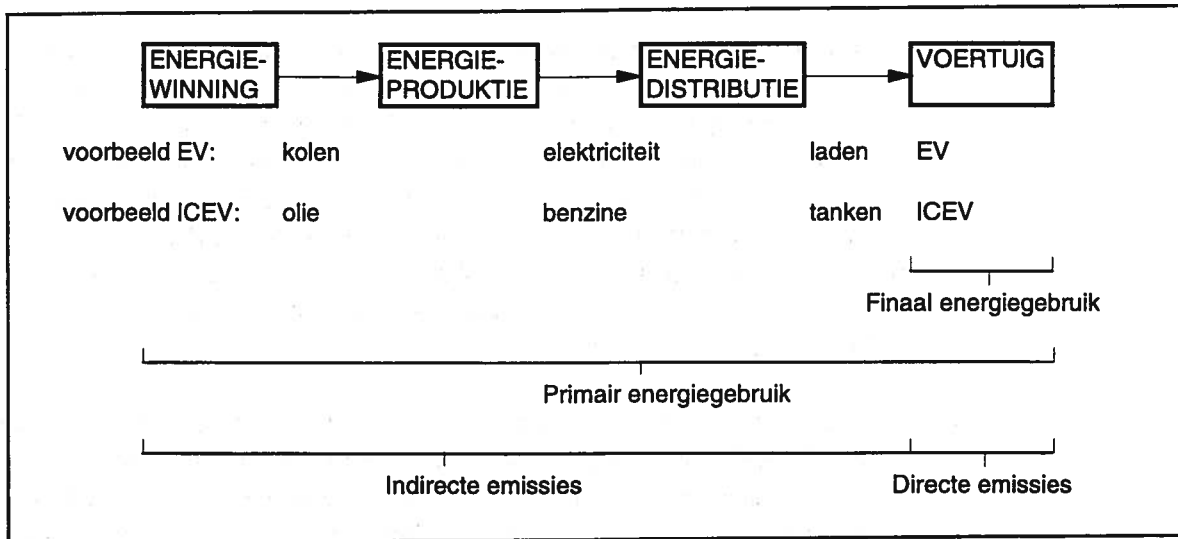


Er zijn de laatste jaren echter vele 'nieuwe' aandrijfconcepten uitgedacht en onderzocht die het potentieel hebben om schoon, zuinig én bruikbaar te zijn. Een van de belangrijkste voorbeelden hiervan is het hybride voertuig, waarbij getracht wordt de voordelen van EV's met die van de conventionele voertuigen te combineren. Prestaties en actieradius worden verbeterd terwijl de mogelijkheid blijft bestaan om plaatselijk zonder emissies te kunnen rijden. De complexiteit neemt in het algemeen echter toe. Wat het 'nieuwe' karakter van deze concepten betreft, is het illustratief te vermelden dat het eerste hybride elektrische voertuig al in 1905 reed [Wouk,1995].

Om de voor- en nadelen van elektrische, hybride en conventionele voertuigen eerlijk te kunnen vergelijken moet op het gebied van energiegebruik en emissies niet alleen naar het voertuig gekeken worden, maar naar de hele keten van bron tot en met voertuig (zie Figuur 1). De bijbehorende definities zijn als volgt [Mourad,1996]:

- Finaal energiegebruik: het gebruik van de energiedrager door het vervoermiddel zelf;
- Primair energiegebruik: het energiegebruik betrokken op primaire energiedragers (dus vanaf de winning tot en met het finaal energiegebruik);
- Directe emissies: emissies geproduceerd door het vervoermiddel zelf;
- Indirecte emissies: emissies geproduceerd tijdens winning, productie, tussenomzetting en distributie van de energiedrager.

Het ketenverbruik en de totale daarbij behorende emissies hangen af van de energieproductiemix. Voor een volledige vergelijking moet eigenlijk het 'cradle-to-grave'-principe worden gehanteerd, waarbij de productie en het afdanken van het voertuig ook worden verdisconteerd. De daarvoor benodigde gegevens zijn echter veelal moeilijk te verkrijgen voor bestaande producten en slechts met beperkte zekerheid te schatten voor producten die nog in ontwikkeling zijn. Meer informatie kan ondermeer gevonden worden in [DeLuchi,1991] en [Rijkeboer,1993].



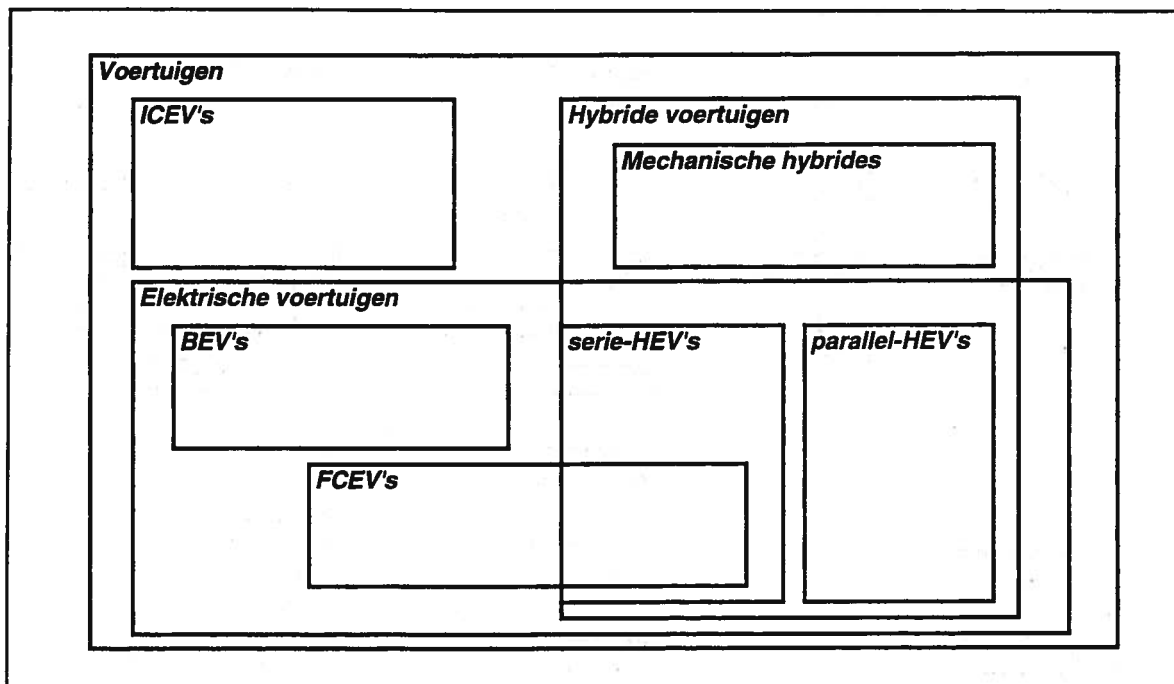
*Figuur 1: Uitleg ketenemissies en -energiegebruik*

### 1.3 Definities en terminologie

In het vakgebied van de alternatieve aandrijfconcepten zijn de laatste jaren vele nieuwe systemen ontwikkeld, welke worden aangeduid met een veelvoud aan naamgeving en terminologie. Hier zal een overzicht gegeven worden van de belangrijkste definities en gebruikte afkortingen. Een overzicht van een lijst met afkortingen is achterin dit rapport opgenomen.

De afkorting EV staat voor elektrisch voertuig of, in het engels, electric vehicle. In het verleden waren dit altijd voertuigen met een accu voor energieopslag en een elektromotor (EM) voor de aandrijving. Sinds de komst van hybride-elektrische voertuigen, of hybrid electric vehicles (HEV), en andere soorten opslagmedia wordt het begrip EV ook wel als verzamelnaam gebruikt voor alle aandrijfconcepten waar een elektromotor in voorkomt. Aan de hand van Figuur 2 zullen de verschillende voertuigen worden benoemd.

Een voertuig met accu en elektromotor wordt tegenwoordig ook wel batterij-elektrisch voertuig, of Battery Electric Vehicle (BEV) genoemd. De zojuist ter sprake gekomen HEV's zijn voertuigen met deels een elektrisch en deels een ander, niet elektrisch, aandrijfsysteem of een niet elektrische energiebron. Dit andere aandrijfsysteem c.q. deze andere energiebron kan een verbrandingsmotor zijn, bijvoorbeeld een zuigermotor (Internal Combustion Engine, ICE) of een gasturbine, maar ook een brandstofcel. De mogelijkheden staan in het hoofdstuk auxiliary power units (2.2.1) beschreven.

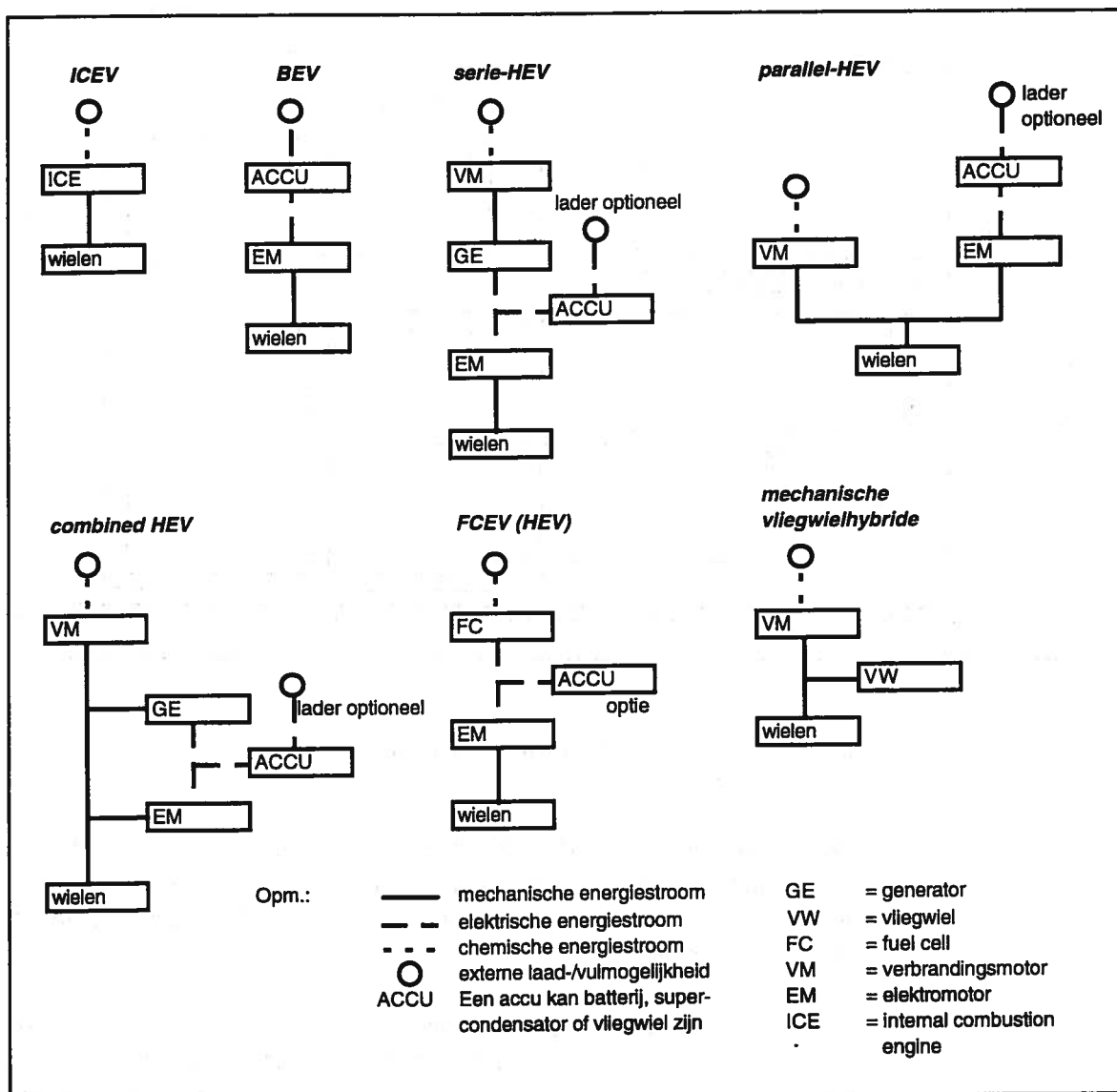


*Figuur 2: Indeling aandrijflijnmogelijkheden*

De algemene term hybride betekent deelcombinatie van twee of meer verschillende aandrijfsystemen of energiebronnen. Hieronder vallen dan ook voertuigen met bijvoorbeeld een ICE en een vliegwiel waarvan de vermogens mechanisch gekoppeld worden.

Dit zijn dus wel hybrid vehicles, maar geen hybrid electric vehicles. Voertuigen met brandstofcellen en een EM worden FCEV (fuel cell electric vehicles) genoemd en conventionele voertuigen met zuigermotoren hebben de naam ICEV (Internal Combustion Engines Vehicle).

In dit rapport zullen, om het geheel overzichtelijk te houden, niet alle varianten genoemd worden die mogelijk zijn. Een completer overzicht is te vinden in [Mourad,1996]. In Figuur 3 zijn schematisch de meest voorkomende aandrijflijnconcepten weergegeven.



Figuur 3: Voorbeelden van verschillende aandrijflijnstructuren

### Batterij-elektrische voertuigen

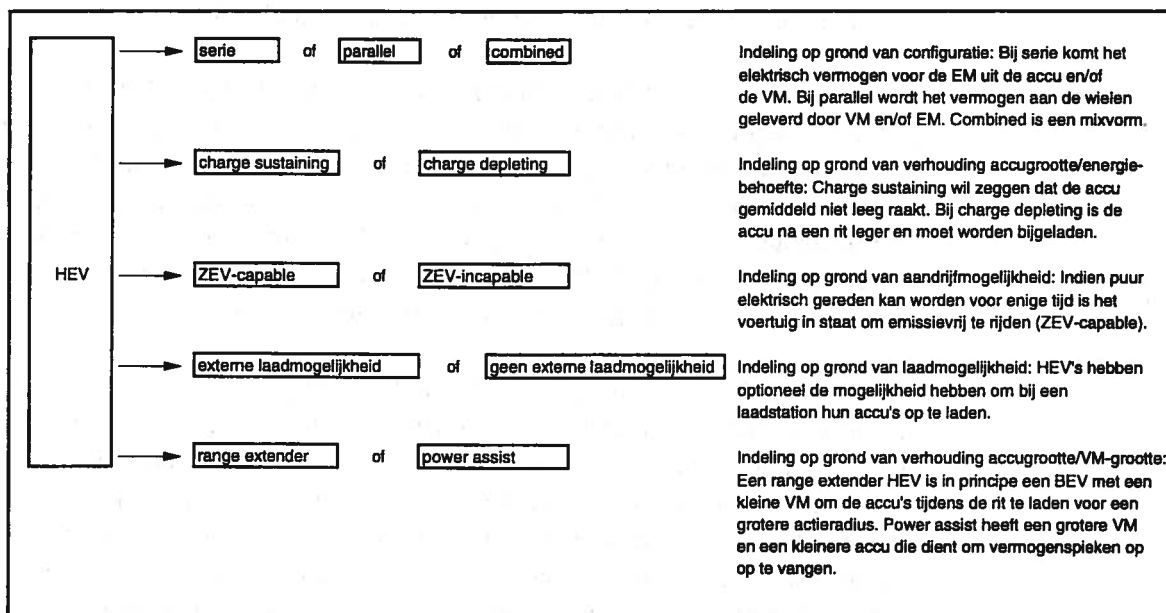
In batterij-elektrische voertuigen (BEV's) worden de wielen aangedreven door één of meerdere elektromotoren (EM). Deze betrekken de daarvoor benodigde energie uit een batterij. Is de batterij geheel of gedeeltelijk ontladen, dan wordt m.b.v. een laadapparaat, dat is aangesloten op een externe elektriciteitsvoorziening (meestal het lichtnet), de batterij weer opgeladen. Om een acceptabele actieradius te verkrijgen moeten de accu's een voldoende grote capaciteit hebben. Conventionele batterijen hebben een lage energiedichtheid (kWh/kg), waardoor de praktisch haalbare actieradius wordt beperkt de het maximaal mee te nemen

accugewicht. Om de voertuigmassa, en dientengevolge het energiegebruik per kilometer, binnen de perken te houden wordt er gewerkt aan de ontwikkeling van batterijen met een hoge energiedichtheid.

Bij moderne elektrische voertuigen is regeneratief of recuperatief remmen mogelijk. Tijdens remmen op de motor werkt deze als dynamo en wordt een deel van de bewegingsenergie van het voertuig, die bij het gebruik van normale remmen in warmte wordt omgezet, weer omgezet in elektriciteit die wordt teruggevoerd aan de accu. Hiermee is met name in stadsverkeer een significante energiebesparing en dus een vergroting van de actieradius mogelijk.

### Hybride elektrische voertuigen

Binnen de definitie van hybride elektrische voertuigen (HEV's) is een groot aantal uitvoeringen bekend. Mogelijke manieren om indelingen te maken zijn weergegeven in Figuur 4. Een veel gebruikte indeling is het onderscheid naar parallelle en serie-hybride aandrijvingen, maar deze indeling vervaagt en hangt sterk af van de gehanteerde definities. Hier zullen definities gebruikt worden die voor dit rapport bruikbaar zijn. Voor exactere definities zie [Wouk,1995].



Figuur 4: Mogelijke indelingen voor Hybrid Electric Vehicles (HEV's)

## Serie-HEV

In een serie-hybride voertuig worden de wielen altijd aangedreven door de elektromotor. Een motor-generatorset (genset) kan elektrisch vermogen leveren aan de accu en/of aan de EM. De verbrandingsmotor in deze motor-generatorset is derhalve losgekoppeld van de road-load. Hierdoor kan de verbrandingsmotor worden bedreven in een optimaal gebied in zijn motorkenveld (koppel-toeren diagram), waar de emissies laag zijn en het rendement hoog is (bij vermogen  $P_{opt}$ ). De accu vangt de vermogenspieken op (wanneer het gevraagde vermogen hoger is dan  $P_{opt}$ ) en drijft het voertuig aan wanneer de motor-generatorset is uitgeschakeld, bijvoorbeeld wanneer langere tijds vermogens gevraagd worden die liggen onder  $P_{opt}$  en daardoor de accu volgeladen is. Doordat de wielen altijd elektrisch worden aangedreven is bij serie-HEV's, net als bij BEV's, regeneratief remmen mogelijk. Daarbij wordt de gerecupereerde energie teruggevoerd aan de accu. Een optie is om de verbrandingsmotor bij langdurig hoge vermogensvraag een hoger vermogen te laten leveren, in een werkpunt met iets slechter rendement en hogere emissies, zodat bijvoorbeeld continu met hoge snelheid een helling op kan worden gereden. Met uitgeschakelde motor-generatorset is het mogelijk puur elektrisch, en dus lokaal emissievrij, te rijden. Of het voertuig in deze ZEV-mode goed met het overige verkeer mee kan, en welke actieradius mogelijk is, hangt af van de precieze configuratie van de aandrijflijn.

Binnen het serie-hybride aandrijfconcept zijn verschillende ontwerpvarianten mogelijk. Bij gebruik van een motor-generatorset met een zeer beperkt vermogen (lager dan het gemiddeld voor aandrijving benodigde vermogen) gaat het eigenlijk om een batterij-elektrische aandrijving met een zogenaamde range-extender. De benodigde energie wordt grotendeels uit het lichtnet betrokken, maar de motor-generatorset kan buiten stedelijke kernen en bij hogere snelheden worden aangezet om de actieradius van het voertuig te vergroten.

Daarnaast is het ook mogelijk om een voertuig te maken dat alle benodigde energie uit brandstof betreft. De motor-generatorset moet dan zo worden uitgelegd dat deze in staat is om (iets meer dan) het gemiddeld voor aandrijving benodigde vermogen te leveren. De batterij levert de benodigde piekvermogens. In deze configuratie dient de batterij bovenal een hoge vermogensdichtheid te hebben (kW/kg). Voor deze toepassingen komen ook andere dan elektrochemische opslagsystemen in aanmerking, zoals vliegwielen en supercondensatoren.

## Parallel-HEV

Bij een parallel-HEV staan een elektrische en een andere, meestal conventionele aandrijflijn parallel geschakeld. De wielen worden aangedreven door de elektromotor en/of de verbrandingsmotor. De verbrandingsmotor (VM) kan hetzelfde vermogen hebben als bij een vergelijkbare ICEV. De VM kan echter in principe

kleiner gedimensioneerd worden omdat, wanneer hogere vermogens gevraagd worden, de elektromotor en de verbrandingsmotor samen vermogen aan de wielen kunnen leveren. Deze mogelijkheid om vermogens van beide motoren op te tellen is overigens niet in alle parallel-HEV's aanwezig aangezien daarvoor een speciale transmissie en koppeling is vereist. De VM is mechanisch verbonden met de wielen (de road load) waardoor de VM wisselend (dynamisch) belast wordt. Dit transiënte gedrag door het hele motorkenveld is, net als bij conventionele voertuigen, niet gunstig voor emissies en rendement.

### Combined-HEV

Er bestaan verschillende vormen van hybride aandrijvingen die zowel aspecten van een parallel- als van een serie-HEV bezitten.

Enkele veel gebruikte termen en afkortingen bij HEV's zijn:

- APU:** Auxiliary Power Unit. Dit is meestal een motor-generatorset bestaande uit een interne verbrandingsmotor of een gasturbine en een generator. Een brandstofcel is echter ook een mogelijkheid.
- LLD:** Load Leveling Device. Deze component moet de pieken in de vermogensvraag opvangen. Dit kan een hoog-vermogensaccu, een vliegwiel of een supercondensator zijn.
- Genset:** Generator Set. De combinatie van verbrandingsmotor en elektrische generator. De Genset levert dus elektrische energie.
- ZEV-mode:** Zero Emission Vehicle Mode. Het rijden zonder emissies, meestal puur elektrisch.

### Fuel Cell Electric Vehicles (FCEV's)

Een brandstofcel is een apparaat dat op elektrochemische wijze brandstof (meestal waterstof) direct omzet in elektriciteit. Dit gebeurt met een hoog rendement en met lage of geen emissies (zie Hoofdstuk 2.2.4). Brandstofcellen kunnen dus gebruikt worden om aan boord van een elektrisch voertuig elektriciteit op te wekken. Daarbij zijn twee varianten denkbaar. In een serie-hybride configuratie kan een brandstofcel de plaats innemen van de motor-generatorset. In deze configuratie wordt de brandstofcel stationair of in een beperkt werkgebied bedreven. Brandstofcellen hebben echter hun hoogste rendement in deellast, zodat in deze toepassing een relatief zwaar gedimensioneerd brandstofcelsysteem moet worden toegepast om een hoog rendement te halen. Zinvoller is het om de brandstofcel dynamisch te bedrijven en met de geleverde elektriciteit direct de wielen aan te drijven. Bij normaal gebruik van een voertuig wordt het grootste deel van de tijd in deellast gereden zodat in deze configuratie een hoog rendement mogelijk is. Een kleine batterij kan eventueel als energie- of vermogensbuffer dienen.

Brandstofcellen werken in principe op zuiver waterstof. Opslag van waterstof aan boord van een voertuig is problematisch. Dit kan ofwel bij kamertemperatuur als gas onder druk, ofwel cryogeen in vloeibare vorm waarbij het waterstof tot beneden het kookpunt wordt afgekoeld, ofwel m.b.v. metaalhydride waarbij het waterstof in de kristalstructuur van een metaal wordt opgeslagen. De eerste twee mogelijkheden zijn zeer volumineus vanwege de lage energiedichtheid van waterstof. De tweede mogelijkheid is zwaar, vanwege het grote gewicht van het metaal waarin de waterstof wordt opgeslagen. Om dit probleem te omzeilen kan aan boord van het voertuig gebruik gemaakt worden van een reformer. Daarmee kan een waterstofhoudende brandstof (aardgas, methanol, ethanol of zelfs benzine), die wel makkelijk op te slaan is, worden omgezet in waterstof en CO<sub>2</sub>.

#### **1.4 Voor- en nadelen van verschillende elektrische aandrijvingen**

Correct ontworpen hybride aandrijfconcepten combineren de voordelen van conventionele aandrijflijnen, namelijk het gebruik van de bestaande energie-infrastructuur en de grote actieradius en inzetbaarheid, met de voordelen van elektrische voertuigen, die lokaal emissievrij kunnen rijden. Echter, om het gewenste energiegebruik en emissieniveau te halen, moeten verdere verbeteringen plaatsvinden op het gebied van efficiency, massa en prestaties van de individuele componenten [Fischer,1996]. De integratie-aspecten zijn vooral bij HEV's van vitaal belang (zie Hoofdstuk 2.3). Hieronder zullen de voor- en nadelen van BEV's en HEV's op een rijtje worden gezet:

##### *Voordelen BEV's*

- + geen emissies ter plaatse van gebruik
- + aandrijflijnefficiëntie hoog, door regeneratief remmen en hoge deelrendementen
- + overall emissies zijn veelal lager dan van vergelijkbare ICEV's
- + diversificatie brandstofmix (strategisch, economisch, duurzaam)
- + utility load leveling (gemiddelde netbelasting ten opzichte van piekbelasting)
  - + off-peak laden mogelijk ('s nachts).

##### *Nadelen BEV's*

- nieuwe energie-infrastructuur nodig, waardoor hoge aanloopkosten
- hoge kosten voor vervanging accu's aan einde levensduur
- actieradius beperkt door lage energiedichtheid accu's
- hoge massa (waardoor prestaties slechter zijn dan ze zouden kunnen)
- afhankelijkheid van laadstations
- marktrisico.



*Voordelen serie-HEV's*

- + simpel in concept
- + meerdere APU-kandidaten mogelijk (door stationair bedrijf)
- + (beperkte) actieradius in ZEV-mode mogelijk
- + regeneratief remmen mogelijk
- + geen externe laadapparatuur nodig zoals bij BEV's
- + beperkt werkgebied APU nodig door ontkoppeling met roadload, waardoor optimalisatie en vereenvoudiging mogelijk is
- + laag energiegebruik en lage emissies van luchtverontreinigende stoffen en geluid mogelijk
- + vrijheid van ontwerpen groter doordat veel minder mechanische verbindingen bestaan in de aandrijflijn (bijv. zinvol bij lage-vloerbussen)
- + koude start te vermijden door voorverwarmen katalysator en verbrandingsmotor en starten in ZEV-mode.

*Nadelen serie-HEV's*

- langere keten van componenten met bijbehorende omzetrementen
- in praktijk zijn complexe regelsystemen nodig
- prestaties vaak nog gelimiteerd door onvoldoende systeemintegratie en overall vermogensmanagement
- chauffeur kan ontkoppeling van verbrandingsmotor en gaspedaal als onprettig ervaren
- gevaar voor hogere massa, hogere kosten en groter aantal componenten.

*Voordelen parallel-HEV's*

- + mogelijke eliminatie van extra generator
- + systeemredundantie
- + makkelijker te debuggen
- + kortere ketens van componenten
- + mogelijkheid tot vermogensadditie
- + ZEV-actieradius mogelijk
- + regeneratief remmen in principe mogelijk.

*Nadelen van parallel-HEV's*

- transiënt gebruik verbrandingsmotor (emissies en verbruik slechter)
- vermogensadditie kan problemen geven (complexe regeling)
- gevaar voor hogere massa, kosten en groter aantal componenten.

### *Combined-HEV*

- +/- zeer afhankelijk van uitvoering of alle nadelen van parallel en serie-HEV's opgeteld worden of dat voordelen benut worden.

### *Voordelen FCEV's*

- + hoog rendement
- + lage emissies
- + mogelijkheden voor inzet van met duurzame bronnen geproduceerde waterstof.

### *Nadelen FCEV's*

- waterstof is duur en opslag lastig
- bij gebruik reformer lager rendement
- reformer reageert traag op belastingvariaties.

### *Samenvattend:*

- Elektrische voertuigen bieden de mogelijkheid om duidelijk schoner en zuiniger vervoer mogelijk te maken (zie ook 1.5);
- BEV's zijn nog beperkt in hun bruikbaarheid door de achterstand op het gebied van accuprestaties in vergelijking met ICEV's;
- HEV's zijn in staat om de voordelen van BEV's en ICEV's te combineren. Echter, veel aandacht moet nog besteed worden aan verdere ontwikkeling van componenten, systeemintegratie en regelingen om ervoor te zorgen dat niet ook een aantal nadelen van beide aandrijvingen opgeteld worden.

## **1.5 Energie- en milieu-aspecten**

### **Batterij-elektrische voertuigen**

Batterij-elektrische voertuigen produceren op de plaats waar zij gebruikt worden geen emissies. Dit op zich is een belangrijk argument om het gebruik van deze voertuigen in stedelijk gebied te stimuleren. Op regionale of nationale schaal leidt de inzet van elektrische voertuigen echter alleen dan tot netto voordelen als de emissies die optreden bij de productie van elektriciteit voor deze voertuigen niet meer zijn dan de uitlaatgasemissies van de conventionele voertuigen die zij vervangen.

Om inzicht te krijgen in de mogelijke overall voordelen van elektrische en hybride voertuigen m.b.t. energiegebruik en emissies dient dus rekening gehouden te worden met omzettingsrendementen en emissies in de gehele energieke-

ten. Dit betekent dat voor elektrische voertuigen het rendement en de emissies van opwekking en distributie van elektriciteit dienen te worden ingeschat. In de vergelijking met conventionele voertuigen dient dan echter ook rekening te worden gehouden met het energiegebruik en de emissies die optreden bij de raffinage en distributie van motorbrandstoffen. Bij deze afbakening kan een goede inschatting worden gemaakt van de emissies op nationaal niveau. De uitkomsten hangen wel enigszins af van de gehanteerde methode waarmee emissies worden toegerekend. In [SEP,1994] worden incrementele emissies berekend die optreden bij de productie van de extra elektriciteit die wordt gevraagd door BEV's die aan het stopcontact laden. Daarbij wordt op basis van een verondersteld vraagpatroon gekeken welke centrales worden bijgeschakeld of meer elektriciteit gaan leveren en hoeveel extra energiegebruik en emissies dat oplevert. Dit is in principe een zeer exacte methode waarbij bijvoorbeeld kan worden aangetoond dat door het vullen van het nachtdal a.g.v. het opladen van BEV's het totale rendement van de elektriciteitsopwekking toeneemt en de gemiddelde kosten per kWh afnemen. Een bezwaar van de methode is echter dat discutabele aannamen moeten worden gemaakt over het tijdstip waarop BEV's in de toekomst zullen worden bijgeladen. Ook zullen er in de toekomst naast BEV's meerdere nieuwe technieken gaan strijden om toewijzing van de schone en goedkope extra geproduceerde kWh's. Op grond van deze bezwaren wordt in o.a. [Smokers,1992], [van de Weijer,1995] en [van Hilten,1992] gebruik gemaakt van gemiddelde emissies berekend op basis van de totale jaarlijkse uitstoot van de elektriciteitsproductie, gedeeld door de jaarlijkse productie.

Het beeld dat naar voren komt uit een aantal studies die in Nederland en daarbuiten op deze wijze zijn uitgevoerd is redelijk helder. Voor Nederland geldt dat BEV's een beperkt voordeel bieden t.a.v. primair energiegebruik en CO<sub>2</sub>-emissie, dat de verzurende emissies vergelijkbaar zijn met die van conventionele voertuigen en dat de toe te rekenen emissies van CO, HC's en VOC verwaarloosbaar zijn. In landen met een groter aandeel emissievrije energieopwekking, zoals Frankrijk (nucleair) en Zwitserland (waterkracht), zijn de voordelen beduidend groter. In Duitsland alsmede in een aantal Amerikaanse staten zijn de netto emissies van BEV's soms hoger dan die van conventionele voertuigen.

In [van de Weijer,1996] worden de emissies van elektrische voertuigen vergeleken met de uitkomsten van een groot emissie-onderzoek, dat door TNO is uitgevoerd op voertuigen met verschillende conventionele en gasvormige brandstoffen. Hierbij zijn tevens de niet-gereguleerde emissies gemeten en zijn ook de emissies tijdens transport en productie van brandstoffen meegenomen [Rijkeboer,1993]. De emissies aan de centrale zijn berekend door de totale jaarlijkse uitstoot te delen door de jaarlijkse productie. De emissies zijn uitgedrukt in de effecten die zij veroorzaken op het milieu (mondiaal, regionaal en lokaal). Ook hier blijkt dat voor de Nederlandse situatie elektrische voertuigen veel schoner zijn op het gebied van lokale emissie-effecten (direct en indirect toxische effecten en smogvorming). Voor de regionale effecten (verzuring) zijn elektrische

voertuigen schoner dan diesellootuigen, maar nauwelijks of niet schoner dan benzine, LPG en aardgas-voertuigen. Dit komt ondermeer door de relatief hoge uitstoot van SO<sub>2</sub> door de elektriciteitscentrales. Wat betreft mondiale effecten (broeikas-effect) zijn elektrische voertuigen licht in het voordeel. Voor de technische stand van zaken in 1990 berekent [Smokers, 1992] dat BEV's met loodzuurbatterijen in termen van NO<sub>x</sub>-equivalenten (1 gram SO<sub>2</sub> is equivalent met 1,44 gram NO<sub>x</sub>) zo'n 30% slechter scoren dan benzine-auto's, 12 % beter dan diesellootuigen en vergelijkbaar met LPG-voertuigen. Door de ontwikkelingen die BEV's en ICEV's sinds 1990 hebben doorgemaakt, alsmede door milieumaatregelen in het elektriciteitsproductieproces, zal het beeld er voor 1997 anders uitzien. Hierover zijn op dit moment geen gegevens voorhanden. Nadere studie op dit gebied lijkt zinvol.

Bij het uitvoeren van een complete levenscyclus-analyse (LCA) kan men nog een aantal stappen verder gaan en bijvoorbeeld inschattingen maken van:

- energiegebruik en emissies bij winning en transport van primaire energiedragers als aardolie, kolen, aardgas en uranium;
- energiegebruik en emissies die optreden bij de productie van nieuwe voertuigen alsmede bij de verwerking/recycling van afgedankte voertuigen.

Hoewel er op dit gebied wereldwijd verschillende studies zijn uitgevoerd en in bewerking zijn, is er nog geen eenduidig beeld. De milieu-effecten van de productie en recycling van tractie-batterijen lijken uit eerste inschattingen geen punt van zorg te zijn. Definitieve studies op dit gebied zijn echter nog niet voorhanden.

Een vergelijking op voertuigniveau (dus bijv. BEV vs. ICEV) is alleen zinvol als mag worden verondersteld dat het alternatieve voertuig het conventionele voertuig vervangt en op dezelfde wijze wordt gebruikt. Wanneer echter een BEV als tweede auto wordt ingezet of wanneer met de BEV op jaarbasis gemiddeld minder (a.g.v. de beperkte actieradius) of meer (a.g.v. het feit dat een schone auto of lage kilometerkosten een morele vrijbrief kunnen zijn voor meer mobiliteit) kilometers worden gemaakt dan met een ICEV, dan mag niet meer als vanzelfsprekend worden verondersteld dat de inzet van schone BEV's leidt tot een netto reductie van de emissies door het wegverkeer. Om in deze materie inzicht te verkrijgen is het zinvol om transportscenario's te ontwikkelen waarin de toekomstige inzet van EV's wordt ingeschat. Bij gebruik van deze methode wordt ook inzicht verkregen in de mate waarin een brede inzet van een redelijk schoon voertuig zonder gebruiksbepalingen mogelijk meer milieuvoordeel kan bieden dan de inzet van een gering aantal zeer schone voertuigen die wel gebruiksbepalingen kennen.

Op dit moment wordt er in Annex II van de IEA Implementing Agreement for Electric Vehicle Technologies and Programmes gewerkt aan een internationale vergelijking van energie- en milieu-effecten van EV's op basis van transportscenario's. ECN-Beleidsstudies is Operating Agent (projectleider) van dit project.

TNO-INRO, TNO-WT, UT, ECN-Beleidstudies, het CE en KEMA werken momenteel samen in een studie waarbij in opdracht van de SEP lange-termijn scenario's (tot 2050) worden ontwikkeld om de mogelijkheden van het gebruik van elektriciteit in de transportsector te onderzoeken.

Een voordeel van BEV's m.b.t. energiegebruik is dat deze voertuigen de afhankelijkheid van geïmporteerde olie verminderen. Via elektriciteitsopwekking worden kolen, gas, kernenergie en waterkracht in de transportsector ingezet. De bij elektriciteitsopwekking vrijkomende CO<sub>2</sub>-emissies kunnen in de nabij toekomst worden afgevangen en opgeslagen, bijv. in lege gasvelden. Op de wat langere termijn bieden BEV's mogelijkheden voor de inzet van wind- en zonne-energie als energiebronnen voor wegvoertuigen.

Het inzicht in de technische mogelijkheden van BEV's, en in mindere mate van HEV's, is de laatste paar jaar sterk toegenomen. In talrijke technology assessments die m.n. rond 1990 zijn uitgevoerd moest op basis van een beperkte hoeveelheid informatie een inschatting gemaakt worden van de technische mogelijkheden van EV-componenten en van de voertuigen als geheel. Om inzicht te krijgen in de potentiële voordelen op het gebied van emissiereductie en energiebesparing werden relatief eenvoudige berekeningen uitgevoerd aan voertuigen met een stand van techniek zoals die werd verwacht te kunnen zijn ten tijde van mogelijke marktintroductie. Over het rendement van allerlei componenten, zoals batterijen en elektrische machines, moesten aannamen worden gemaakt. Nu elektrische voertuigen dicht bij de markt komen en een aantal technologieën verder is ontwikkeld blijkt dat deze assessment studies op een aantal punten te positief zijn geweest, met name wat betreft marktpotentieel en de beschikbaarheid van bepaalde geavanceerde batterijtypen, maar op andere punten ook te voorzichtig.

[Smokers,1992] vergeleek voor een voertuig van een type als de VW Golf energiegebruik en emissies voor conventionele en elektrische varianten in het jaar 1990 en 2000. Voor de elektrische variant werd voor 1990 een finaal energiegebruik geschat van rond de 300 Wh/km in stadsverkeer (het precieze getal hangt af van de veronderstelde batterijtechnologie), hetgeen redelijk overeen kwam met de prestaties van elektrische voertuigen van dat moment. Het primair energiegebruik van dergelijke EV's is marginaal lager dan dat van benzine- en dieselvarianten. Voor het jaar 2000 werd een verlaging van het finaal energiegebruik van de EV naar zo'n 200 Wh/km verwacht. Deze verlaging blijkt echter als gevolg van de verhevigde inspanning door grote automobielfabrikanten op dit gebied, al anno 1996 te zijn gerealiseerd. Conversievoertuigen verbruiken al vaak minder dan 200 Wh/km in stadsverkeer. Conventionele voertuigen zijn in de laatste vier à vijf jaar zeker geen 30% zuiniger geworden, zodat op dit moment de perspectieven voor energiebesparing m.b.v. EV's dus beter lijken dan 4 jaar geleden. Aangezien voor elektrische voertuigen de emissies evenredig zijn met het ener-

giegebruik, zal m.n. ook op het gebied van CO<sub>2</sub>- en verzurende emissies het beeld positiever zijn geworden.

### Hybride voertuigen

Voor hybride voertuigen worden grote voordelen op het gebied van emissies en energiegebruik geclaimd. De verbrandingsmotor in een serie-HEV draait op een optimaal werkpunt en haalt daar een rendement van 35 tot 45 %. Het rendement in stadsverkeer van een verbrandingsmotor in een conventioneel voertuig ligt rond de 18 %. Vanzelfsprekend treden in de elektrische aandrijflijn verliezen op, maar in vergelijking met andere systemen hebben elektrische omzetters en elektrische machines een zeer hoog rendement. Daardoor is in principe met een serie-hybride aandrijving een energiebesparing van meer dan 30 % haalbaar t.o.v. een vergelijkbaar conventioneel voertuig. Metingen aan de mede door TNO ontwikkelde Altra-bus laten voorts zien dat gebruik makend van een serie-hybride aandrijving op basis van een CNG-motor met een stadibus emissies kunnen bereikt die beneden het in Californië voor personenauto's gedefinieerde ULEV-niveau liggen [van de Weijer,1995]. In [Lovins,1994] worden zgn. hypercars beschreven. In deze futuristische voertuigconcepten wordt niet alleen een hybride aandrijving gebruikt, maar is alles geoptimaliseerd om tot een zo laag mogelijk energiegebruik te komen. Volgens Lovins c.s. zijn voor dergelijke voertuigen verbruikscijfers mogelijk van minder dan 1 l per 100 km. Toepassing van alle veronderstelde innovaties behalve de hybride aandrijving zou voor conventioneel aangedreven voertuigen echter ook leiden tot een verbruik van minder dan 3 l per 100 km, zoals ook wordt aangetoond in het door Greenpeace ontwikkelde SMILE-voertuig.

Van de prototypes die nu door fabrikanten en onderzoeksinstituten zijn ontwikkeld worden op het gebied van energiegebruik en emissies weinig cijfers vermeld. Ook zijn er tot nu toe weinig studies verschenen waarin een betrouwbare schatting van het energiegebruik en de emissies van HEV's wordt gegeven (bijv. [Reuyl,1996]). Hiervoor zijn verschillende redenen aan te wijzen:

- Allereerst zijn er erg veel hybride configuraties mogelijk die alle tot verschillende verbruiks- en emissiecijfers leiden. In verschillende prototypes worden zeer verschillende ontwerpstrategieën gebruikt, bijv. t.a.v. de dimensionering van de generator (aantal kW) en de batterij (aantal kW en kWh).
- Voorts is er nog geen eenduidige methodiek ontwikkeld voor toerekening van rendementen en emissies aan voertuigen die meerdere finale energiedragers gebruiken. Afhankelijk van het gebruik van een HEV kan, omgeslagen per gereden kilometer, in verschillende verhoudingen brandstof worden getankt en elektriciteit worden geladen.
- Tot slot zijn voor de inschatting van energiegebruik en emissies van HEV's veel meer gedetailleerde technische gegevens en complexere modellen vereist dan voor berekeningen aan batterij-elektrische voertuigen. Voor zover voor de

als generator gebruikte ICE's al rendements- en emissiekenvelden beschikbaar zijn, zijn deze voor berekeningen aan HEV's niet bruikbaar, omdat de afstelling die de motor optimaliseert voor gebruik bij constant(e) toerental(len) leidt tot drastische veranderingen in dit kenvel.

Het dynamisch voertuigsimulatiemodel TNO-ADVANCE, dat op dit moment bij TNO-WT in ontwikkeling is (zie ook Hoofdstuk 2.3.3), zal een goed en flexibel instrument zijn om verschillende hybride configuraties voor verschillende voertuigtypen in verschillende gebruiksomstandigheden door te rekenen.

### **Brandstofcelvoertuigen**

FCEV's die op waterstof rijden zijn Zero Emission Vehicles en hebben een hoog rendement. Overall rendement en emissies hangen sterk af van de herkomst van de gebruikte waterstof. Waterstof wordt nu geproduceerd op basis van fossiele energiedragers. Bij dit proces treden energieverliezen op en komt CO<sub>2</sub> vrij. Bij compressie of vloeibaar maken van waterstofgas treden ook grote verliezen op. Ook het gebruik van een on-board reformer leidt tot energieverliezen en CO<sub>2</sub>-emissies. In de toekomst kan waterstof geproduceerd worden uit duurzame energiebronnen, bijvoorbeeld door elektrolyse van water met uit zonnecellen afkomstige elektriciteit.





## 2 Technologie

### 2.1 Overzicht van elektrische en hybride voertuigen

In bijlage A is een overzicht gegeven van een groot aantal bestaande batterij-elektrische en hybride elektrische voertuigen. Het gaat om voertuigen die in Europa, de VS en Japan zijn ontwikkeld. De lijst is niet compleet. De nadruk ligt op voertuigen die momenteel te koop zijn dan wel zich in een precommercieel stadium bevinden. Voorts is een aantal interessante prototypes in het overzicht opgenomen. De gegevens zijn voor een groot deel verzameld uit de volgende bronnen:

- jaargang '96 van het tijdschrift MobileE;
- jaargang '96 van Electric Vehicle Progress;
- verscheidene SAE papers;
- de proceedings van verscheidene conferenties, o.a. EVS-12, EVT '95;
- folders van fabrikanten.

In het onderstaande zal een globaal overzicht worden geschetst van de huidige stand van zaken, recente ontwikkelingen en trends en zal een aantal interessante voertuigen in iets meer detail worden besproken.

#### Elektrische fietsen

##### *Beschrijving*

In Europa, met name in Duitsland en Zwitserland, is de laatste jaren het aanbod van elektrische fietsen sterk gegroeid. Het gaat daarbij om fietsen met een elektrische hulpmotor die extra kracht levert als toevoeging op de door de berijder geleverde prestatie. In MobileE 2/96 wordt een overzicht gegeven van het huidige aanbod en wordt een aantal testresultaten weergegeven. Het aanbod van zo'n 25 firma's omvat een aantal complete elektrische fietsen alsmede een aantal ombouwsets. De meeste fietsen hebben een NiCd-batterij met een capaciteit 160 tot 280 Wh.

Qua ontwerp en constructie ogen de meeste modellen nog niet erg uitontwikkeld. Verdergaande systeemintegratie en styling zullen nodig zijn om tot een echt aansprekend product te komen. In Japan zijn in 1995 zo'n 250000 elektrische fietsen verkocht. Fabrikanten hebben op dit moment een probleem om een product voor de Europese markt te ontwikkelen. Dit heeft te maken met de wettelijke status van elektrische fietsen in verschillende landen. In de meeste gelden dit soort voertuigen als bromfiets en is het dragen van een helm verplicht.

### *Prestaties*

Gemeten met een constante spierkracht van 100 W, geleverd door de berijder in licht glooiend landschap, variëren de prestaties als volgt:

actieradius: 18,9 - 65 km

snelheid: 19,6 - 32 km/h

### *Prijs en verkrijgbaarheid*

Prijzen van complete fietsen variëren van zo'n 2000 tot 9000 DM. Over het huidige aanbod in Nederland is bij TNO weinig bekend.

## **Brom- en snorfietsen**

### *Beschrijving*

Bij fietsen bestaat het gevaar dat elektrische aandrijving voornamelijk als alternatief geldt voor conventioneel fietsen of lopen. Bij elektrische brom- en snorfietsen is dit gevaar kleiner.

Conventionele brom- en snorfietsen zijn vervuilend. De limieten voor HC- en CO-emissies liggen een factor 3 tot 10 hoger dan die voor personenwagens. De emissies van opgevoerde brom- en snorfietsen zijn in de regel nog een factor 2 hoger dan deze limieten. Daarnaast zijn brom- en snorfietsen lawaaierig, ook hier vooral als ze opgevoerd zijn.

Elektrische brom- en snorfietsen zijn schoon, maken weinig geluid en zijn moeilijk op te voeren. Het verbeteringspotentieel voor stiller, schoner en ook zuiniger verkeer in binnenstedelijke gebieden is ook absoluut gezien groot.

De Nederlandse wetgeving kent een belangrijke stok achter de deur in de vorm van de helmdraagplicht, of juist de uitzonderingen op die regel voor laag-vermogen tweewielers. Dit heeft in het recente verleden reeds geleid tot de populariteit van snorfietsen, en zou nu kunnen worden gebruikt om elektrische snorfietsen te introduceren.

Op de Nederlandse markt zijn op dit moment geen elektrische brom- of snorfietsen te koop.

### 3-wielers

#### *Beschrijving*

Als onderste segment in het aanbod van elektrische voertuigen wordt een aantal driewielige voertuigen aangeboden. Afhankelijk van de eigenschappen van het voertuig en de nationale wetgeving gelden deze als motorfiets of personenauto.

De City-El is een al wat ouder voertuig dat enige tijd m.n. in Oostenrijk en Zwitserland veel verkocht is. De populariteit lijkt momenteel te stagneren, m.n. als gevolg van de onbetrouwbaarheid, beperkte prestaties en matig rijgedrag.

Een conceptueel interessante nieuwkomer in dit segment is de Twike. Naast een 5 kW elektromotor heeft dit tweepersoons voertuig een hulpaandrijving met trappers en 5 versnellingen waarmee bij middelmatige snelheid door de inzitenden extra energie kan worden geleverd. Hiermee kan de actieradius worden vergroot. Bij lage zowel als bij hoge snelheden is deze trapperaandrijving echter niet bruikbaar.

#### *Prestaties*

De in het overzicht opgenomen voertuigen lopen nogal uiteen qua ontwerpconcept en gebruikte techniek. De prestaties verschillen dienovereenkomstig. De Twike en de City-El hebben een beperkte actieradius. De Suntera Sunray is een technisch geavanceerd en meer sportief voertuig met goede rijprestaties en een actieradius van meer dan 100 km. In principe is het met moderne techniek mogelijk om voor wat betreft rijprestaties volwaardige 3-wielige wegvoertuigen te bouwen zoals ook wordt gedemonstreerd door de Tritone van Eco-Car [Eco-Car, 1995].

#### *Prijs en verkrijgbaarheid*

De City-El wordt in Nederland geleverd door Alco. De prijs ligt rond de 17.500 gulden. De Twike wordt in het Duitstalige deel van Europa aangeboden voor een prijs van Sfr. 21.000 tot 25.000, afhankelijk van de uitvoering. Van andere voertuigen is geen prijs bekend.

### Batterij-elektrische personenauto's

In het segment elektrische personenauto's kunnen drie segmenten worden onderscheiden:

## TPV's (Très Petites Véhicules)

### *Beschrijving*

Een gedeelte van het commerciële aanbod bestaat uit kleine, lichtgewicht tweepersoons voertuigen. Dit zijn soms omgebouwde invalidevoertuigen. Meestal echter betreft het voertuigen die in Frankrijk de wettelijke status hebben van Très Petit Véhicule (TPV) waarvoor geen rijbewijs is vereist. Ze worden daar voornamelijk met conventionele aandrijvingen verkocht. De voertuigen worden gemaakt door kleine fabrikanten die vaak ook andere producten in hun assortiment hebben. De voertuigcarrosserie is meestal van vezelversterkte kunststof (polyester) met een frame van staal of aluminium. De gebruikte aandrijftechniek is eenvoudig, verouderd en niet altijd even betrouwbaar. Tot enkele jaren geleden waren dit de enige commercieel verkrijgbare EV's.

### *Prestaties*

Representatieve voorbeelden zijn de Microcar Light of Break, de Erad Spacia en de Ligier Optima Sun. Alle hebben een actieradius van 50 tot 80 km en een topsnelheid van rond de 75 km/h. Het energiegebruik in stadsverkeer ligt gemiddeld tussen de 15 en 20 kWh/100km. Ondanks dat het hier kleine lichtgewicht voertuigen betreft is dit niet beter dan het energiegebruik van zwaardere 4-persoons conversie EV's als de Peugeot 106 en de Renault Clio.

### *Prijs en verkrijgbaarheid*

Prijzen variëren van 30.000 tot 45.000 gulden. Inmiddels zijn er voor dezelfde prijs conversie-EV's van grote automobielfabrikanten te koop die groter en betrouwbaarder zijn.

## Conversie-EV's

### *Beschrijving*

Het belangrijkste deel van de op dit moment aangeboden elektrische personenauto's bestaat uit conversievoertuigen. Deze voertuigen zijn gebaseerd op conventionele, in serie geproduceerde personenauto's. Een aantal van deze conversie EV's wordt aangeboden door kleinere bedrijven die een zelfontwikkelde aandrijflijn inbouwen in van grote automobielfabrikanten gekochte voertuigen. Voorbeelden zijn de Torpedo Marbella en de Amerikaanse Solectria Force. Een behoorlijk aantal automobielfabrikanten biedt echter op dit moment onder eigen productnaam conversie-EV's aan of heeft prototypes die worden beproefd in praktijktesten. Voorbeelden in Europa zijn de Peugeot 106, Citroën AX en Renault Clio.

Conversie-EV's zijn zwaarder dan hun conventionele tegenhangers door het relatief grote gewicht van de batterijen. De techniek van de Fiat Panda is verouderd. In dit voertuig is het aantal zitplaatsen gereduceerd tot 2 om ruimte te bieden aan de batterijen. In de Franse voertuigen en de nieuwste versie van de

Volkswagen Citystromer is moderne techniek gebruikt die uitvoerig in praktijk-experimenten is beproefd (o.a. Rügen, La Rochelle). Al deze voertuigen zijn vierzitters.

In alle in Europa commercieel verkrijgbare conversievoertuigen zijn ofwel lood-zuur- ofwel NiCd-batterijen gebruikt. De Toyota RAV4-EV is uitgerust met NiMH batterijen en zou eind 1996 in Japan aan fleets verkocht gaan worden. Voor de VS wordt verwacht dat het voertuig in de herfst van 1997 beschikbaar komt. Nissan heeft aangekondigd een elektrische voertuig met Li-ion batterijen op de markt te gaan brengen. Het is echter nog niet bekend wanneer dit zal gebeuren en om welk voertuig het zal gaan.

#### *Prestaties*

De prestaties van Europese conversievoertuigen liggen vrij dicht bij elkaar in de buurt. De actieradius loopt uiteen van 60 tot 100 km en hangt sterk af van de gebruiksomstandigheden. Topsnelheden liggen rond de 95 km/h. De acceleratie is in het algemeen trager dan van de conventionele voertuigen (0 - 50 km/h in 10 tot 12 s). Het energiegebruik in stadsverkeer (ECE cyclus) ligt gemiddeld tussen de 18 en 20 kWh/100km.

De prestaties van prototypes lopen sterk uiteen, m.n. onder invloed van het gebruikte batterijtype. Met NaNiCl<sub>2</sub>-batterijen wordt een actieradius van 100 tot 150 km bereikt (BMW 3-serie). Voor voertuigen met NiMH en Li-batterijen (Toyota RAV4 EV, Nissan Prairie Joy) worden actieradii van 200 tot meer dan 300 km opgegeven. Commerciële verkrijgbaarheid van deze batterijen tegen een acceptabele prijs laat echter waarschijnlijk nog 5 tot 10 jaar op zich wachten.

#### *Prijs en verkrijgbaarheid*

In een groot deel van Europa zijn momenteel, zij het vaak met enige moeite, de Peugeot 106, de Citroen AX, de Renault Clio, de Volkswagen Citystromer en de Fiat Panda verkrijgbaar. De voor de Großversuch in Mendrisio (zie ook 3.5) vastgestelde prijzen variëren tussen de Sfr. 37.000 en 43.500. De Fiat Panda en Torpedo Marbella zijn met zo'n Sfr. 28.500 beduidend goedkoper. In hoeverre dit allemaal reële, kostendekkende prijzen zijn is sterk de vraag. Voor de voertuigen die door kleinere producenten op de markt worden gebracht zal dit zeker wel het geval zijn. De grote automobielfabrikanten kunnen het zich veroorloven om voertuigen onder kostprijs op de markt te brengen voor promotiedoeleinden, het opdoen van ervaring en het openen van de EV-markt.

De in de VS verkrijgbare conversie-EV's zijn voor het merendeel afkomstig van kleinere conversiebedrijven of van Japanse oorsprong. Bedrijven als Chrysler en Ford leveren vooralsnog alleen elektrische pick-ups en minivans (zie bestelauto's). Van de Solectria Force zijn geen prijzen bekend.

## Purpose design EV's

### *Beschrijving*

Onder purpose design EV's worden elektrische voertuigen verstaan die speciaal zijn ontworpen voor de toepassing van elektrische tractie. I.h.a. wordt voor chassis en carrosserie een lichtgewicht constructie gebruikt. Hierdoor wordt het energiegebruik verlaagd, zodat met minder batterijen kan worden volstaan of met dezelfde batterijmassa een grotere actieradius en betere prestaties kunnen worden bereikt. Ook worden in een aantal voertuigen banden met lage rolweerstand gebruikt en is aandacht besteed aan het verder verlagen van de luchtweerstand. In een purpose design voertuig kan ook beter rekening worden gehouden met de voor het onderbrengen van de onderdelen van de elektrische aandrijflijn benodigde ruimte. Daarbij kan dan ook voor de batterijen een optimale gewichtsverdeling worden bewerkstelligd, hetgeen de rijeigenschappen van het voertuig sterk ten goede komt.

Tot nu toe zijn de meeste purpose design EV's prototypes die niet bedoeld of direct geschikt zijn voor serieproductie of vermarkting. Voorbeelden uit het overzicht zijn de Ethos 3EV, de BMW E1, de Fiat Downtown en de door onafhankelijke ingenieursbureaus ontwikkelde voertuigen als de ESORO E301, de Hotzenblitz, de Stromboli en verschillende voertuigen van Horlacher. Sinds enige jaren verschijnen er echter steeds meer purpose design EV's die dichter tegen de markt aanzitten. Een goed voorbeeld is de in Noorwegen (doch mede voor de Californische markt) ontwikkelde PIVCO CityBee. Een ander voorbeeld is de Solectria Sunrise die met NiMH batterijen een zeer goede actieradius haalt. Onder normale omstandigheden haalt dit voertuig zo'n 300 km. In de American Tour de Sol van 1996 is met dit voertuig een nieuw record gezet van 595 km op één batterijlading.

De Solectria Sunrise lijkt ontwikkeld als tegenhanger van de EV1 (voorheen Impact) van GM, die sinds enige maanden via Saturn-dealers in een aantal Amerikaanse steden geleast kan worden. De GM EV1 is een tweezitter met zeer moderne en goed geoptimaliseerde aandrijftechniek. Het voertuig betreft zijn energie uit lood-zuurbatterijen en haalt daarmee een actieradius van 110 tot 145 km. De prestaties zijn vergelijkbaar met die van een sportsedan: acceleratie van 0 naar 100 km/h in 9 s. De topsnelheid is begrensd op 128 km/h. Honderden gebruikers in verschillende Amerikaanse staten hebben het voertuig enige weken op proef gehad en zijn zeer enthousiast over rijgedrag en betrouwbaarheid. De EV1 is uitgerust met een inductief laadsysteem.

### *Prestaties*

Afhankelijk van ontwerpdoelen en toegepaste techniek lopen de prestaties van purpose design EV's sterk uiteen. Gemiddeld worden met purpose design EV's een grotere actieradius, snellere acceleratie en een lager energiegebruik (10 - 15 kWh/100km) bereikt.

### *Prijs en verkrijgbaarheid*

Van het segment van purpose design EV's (exclusief het hierboven besproken TPV-segment) is op dit moment alleen de GM EV1 commercieel verkrijgbaar in de Amerikaanse regio's Los Angeles, San Diego, Phoenix en Tucson. Het voertuig wordt op lease-basis aangeboden, waarbij de leaseprijs is gebaseerd op een voertuigprijs van ongeveer US\$ 34.000. In het voorjaar van 1997 zou de Honda EV met NiMH batterijen in de VS op de markt moeten komen.

### **Hybride personenauto's**

#### *Beschrijving*

Zowel in Europa als in de VS is er op dit moment een trend te bespeuren in de richting van hybride aandrijving voor personenauto's. Steeds meer fabrikanten komen met prototypes en beschrijven het hybride concept als een serieuze kandidaat voor de all purpose aandrijving van de toekomst [MobilE,3/1996]. In de VS, waar aanvankelijk alle aandacht uitging naar BEV's i.v.m. het Californische ZEV-mandaat, worden deze ontwikkelingen met name gestimuleerd door het PNGV-programma, waarin de grote 3 (de Amerikaanse automobiefabrikanten Ford, Chrysler en GM) met financiële steun van de overheid werken aan de ontwikkeling van zuinige voertuigen.

In het verleden ging veel aandacht uit naar parallel hybride aandrijvingen (o.m. VW-Golf) omdat hiermee op redelijk eenvoudige wijze een voertuig is te produceren dat de prestaties van een conventionele auto koppelt aan de mogelijkheid tot emissievrij rijden. Dit concept leidt echter in alle gevallen tot een zwaar voertuig met beperkte prestaties in ZEV-mode en een hoger energiegebruik. Huidige ontwerpen richten zich met name op serie-hybride configuraties. De meeste voertuigen zijn uitgerust met een otto- of dieselmotor als energiebron. Volvo, Renault en Peugeot werken echter ook nadrukkelijk aan voertuigen met een gasturbine in de generatorset (Volvo ECC, Renault V.E.R.T. en een variant van de Peugeot 406).

Audi is van plan (zie ook [A&M,10/1996]) om oktober 1997 te starten met serieproductie van de Audi DUO III, een parallel hybride voertuig op basis van de Audi A4 Avant. De voorwielen van dit voertuig, dat te zien was op de Auto-Rai '97, worden aangedreven door een 1.9 l TDI dieselmotor of door de 21 kW elektromotor. Een elektro-hydraulische koppeling schakelt tussen beide motoren. Met een door de bestuurder in te stellen schakelaar op duo-stand kan ook automatisch tussen beide aandrijvingen worden geschakeld, waarbij de dieselmotor in reactie op de gaspedaalstand wordt ingeschakeld en de aandrijving overneemt wanneer meer vermogen wordt verlangd dan de elektromotor kan leveren.

Bestaande prototypes omvatten zowel conversie- als purpose design voertuigen. Een aantal prototypes zoals de Dodge Intrepid en de Ford Synergy 2010 zijn

conceptvoertuigen waarin veel meer innovaties dan alleen een hybride aandrijflijn worden gedemonstreerd. Deze voertuigen zijn derhalve slecht te vergelijken met andere typen.

#### *Prestaties*

Van HEV personenauto's zijn nauwelijks energiegebruikscijfers en al helemaal geen emissiecijfers bekend. Wat de overige voertuigprestaties betreft kan gesteld worden dat deze in principe niet onder hoeven te doen voor die van conventionele voertuigen en dat er geen actieradiusbeperking is. Wel is de ZEV-range veelal beperkt, afhankelijk van de in de configuratie gekozen batterijcapaciteit.

#### *Prijs en verkrijgbaarheid*

Omdat er op het gebied van HEV personenauto's alleen prototypes bestaan, is het onmogelijk een prijs voor deze voertuigen te noemen. Voor de Audi A4 DUO III is nog geen prijs bekend.

### **Elektrische en hybride bestelauto's**

#### *Beschrijving*

In het segment bestelauto's is een groot aantal voertuigen min of meer commercieel leverbaar. Het aanbod omvat kleine bestelauto's zoals de Renault Expresse en de Citroën C15, minivans zoals de Alcat Cityvan, de Volta en de wat grotere Chrysler Minivan, bestel- en personenbusjes zoals de Spijkstaal VW Caravelle en de Mercedes Benz Vito en grote bestelwagens zoals de Mercedes Benz 308E. In de VS wordt voorts een aantal pickups aangeboden zoals de Ford Ranger en de Solectria E10. Op de Volta na zijn het allemaal conversievoertuigen.

Alle commercieel verkrijgbare voertuigen zijn BEV's, waarin verschillende batterijtypen worden gebruikt. In de meeste gevallen betreft het lood-zuur of NiCd-batterijen hoewel ook een opvallend aantal voertuigen met de hoge-temperatuur NaNiCl<sub>2</sub>-batterij is uitgerust. Namen enige jaren geleden in de toen commercieel verkrijgbare Peugeot J5 de batterijen nog een groot deel van de laadruimte in beslag, in het huidige aanbod van voertuigen is de batterij in het algemeen op redelijk elegante wijze weggewerkt onder de laadruimte en de bestuurderscabine.

Een uitbijter in het overzicht is de Daimler-Benz Necar II, een voertuig waarin met waterstof gevoede brandstofcellen direct, dus zonder batterij als buffer, de elektromotor aandrijven. Het voertuig is een omgebouwde minivan, maar de aandrijving neemt vooralsnog zoveel ruimte in dat het voertuig nog niet efficiënt als bestelwagen is in te zetten.



### *Prestaties*

De met lood-zuur of NiCd-batterijen uitgeruste voertuigen hebben in stadsverkeer een actieradius van tussen de 50 en 100 km, met een uitschieter naar 120 km voor de VW-Caravelle van Spijkstaal. De topsnelheid ligt in het algemeen tussen de 80 en 100 km/h. Acceleraties zijn traag tot redelijk. Een qua actieradius interessant prototype is de Mercedes Benz MB410 die is uitgerust met zink-lucht batterijen. Deze wordt ingezet in een proefproject van de Deutsche Bundespost en Electric Fuel Ltd. (de leverancier van de batterij). Voor het voertuig wordt een actieradius gemeld van 375 km.

### *Prijs en verkrijgbaarheid*

Een aantal bestelauto's is ondermeer in het kader van de praktijkproef in Mendrisio (Zwitserland) commercieel verkrijgbaar. Voor kleine bestelauto's moeten prijzen van Sfr. 40.000 tot 50.000 worden neergeteld. Prijzen van de grotere voertuigen lopen op tot Sfr. 90.000. De in de VS aangeboden pickups kosten \$ 33.000 tot 45.000. In Nederland zijn o.m. de Volta, de Renault Expresse en de Mercedes 308E verkrijgbaar.

## **Elektrische en hybride bussen en trucks**

### *Beschrijving*

In het segment van elektrische bussen is zowel in Europa als in de VS een opvallend grote activiteit waar te nemen. Dit betreft zowel batterij-elektrische als hybride voertuigen. De meeste voertuigen waarvan informatie beschikbaar is zijn prototypes of demonstratievoertuigen die op beperkte schaal in praktijkevaluaties worden ingezet.

De meeste voertuigen in dit segment zijn uitgerust met lood-zuur of NiCd-batterijen. T.a.v. ontwerpstrategieën en componentkeuze vallen op basis van het aanbod van voertuigen nog weinig trends te ontdekken. Verschillende configuraties werden geprobeerd, waarbij de keuze en dimensionering vaak afhangt van de voorziene specifieke toepassing. Hybrides worden uitgerust met benzine-, diesel- of gasmotoren, meestal in een serie-hybride configuratie met een motor die op constant toerental wordt bedreven. Er komen echter ook parallelconfiguraties voor in een voertuigen waarbij een ICE-generator direct de wielen aandrijft en eventueel een kleine batterij voor ZEV-actieradius of vermogenspieken zorgt.

In Nederland lopen verschillende projecten op het gebied van hybride aandrijving voor bussen. In het Rotterdamse PIR-project is door Fokker een lichtgewicht busconstructie ontwikkeld die door Holec met een hybride aandrijving zou moeten worden uitgerust. Details daarover zijn echter nog niet bekend. Het door CCM in samenwerking met VDT ontwikkelde vliegwiel wordt momenteel i.s.m.

de NZH ingebouwd in een bus. Ook van dit project zijn vooralsnog weinig technische details gepubliceerd.

Opvallende voorbeelden zijn voorts de Volvo ECB hybride bus en ECT hybride truck, welke beide met een gasturbine en NiMH-batterijen zijn uitgerust.

Op het gebied van hybride truck kunnen nog twee voorbeelden genoemd worden: de MAN G90 8.155 hybride en de Mercedes 1117 Hybrid. Beide parallel hybrides zijn bedoeld voor goederendistributie in stedelijk gebied. Interessant aan de Mercedes is dat de elektromotor via een vaste overbrenging direct aan de dieselmotor is gekoppeld. Wordt de EM bekrachtigd tijdens het rijden op de dieselmotor dan werkt de EM als generator en wordt energie teruggeleverd aan de batterij.

#### *Prestaties*

Zoals uit o.m. de resultaten van het demonstratieproject in Dordrecht blijkt, laten de prestaties en de betrouwbaarheid van elektrische en hybride bussen in een aantal gevallen te wensen over. De actieradius van elektrische bussen is i.h.a. beperkt tot 60 - 100 km. Wel is vaak batterijverwisseling mogelijk zodat per dag toch een behoorlijke afstand kan worden gereden. De topsnelheid ligt veelal rond de 60 km/h, zowel voor BEV's als voor HEV's. Over energiegebruik en emissies is in de literatuur weinig te vinden. Eigen TNO-ervaring heeft geleerd dat met de IVECO Altra hybride bus met aardgasmotor emissies te bereiken zijn die in g/km vergelijkbaar zijn met de Amerikaanse ULEV-norm voor personenauto's [van de Weijer,1995].

Parallel hybride trucks zijn uitgerust met een redelijk kleine elektromotor (< 50kW) zodat de prestaties beperkt zijn, hoewel toereikend voor binnenstedelijk gebruik. Voor de MAN truck worden in [Bedrijf,1994] verbruikscijfers gegeven, welke op een testbaan zijn gemeten over een cyclus van 1,3 km met 3 stops van 18 s en een max. snelheid van 28 km/h. Met dieselaandrijving wordt een primair verbruik (inclusief rendement van brandstofraffinage en distributie) van 175 kWh/km gerealiseerd. Bij elektrisch rijden is het primair verbruik (inclusief opwekking en distributie van elektriciteit) 171 kWh/km.

#### *Prijs en verkrijgbaarheid*

De meeste voertuigen bevinden zich in een pre-commercieel stadium. Door kleinere serie-groottes zitten prototypes in dit segment vanzelf dicht bij de markt, ook omdat bussen relatief makkelijk zijn om te bouwen.

## 2.2 Componenten

### 2.2.1 Auxiliary Power Units

Met Auxiliary Power Units (APU's) worden de primaire energie-omzetters in hybride aandrijvingen bedoeld. Afhankelijk van de configuratie worden ook de termen range extender of prime mover gebruikt.

In dit hoofdstuk worden verschillende APU's behandeld. Vanwege het verdwijnende onderscheid tussen serie- en parallel-hybride aandrijving worden de APU's beoordeeld in een hybride aandrijving waarbij de energiebron voor circa 80-90% van de tijd een constant relatief laag vermogen levert (het gemiddelde vermogen voor het voertuig).

Belangrijkste eisen die aan een APU worden gesteld:

- Licht, in verband met dreiging van hoog systeemgewicht;
- Mogelijkheid tot een goede dynamische regeling in combinatie met de generator;
- Compact, in verband met dreiging van groot systeemvolume;
- Goedkoop, in verband met dreiging van hoge systeemkosten;
- Schoon;
- Zuinig;
- Stil. Hybride aandrijvingen hebben veel potentieel om stil te zijn, enerzijds vanwege de mogelijkheid de APU uit te schakelen, anderzijds omdat deze bij een constant toerental werkt, wat geluidsdemping eenvoudiger maakt. Dit laatste is zelfs een vereiste omdat het constante toerental bij variërende voertuigsnellheid vaak als onaangenaam wordt ervaren (kan kwestie van wennen zijn).
- Betrouwbaar, vooral bij Heavy Duty toepassingen, waar onderhoud en reparatie een relatief groot deel van de kilometerkosten bepaalt;
- Mogelijkheid tot overbelasting. Dit ter beperking van batterij-massa, die door het benodigde vermogen wordt bepaald. Daarnaast is overbelasting van belang als langere tijd vermogen nodig is waardoor niet kan worden uitgegaan van de beschikbaarheid van energie uit de batterij (hoge snelheden, langere hellingen). Tenslotte, maar zeker niet onbelangrijk is een overbelastbaarheid nodig indien de batterij tijdens een inhaalmanoeuvre leeg raakt. De motor moet dan maximaal bijspringen om gevaarlijke situaties te voorkomen.

Het feit dat de motor relatief constant belast wordt heeft gevolgen voor de beoordeling van de technologieën. Zij zullen dus voornamelijk vanuit dit perspectief worden vergeleken. Een punt van aandacht bij de beoordeling van de verschillende alternatieven is de specifieke geschiktheid voor hybride aandrijvingen. Dit vanwege een veelvoorkomend fenomeen dat aandrijftechnologieën die in de geschiedenis niet succesvol zijn gebleken voor voertuigaandrijving, vaak

wel goed functioneren onder constante belasting. Zij worden, nu hybride aandrijvingen actueel worden, weer naar de voorgrond geschoven. Dit hoeft echter niet te betekenen dat deze technologieën specifieke voordelen bieden bij toepassing in een hybride aandrijving. Hybride aandrijving is dan meer een voorwaarde voor toepasbaarheid van de technologie.

### Dieselmotoren

Dieselmotoren zijn zuinig. Motoren in de grootte die interessant is voor hybride aandrijving kunnen bij vollast een rendement van 40-45% bereiken. Omdat zuinigheid meestal één van de belangrijkste demonstratie-doelen van het gebruik van hybride aandrijvingen is, voornamelijk bij Light Duty, worden veel prototypen uitgerust met een dieselmotor [Jost,1996].

Belangrijkste nadeel van de dieselmotor zijn de relatief hoge emissies van met name  $\text{NO}_x$  en deeltjes, vooral bij de voor hybride aandrijving kenmerkende hoge belasting. Er zijn echter enkele technologieën in ontwikkeling die hieraan tegemoet zouden kunnen komen en die vooral bij constante belasting goed werken (ondermeer de- $\text{NO}_x$ -katalysatoren en roetfilters).

Voor- en nadelen:

- + Zeer efficiënt (40-45%)
- + Zeer betrouwbaar
- Niet schoon, zeker niet zonder speciale maatregelen en uitlaatgas-nabehandeling
- Diesilverbranding is luidruchtig.

### Ottomotoren

Ottomotoren zijn motoren die werken met actief gestuurde ontsteking (bougie). Ottomotoren zijn minder zuinig dan dieselmotoren. Dit geldt echter voornamelijk bij deellast, wat niet erg is bij hybride aandrijving. Bij vollast is het rendement nog wel iets lager (35-40%) dan bij een dieselmotor. Ottomotoren met 3-wegkatalysator hebben als groot voordeel dat zij zeer schoon zijn. Bij hoge belasting is dit niet minder. Door de permanent hoge katalysator-temperatuur zijn de uitlaatgassen zelfs lager dan bij deellast. Daar komt bij dat bij moderne ottomotoren het merendeel van de emissies wordt veroorzaakt door enerzijds de koude start en anderzijds het dynamische gedrag, dat door de lambda-regeling niet nauwkeurig kan worden gevolgd. Bij hybride aandrijving kan aan de nadelen van een koude start tegemoet worden gekomen door het systeem gedurende de eerste seconden op te warmen, waarbij gereden kan worden op de batterij. Daarnaast kan de regeling van de motor zonder concessies aan de dynamische eisen worden afgesteld, omdat de motor relatief constant wordt belast. Dit leidt tot ex-

treem lage emissies. Dit geldt voor ottomotoren op benzine, maar zeker bij de toepassing van gasvormige brandstoffen zoals LPG of CNG, die met name op het gebied van ongereglementeerde componenten nóg minder emitteren.

Voor- en nadelen:

- + Redelijk efficiënt (35-40%)
- + Betrouwbaar (doch minder dan diesel)
- + Stiller dan diesel
- + Zeer schoon, zeker bij toepassing van gasvormige brandstoffen.

### **Vrije-zuigermotor**

Een vrije-zuigermotor maakt gebruik van een zuiger die in plaats van verbonden met een krukmechanisme, rechtstreeks via een hydraulisch volume onder de zuiger hydrostatische druk levert. Dit concept biedt voornamelijk voordelen voor voertuigen waar hydrostatische druk nodig is voor aandrijving van onderdelen (graafwerktuigen, heftrucks en dergelijke). In een hybride aandrijving is deze motor alleen denkbaar als de gehele achterliggende aandrijving, inclusief buffer hydraulisch is uitgevoerd. Er zijn in de geschiedenis enkele stadsbussen ontwikkeld met gedeeltelijke hydrostatische aandrijving, meestal ten behoeve van de recuperatie van remenergie. Citroën heeft zich bezig gehouden met vrije-zuigermotoren voor toepassing in personenauto's, maar is hiermee gestopt vanwege de hoge voorspelde systeemkosten. Voornamelijk vanwege het hoge gewicht en vanwege het geluid van de hydrostatische aandrijving zijn deze projecten niet doorgezet. Ook voor hybride aandrijving geldt dat vrije-zuigermotoren als APU alleen interessant zijn voor voertuigen waar al hydrostatische aandrijving wordt gebruikt (bijvoorbeeld om zwenkmomenten van graafmachines te recupereren).

### **Twee-taktmotoren**

Twee-taktmotoren zijn licht en klein, en komen vanwege die voordelen mogelijk in aanmerking voor hybride aandrijving. Twee-taktmotoren zijn minder schoon dan vier-takt motoren met katalysator. Bijkomend nadeel is dat buiten een relatief smal toerentalbereik, de emissies en het brandstofverbruik flink toenemen. Daardoor brengt toepassing in hybride aandrijving, in vergelijking met conventioneel, echter ook voordelen voor de twee-takt. Een twee-takt maakt meer geluid dan een vier-taktmotor.

Voor- en nadelen:

- + Licht
- + Klein
- + Redelijk efficiënt (35-40%)
- Minder schoon dan vier-taktmotor

- Meer geluid dan vier-taktmotor.

## Gasturbines

Gasturbines hebben de potentie om met een hoog rendement en lage emissies vermogen te leveren met een klein systeemgewicht en -volume. Bovendien zijn ze trillingsarm. Voor de gasturbine biedt toepassing in een (serie-)hybride aandrijving voordeel vanwege de statische belasting. De gasturbine bevat dure materialen, waardoor de kostprijs nu nog hoog is. Daarbij speelt het nadeel dat de markt voor kleine gasturbines op dit moment niet groot is. Een mogelijke marktvergroting is de toepassing als APU (Auxiliary Power Unit) voor vliegtuigen. In grote vermogensklassen worden gasturbines al gebruikt voor de productie van elektriciteit. Met schaalverkleining tot de vermogensklasse van hybride aandrijving (20-100 kW) gaat echter het systeemrendement omlaag. Het rendement van gasturbines die in aanmerking komen voor hybride aandrijving ligt op dit moment rond de 30%. Hierbij is al gebruik gemaakt van een recuperator, die helaas wel tot gevolg heeft dat systeemvolume en -gewicht toenemen tot, op zijn minst, de orde van de verbrandingsmotoren. De huidige ontwikkeling spitst zich toe op de toepassing van keramische materialen, waardoor het rendement kan toenemen tot, naar men zegt, 40%. De gasturbines voor hybride toepassingen draaien met een enorm hoog toerental van 45.000 tot 120.000 omw/min. Een groot probleem is de toepassing van een geschikte generator die dergelijke toerentallen aankan. De permanent-magneettechnologie lijkt dit probleem te kunnen oplossen. Grootste voordeel ten opzichte van veel andere alternatieven is de brandstof-onafhankelijkheid. Gasturbines kunnen werken op allerlei soorten brandstoffen, vaak zonder aanpassingen.

Demonstraties van gasturbines in hybride aandrijving zijn o.a. uitgevoerd door VOLVO [Boosman,1992],[Karlsson,1992], Renault [Wisse,1997], Allied Signal, Chrysler [Robertson,1995], Capstone, PEC/JARI en door het "AGATA"-project, waarin ondermeer PSA, BMW, Volkswagen en Daimler-Benz zijn vertegenwoordigd.

### Voor- en nadelen:

- + Compact, laag gewicht
- + Trillingsarm
- + Brandstof-onafhankelijk
- + Potentieel voor gunstig rendement
- + Potentieel voor lage emissies
- Dure materialen
- (Grote) recuperator nodig voor acceptabel rendement
- Geschikte generator is probleem
- Matig bewezen rendement
- Nog niet bewezen levensduur.

## Stirlingmotor

Stirlingmotoren werken op het principe dat lucht uitzet bij verwarming. Groot voordeel is dat de manier waarop de lucht wordt verwarmd er niet toe doet, waardoor de Stirlingmotor op veel verschillende brandstoffen kan werken. Dit gebeurt, afhankelijk van de manier waarop de lucht wordt verwarmd zeer schoon. Echter, ook hierbij geldt dat de efficiency van installaties op de schaal die geschikt is voor hybride aandrijvingen nog erg laag is (maximaal 30% wordt beloofd; nog geen rendement aangetoond boven 20%). Als gevolg hiervan en van het grote gewicht en volume lijken Stirlingmotoren vooralsnog beter geschikt voor stationaire toepassingen.

Voor- en nadelen:

- + Brandstof-onafhankelijk
- + Lage emissies
- Laag rendement (20 - 30%)
- Betrouwbaarheid nog niet bewezen
- Volume
- Gewicht.

## Brandstofcellen

Brandstofcellen kunnen dienen als APU in een hybride aandrijving. Een brandstofcel produceert elektrische energie met een hoog rendement en met zuivere waterdamp als uitlaatgas (zie paragraaf 2.2.4). In tegenstelling tot de meeste APU's is het rendement van een brandstofcel het hoogst bij deellast en niet bij vollast. Een brandstofcel presteert daardoor beter in een directe aandrijving (grote brandstofcel; veel deellast) i.p.v. een serie-hybride aandrijving (relatief kleine brandstofcel; constant hoog belast). Omdat beschikbare brandstofcellen nu nog zwaar en groot maar vooral erg duur zijn, wordt voor veel projecten desalniettemin een kleine brandstofcel ingezet. Bij de te verwachte daling in gewicht, volume en prijs zal een trend naar directe aandrijving voor brandstofcellen te zien zijn. Vanwege de elektrische aandrijving is het interessant zijn om de mogelijkheid voor regeneratie van remenergie te behouden. Hiervoor kan een kleine accu worden gebruikt. Daarmee is toch sprake van een hybride systeem. Ook de aanwezigheid van reformers (zie 2.2.4) kan, door de traagheid van het systeem, de toepassing van een hybride aandrijflijn noodzakelijk maken.

## Conclusies

Conventionele motoren hebben vooralsnog de beste kans om te worden toegepast als APU in (serie-)hybride aandrijvingen. Afhankelijk van ondermeer het doel

van de demonstratie kan worden gekozen voor diesel (zuinig) of otto-motoren (schoon). De diesel-hybride is echter slechts iets zuiniger, terwijl de otto-hybride véél schoner is. Dit geldt zeker als LPG wordt toegepast, wat voor Nederland een zeer interessante optie is wegens de aanwezigheid van een goede infrastructuur.

Een groot voordeel van conventionele verbrandingsmotoren is de tijdelijk overbelastbaarheid. Ten opzichte van het belastingspunt met het hoogste rendement, dat bij relatief laag toerental ligt, kan de motor door op te toeren nog 80-100% meer vermogen leveren.

Twee-taktmotoren zijn een goed alternatief, maar kunnen echter niet stiller en schoner draaien dan vier-takt.

Gasturbines zullen zuiniger, compacter en betrouwbaarder moeten worden gemaakt alvorens een werkelijk interessant alternatief te vormen en de voordelen van met name de brandstof-onafhankelijkheid te kunnen benutten.

Brandstofcellen zullen uiteindelijk zoveel mogelijk stand-alone, dus zonder batterij worden ingezet, vanwege het feit dat zij in tegenstelling tot de meeste APU's bij deellast veel efficiënter werken dan bij vollast. Wel kan een kleine buffer worden toegepast voor de opvang van snelle belastingswisselingen en/of de recuperatie van remenergie.

### **2.2.2 Elektrische machines en vermogenselektronica**

Zowel bij batterij-elektrische als bij hybride elektrische voertuigen bevindt zich minimaal één elektromotor (EM) in de aandrijflijn. Deze EM zet elektrische energie om in mechanische rotatie-energie. Als een EM mechanische energie terug kan omzetten in elektrische energie functioneert hij als generator. In het algemeen wordt daarom vaak de meer algemene term elektrische machine gehanteerd. Gebruik van een EM als generator treedt op bij de generator van seriehybride voertuigen en bij regeneratief remmen van BEV's en HEV's. Hierbij wordt het remvermogen, dat normaal gedissipeerd wordt, teruggewonnen en omgezet in elektriciteit die kan worden opgeslagen. Dit verhoogt de efficiency van de aandrijflijn. Hoewel theoretisch 70% van de remenergie teruggewonnen zou kunnen worden, is in de huidige praktijk met 30 tot 40% te rekenen [Seiffert,1996]. Door de ontwikkeling van hoogvermogen energie-opslagmedia (vliegwielen, bipolaire batterijen, supercondensatoren) worden voor de toekomst hogere percentages haalbaar geacht.

Een indeling van de verschillende typen elektrische machines is weergegeven in Figuur 5.



|                    |                       |                                    | Geslacht voor EV's: |
|--------------------|-----------------------|------------------------------------|---------------------|
| AC                 | asynchroon (inductie) |                                    | +                   |
|                    | synchroon             | hysterese                          |                     |
|                    |                       | reluctantie                        | stappenmotor        |
|                    |                       |                                    | gewone reluctantie  |
|                    | permanent magneet     | brushless DC (switched reluctance) | +                   |
|                    |                       | stappenmotor                       |                     |
|                    |                       | gewone permanent magneet motor     |                     |
|                    | DC                    | serie                              | brushless DC (*)    |
| shunt (parallel)   |                       |                                    | +                   |
| compound           |                       |                                    |                     |
| vreemd bekrachtigd |                       | veldwinding                        |                     |
|                    |                       | permanent magneet                  |                     |

(\*)= Deze AC-motor heet zo omdat de combinatie van motor en regelelektronica dezelfde karakteristieken hebben als een vreemdbekrachtigde DC motor.

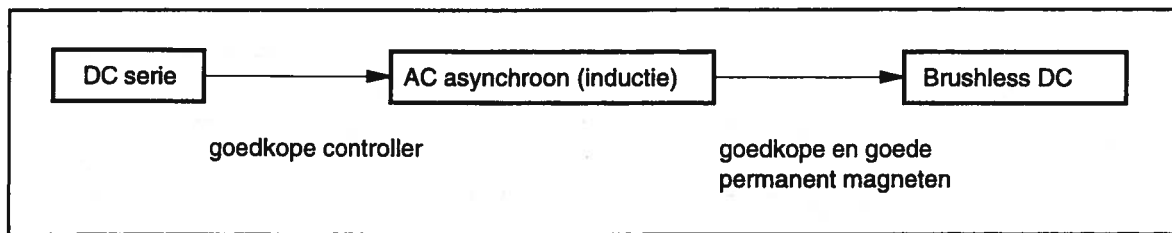
*Figuur 5: Indeling elektrische machines*

EM's kunnen niet kaal met elkaar worden vergeleken omdat tegenwoordig een EM niet los gezien kan worden van zijn vermogenselektronica (met bijbehorende regeling). In Figuur 6 zijn de voor- en nadelen opgesomd van de verschillende typen die gebruikt kunnen worden in BEV's en HEV's. Hierbij moet dus worden bedacht dat de beoordeling sterk kan afhangen van de specifieke uitvoering van motor en vermogenselektronica.

|                          | topefficiency | efficiency | vermogensdichtheid | max. toerental | betrouwbaarheid | benodigd onderhoud | ontwikkelingsstand | kosten motor | kosten controller | totale kosten | recycling | gebruik voor EV nu | gebruik voor EV toekomst |
|--------------------------|---------------|------------|--------------------|----------------|-----------------|--------------------|--------------------|--------------|-------------------|---------------|-----------|--------------------|--------------------------|
| AC asynchroon (inductie) | +             | +          | +                  | ++             | ++              | +                  | +                  | +            | --                | +             | +         | ++                 | +                        |
| Switched reluctance      | +             | +          | ++                 | ++             | +               | +                  | --                 | +            | -                 | ++            | +         | 0                  | +                        |
| Brushless DC             | ++            | ++         | ++                 | +              | +               | +                  | -                  | --           | --                | -             | -         | +                  | ++                       |
| DC serie                 | --            | -          | --                 | --             | +               | --                 | ++                 | -            | ++                | ++            | -         | 0                  | 0                        |

*Figuur 6: Vergelijking elektrische machines*

Tot nu toe werd de DC-motor (serie of vreemd bekrachtigd) gezien als de meest logische keuze voor gebruik in een EV door zijn vergevorderde technische stand van ontwikkeling, de bewezen betrouwbaarheid en de lage investeringskosten [Brusaglino,1996]. Voor nu en in de nabije toekomst te ontwikkelen voertuigen lijkt de asynchrone drie fasen machine een goede kandidaat te zijn door de relatief hoge efficiency, die in een groot werkgebied ook hoog blijft. De initieel hogere kosten kunnen terugverdiend worden door energiebesparingen tijdens gebruik en de veel lagere onderhoudskosten. Vectorregeling en vloeistofkoeling kunnen verdere optimalisatie bewerkstelligen. Voor de lange termijn kunnen synchronomotoren in aanmerking komen door hun hogere specifieke prestaties en goede efficiency, vooral bij permanent-magneetmotoren met veldverzwakking en variabele reluctantie met vectorregeling. De hogere kosten kunnen ook hier weer teruggewonnen worden door besparingen op energiekosten en onderhoud tijdens gebruik. Met behulp van permanent-magneet technologie kunnen zeer compacte hoogtoerige generatoren worden gebouwd voor toepassing in combinatie met gasturbines. In tegenstelling tot asynchroon motoren gaat bij de ontwikkeling van permanent-magneetmotoren de meeste aandacht uit naar ontwikkelingen aan de motor zelf, en niet aan de motorelektronica. In Figuur 7 staat de trend voor EM's aangegeven.



*Figuur 7: Trend voor elektromotoren voor EV's*

Met permanente magneten wordt de brushless DC-motor bij uitstek geschikt om ingebouwd te kunnen worden in wielnaven. Voordelen van naafmotoren ten opzichte van centraal geplaatste elektromotoren zijn:

- + plaatsbesparing in voertuig (vergroting binnenruimte)
- + geen mechanisch differentieel en aandrijfassen meer nodig (verhoging rendement en verlaging massa)
- + modulaire bouwwijze mogelijk (onderhoud en reparatie vergemakkelijkt)
- + integratie mogelijk met voertuigdynamische regelingen zoals Electronic Traction Control, antiblokkeer-remsysteem en stuuradaptie [Jaggi,1996].

Er zijn echter ook nadelen verbonden aan het gebruik van naafmotoren:

- verhoging van het onafgeveerd gewicht (vermindering comfort)
- meer motoren nodig dus grotere kans op mankementen, echter wel redundantiemogelijkheden
- geen versnellingsbak of simpele eindreducties mogelijk (dit kan zowel een nadeel als een voordeel zijn)
- gecompliceerdere regeling nodig voor elektronisch differentieel (verhoging van de kosten) [Moore,1995].

Naafmotoren zijn bij uitstek geschikt voor bussen door de mogelijkheid om een over groot oppervlak een lage vloer te construeren. Er worden de laatste tijd geluiden gehoord dat vanwege de complexiteit en kosten (voorlopig) afgestapt wordt van naafmotoren (Orion bus en Chrysler personenwagen). Desalniettemin valt te verwachten dat naafmotoren in de toekomst een steeds belangrijkere rol zullen gaan spelen. Overigens is er ook een goedkopere tussenvorm mogelijk tussen naafmotoren en een centraal gemonteerde elektromotor. Hierbij worden de elektromotoren tegen de wielen aan gebouwd, waardoor genoeg ruimtewinst geboekt wordt om toch bijvoorbeeld een lagevloerbus te kunnen construeren [MagnetMotor,1996],[Ehrlinger].

Zoals reeds gezegd kan een elektromotor niet los gezien worden van zijn vermogenselektronica. Ook op voertuigniveau is er vermogenselektronica nodig voor de aandrijflijn in BEV's en HEV's. Enkele van de belangrijkste componenten worden hieronder besproken:

|                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|----------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Inverter:                  | transformeert DC-stroom van de accu naar AC voor een AC-motor;                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| DC-DC converter (chopper): | verhoogt of verlaagt DC-spanning, bijvoorbeeld ter vervanging van de 12 V boordaccu;                                                                                                                                                                                                                                                              |
| Transformator:             | verhoogt of verlaagt AC-spanning naar AC-spanning;                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| EM-controller:             | microprocessor die de EM op de juiste manier aanstuurt;                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| System controller:         | elektronica die inputs van de chauffeur, het voertuig en de omgeving omzet in voertuighandelingen zoals acceleratie en remmen. De functies van de controller zijn het regelen van de energiestroom van accu naar motor (snelheidsregeling), het omdraaien van de motordraairichting (achteruitrijden) en het regelen van het regeneratief remmen; |
| Boordlader:                | vermogenslektronica die ervoor zorgt dat de batterij op een juiste manier wordt opgeladen. Dit kan zowel inductief als conductief plaatsvinden. Voor meer informatie zie Hoofdstuk 2.4.                                                                                                                                                           |

De ontwikkeling van EV's wordt bemoeilijkt door de hoge kosten van elektrische machines en vermogenslektronica. Voor een moderne elektrische auto kost een brushless DC-elektromotor (32kW continu, 53kW maximaal) van Unique Mobility (één van de marktleiders) \$12.800. Hierbij komt nog \$6100 voor inverter en microprocessor. Een DC-DC converter kost \$900 [Unique Mobility,1996]. Natuurlijk zijn de prijzen van eenvoudiger EM's lager. Industriële DC-motoren met borstels liggen zelfs vaak onder \$50 per kW.

Op het gebied van vermogenslektronica is nog veel te verwachten in termen van rendementsverbeteringen en reducties in massa's, afmetingen en vooral kosten. Deze kosten dalen door massaproductie, maar dit hoeft niet alleen voor EV's te zijn. Als de controllers, of belangrijke componenten daarvan, ook in andere toepassingen gebruikt gaan worden zal dit direct effect hebben op hun kostprijs.

De regelingen en de vermogenslektronica voor de elektromotor, de accu en het systeemmanagement zullen aanzienlijk gecompliceerder worden. Het rendement kan nog flink omhoog gaan. De efficiency van de vermogenslektronica wordt in het algemeen verhoogd door een beperking te maken in de variatie van het voltage. Grote spanningsfluctuaties leiden tot hogere (piek-)stromen waardoor ook de kosten van de controllers stijgen. De kosten van de vermogenslektronica maken een substantieel deel uit van de aandrijflijn van BEV's en HEV's. Ze vormen een groot obstakel voor de massaproductie van HEV's en (in mindere mate) BEV's. Deze prijzen worden verwacht binnen tien jaar te halveren [Moor-

e,1995]. Gewicht en afmetingen van de vermogenselektronica moeten ook niet onderschat worden, maar de trend is om deze steeds compacter uit te voeren. Vooral door nieuwe technologieën (zoals IGBT-transistoren) en geïntegreerde koeling kunnen hogere vermogensdichtheden gehaald worden.

Ontwikkelingstaken voor EM en vermogenselektronica [IAE,1992] zijn:

- downsizing, massareductie, lagere massa-traagheid, hogere efficiency, lagere kosten (inclusief transmissie);
- bereiken van een breed bereik voor snelheid en draaimomentregeling;
- ontwikkelen van koelmethode(n) waardoor hogere vermogens kunnen worden bereikt;
- bijregelen aan de hand van het meten van acceleraties, en regeneratief remmen;
- verbetering betrouwbaarheid en levensduur;
- verzorgen van de elektromagnetische compatibiliteit.

### 2.2.3 Energieopslag

#### Batterijen (oplaadbare)

##### *Techniekschrijving*

In een oplaadbare batterij (accu) wordt chemische energie direct omgezet in elektrische energie. Hierbij wordt in het algemeen gebruik gemaakt van in de accu aanwezige "brandstof" en "oxidant". In de loodaccu bijv. is de brandstof lood en de oxydant looddioxide. De reactieproducten van de elektrochemische omzettingen in de accu (bij de loodaccu is dit loodsulfaat) worden door het aanleggen van een elektrische spanning opnieuw omgezet in brandstof en oxydant (het opladen van de accu). Doordat in het algemeen de accu tevens als reservoir van brandstof en oxydant fungeert is de hoeveelheid energie (bijv. uitgedrukt in kWh/kg) en daarmee de actieradius bij toepassing in een elektrisch voertuig, beperkt. Ten behoeve van elektrische aandrijving (vooral voor BEV's) zijn meer dan 10 verschillende typen accu's in ontwikkeling. Het ontwikkelingsstadium varieert van commercieel verkrijgbaar (bijv. lood-zwavelzuur tractie accu's) tot laboratoriumfase (bijv. verschillende typen lithium accu's). In Tabel 1 is een overzicht gegeven van de belangrijkste specificaties van de verschillende typen accu's, inclusief hun ontwikkelingsstadium [Schillemans,1993][Brunia,1995].

De karakteristieke celspanning van een elektrodepaar in een accu ligt in het gebied van 1-4 V. Door serieschakeling van cellen worden in het algemeen accublokken van 6, 12 of 24 V gemaakt. Serieschakeling van grotere aantallen, leidend tot hogere blokspanningen, is echter mogelijk.

De meeste accu's zijn opgebouwd uit zgn. monopolaire cellen, d.w.z. dat in de serieschakeling de elektrische verbinding tussen de positieve en de daaraan

gekoppelde negatieve plaat buitenom gebeurd. Dit betekent dat de elektrische stroom door de gehele plaat naar de verbindingstrip moet lopen. Consequentie hiervan is o.a. een beperkt specifiek vermogen (kW/kg), vanwege de benodigde stroomgeleiders. Door over te schakelen op bipolaire cellen (de plaat is aan de ene zijde positief en aan de andere zijde negatief, waardoor er geen aparte geleidingsstrips buitenom nodig zijn) zijn veel hogere specifieke vermogens te bereiken (bij min of meer gelijkblijvende of wat lagere specifieke energie). De bipolaire accu stelt hogere eisen aan afdichting e.d. omdat er geen contact mag zijn tussen de elektrolyten in de verschillende cellen.

Bij de ontwikkeling van accu's voor BEV's ligt het accent vanouds op het verkrijgen van een hoge specifieke energie (hoge energie-inhoud ten behoeve van voldoende actieradius). In het algemeen zijn dit monopolaire accu's. Doordat de hoeveelheid accu's nodig voor het bereiken van een acceptabele actieradius relatief groot is, wordt dan veelal automatisch aan de (beperkte) vermogens-eisen van het voertuig voldaan. Omdat vliegwielen en supercondensatoren een zeer lage specifieke energie hebben (vergeleken met de meeste accutypen) zijn deze minder geschikt voor BEV's (zie apart hoofdstuk). Bij de relatief nieuwe ontwikkeling van accu's voor HEV worden geheel andere eisen gesteld aan de accu. In dit geval is veelal niet de energie-inhoud, maar het tijdens accelereren en remmen te leveren resp. op te nemen vermogen bepalend voor de accuspecificaties. Hiervoor zijn bipolaire accu's (en ook vliegwielen en supercondensatoren) vaak geschikter dan monopolaire.

Om tot voldoende levensduur te komen is de manier van laden van de accu (uit het net of, bij hybride aandrijving, uit de boordgenerator of door remmen) van groot belang. Per type accu kunnen hierbij grote verschillen optreden. Alhoewel het in het kader van deze Quick Scan te ver zou voeren om hierop in te gaan kan wel gesteld worden dat dit een gebied is dat nog de nodige aandacht zal vergen.

De elektrische rendementen (t.g.v. verliezen bij laden en ontladen) van accu's hangen sterk af van dimensionering en een goede afstemming op de rest van het systeem. Indien dit juist gebeurt, zijn rendementen van 80 % of meer haalbaar.

*Stand van ontwikkeling* [Schillemans,1993],[BATCONF,1996],[EHVT,1996]

Door de groeiende belangstelling voor elektrische aandrijving en de daarmee gepaard gaande groeiende budgetten (bijv. USABC met een budget van \$300 miljoen in 4 jaar, vergeleken met budgetten van de orde van \$10 miljoen in de VS voor die tijd) worden er belangrijke vorderingen gemaakt in de ontwikkeling van veelbelovende accutypen. Door meerdere grote bedrijven wordt gewerkt aan de verdere ontwikkeling van de lood-zwavelzuur accu, de nikkel-cadmium accu, de nikkel-metaalhydride accu, en de diverse typen lithium accu's (vooral Li-

polymeer en Li-ion). Verder wordt met redelijk veel inspanning, echter per type slechts door 1 à 2 bedrijven, gewerkt aan de natrium-nikkelchloride accu, de zink-lucht accu en de zink-broom accu. Dit laatste heeft tot gevolg dat de kans dat de ontwikkeling succesvol is sterk bepaald wordt door financiële draagkracht van het bedrijf, technische tegenvallers e.d.. Voorbeeld hiervan is de zowel door ABB als CLP/RWE gestopte ontwikkeling van de natrium-zwavel batterij, ten gevolge van veiligheidsproblemen. Aan de overige typen wordt wel gewerkt maar met veel minder inzet van mankracht/budget.

Alle hierboven genoemde accutypen zijn ingebouwd in demonstratie-BEV's, met uitzondering van lithium accu's, die in een veel priller stadium van ontwikkeling zijn. De in HEV demonstratieprojecten gebruikte accu's zijn veelal de voor BEV ontwikkelde tractie accu's, waarbij de typen worden gekozen met een zo groot mogelijk specifiek vermogen om het gewicht acceptabel te houden.

#### *Trends*

De voortzetting van de ontwikkeling van accu's voor BEV toepassing zal sterk worden bepaald door milieuwetgeving (bijv. is een Zero Emission Vehicle wettelijk vereist of kan worden volstaan met een zgn. E(quivalent)ZEV, waarbij de emissies van de elektriciteitscentrale zijn verdisconteerd) en de mede daaraan gerelateerde verbeteringen in de emissies van inwendige verbrandingsmotoren. De ontwikkelingen zullen in eerste instantie toepassing vinden in stedelijke gebieden en dan vooral in professioneel vervoer (hierbij wordt meer belang gehecht aan de overall kosten in tegenstelling tot particulier personen vervoer, waarbij vooral de initiële investering bepalend is bij de keuze van een voertuig). Het meest aantrekkelijk in dit verband zijn de op lithium gebaseerde accu's. Bij dit accutype is echter nog een groot aantal problemen op te lossen, waarbij veiligheid en ook productiekosten belangrijke punten zijn.

Streefwaarden voor de kosten van oplaadbare batterijen zijn van de orde van \$ 100-200/kWh voor BEV's. Ter vergelijking: de kostprijs van startaccu's die in zeer grote aantallen worden gemaakt is circa \$ 50/kWh. Voor HEV's zijn waarschijnlijk wat hogere kosten (gebaseerd op kWh) acceptabel, omdat het aantal geïnstalleerde kWh gering kan zijn.

Tabel 1: Overzicht specificaties van accu's

| Aspect                          | Accu                  | Pb-PbO <sub>2</sub>  | Ni-Cd                 | Ni-MeH                | Ni-Fe                 | Ni-Zn                 |                       |
|---------------------------------|-----------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| bedrijfstemperatuur             |                       |                      |                       |                       |                       |                       |                       |
| theoretische specifieke energie | [°C]                  | omgeving             | omgeving              | omgeving              | omgeving              | omgeving              |                       |
| specifieke energie              | [Wh/kg]               | 167                  | 209                   | 220                   | 267                   | 334                   |                       |
| energiedichtheid                | [Wh/dm <sup>3</sup> ] | 35 (C <sub>2</sub> ) | 55 (C <sub>3</sub> )  | 55 (C <sub>3</sub> )  | 51 (C <sub>3</sub> )  | 65 (C <sub>1</sub> )  |                       |
| specifiek vermogen              | [W/kg]                | 84 (C <sub>2</sub> ) | 104 (C <sub>3</sub> ) | 152 (C <sub>3</sub> ) | 118 (C <sub>3</sub> ) | 129 (C <sub>1</sub> ) |                       |
| laadrendement                   |                       | 230                  | 175                   | 175                   | 100                   | 200                   |                       |
| zelfontlading                   |                       | +                    | -                     | --                    | --                    | -                     |                       |
| bedrijfsvoering                 |                       | +                    | -                     | -                     | --                    | -                     |                       |
| cyclische levensduur            |                       | -/+                  | -/+                   | +                     | ++                    | -                     |                       |
| kalendrische levensduur         |                       | +                    | +                     | +                     | +                     | -                     |                       |
| ontwikkelingsstadium*           |                       | C                    | C                     | D                     | D                     | D                     |                       |
| Aspect                          | Accu                  | Zn-Br <sub>2</sub>   | Fe-Cr                 | Zn-lucht              | Na-S <sup>***</sup>   | Na-NiCl <sub>2</sub>  | Li-CoO <sub>2</sub>   |
| bedrijfstemperatuur             |                       |                      |                       |                       |                       |                       |                       |
| theoretische specifieke energie | [°C]                  | omgeving             | omgeving              | omgeving              | omgeving              | omgeving              | omgeving              |
| specifieke energie              | [Wh/kg]               | 430                  | 250                   | 890                   | 300                   | 300                   | 300                   |
| energiedichtheid                | [Wh/dm <sup>3</sup> ] | 79 (C <sub>3</sub> ) | 6                     | 208                   | 760                   | 790                   | 2045                  |
| specifiek vermogen              | [W/kg]                | 56 (C <sub>3</sub> ) | 5                     | 243                   | 110 (C <sub>2</sub> ) | 89 (C <sub>2</sub> )  | 99 (C <sub>2</sub> )  |
| laadrendement                   |                       | 60                   | ?                     | 140                   | 155 (C <sub>2</sub> ) | 113 (C <sub>2</sub> ) | 236 (C <sub>2</sub> ) |
| zelfontlading                   |                       | +                    | ++                    | --                    | --                    | --                    | ?                     |
| bedrijfsvoering                 |                       | +-                   | +-                    | -                     | --                    | --                    | ++                    |
| cyclische levensduur            |                       | --                   | -                     | --                    | -                     | -                     | +                     |
| kalendrische levensduur         |                       | +                    | +                     | ?                     | +                     | ?                     | ?                     |
| ontwikkelingsstadium            |                       | ? D                  | ? L                   | ? D                   | - D                   | ? D                   | ? L                   |

Verklaring tekens: ++ = zeer goed, + = goed, +- = redelijk, - = matig, -- = slecht

C = commercieel D = demonstratie L = laboratoriumfase

De aanduiding bij de verschillende typen accu's geeft het ontwikkelingsstadium weer voor een accu met die specifieke specificaties.

- open uitvoering, + gesloten uitvoering

Het thermische verlies zal normaal gesproken leiden tot een hoog elektrisch verlies voor verwarming, zowel tijdens laden als in rusttoestand.

De industriële ontwikkeling van de natrium-zwavel accu is gestopt.



Vanwege de veel gunstiger actieradius en de mogelijkheid om de bestaande brandstofinfrastructuur te gebruiken, wordt de laatste twee jaar steeds meer aandacht besteed aan de ontwikkeling van HEV's. Een bijkomend aspect bij deze ontwikkeling is dat het HEV een logische weg is in de ontwikkeling naar een volledig door brandstofcellen aangedreven voertuig, in die zin dat de inwendige verbrandingsmotor-generatorset relatief eenvoudig kan worden vervangen door een brandstofcel.

Een belangrijke voorwaarde voor het slagen van HEV's is het beschikbaar komen van voor dit doel geschikte opslagsystemen voor elektrische energie (hoog specifiek vermogen in combinatie met voldoende levensduur). Deze ontwikkeling staat voor accu's (en ook andere opslagsystemen zoals supercondensatoren en vliegwielen) nog in de kinderschoenen en zal de nodige inspanningen vergen.

Eisen te stellen aan accu's voor BEV's en HEV's, o.a afkomstig van USABC, staan in Tabel 2 [Westinghouse,1995].

Tabel 2: Eisen aan accu's voor BEV's en HEV's, onder andere afkomstig van USABC

|                         | USABC <sup>1</sup> |           | NIST <sup>2</sup> |              | INEL <sup>3</sup> |              |
|-------------------------|--------------------|-----------|-------------------|--------------|-------------------|--------------|
|                         | Mid Term           | Long Term | Dual Mode         | Power Assist | Un-assisted       | Pulsed Power |
| Power (kW)              | 80                 | 80        | 100               | 50-70        | 60-90             | 50-75        |
| Energy Storage (kWh)    | 40                 | 40        | 6-8               | 0.5-2        | 3.5-7             | 0.5-0.75     |
| Weight (Kg)             | n/s                | n/s       | 136               | 23           | 100               | 50-150       |
| Specific Power (W/kg)   | 150-200            | 400       | 733               | 2200-3100    | 600-900           | 900-1200     |
| Specific Energy (Wh/kg) | 80-100             | 200       | 44-59             | 22-88        | 35-70             | 10-12        |
| Power/Energy Ratio      | 2                  | 2         | 13-17             | 25-140       | 13-17             | 100          |
| Energy Density (Wh/l)   | 135                | 300       | n.a.              | n.a.         | 90-130            | 10-20        |
| Life (Cycles)           | 600                | 1.000     | 2.000             | 100.000      | 1500              | 100.000      |
| Cost (\$/kWh)           | 150                | 100       | <133              | 250-600      | 200               | 1.000        |

n/s = not specified; n.a. = not available

1) batterijen voor BEV's

2,3) batterijen voor HEV's

In beide typen elektrische voertuigen is een goed management van de accu essentieel om maximale prestaties te leveren in combinatie met een acceptabele levensduur van de accu. Hierbij is modellering van de accu en vertaling daarvan naar besturingssoftware nodig. De huidige accumanagementsystemen zullen nog aanzienlijk verbeterd dienen te worden.

Ook veiligheidsaspecten van accu's zijn van belang. Hieronder vallen bijv.:

- Botsveiligheid e.d. (schokproeven, valproeven, gedrag in water, bij brand e.d.);
- Ontwikkeling van waterstof/zuurstof (o.a. bij laden) en andere emissies;
- Consequenties van (hoge) gelijkspanning (tot circa 1000 V).

Hieraan is tot nu tot slechts beperkt en in ieder geval nog niet systematisch aandacht besteed. Dit dient wel te gebeuren.

### *Toekomstige ontwikkelingen in Nederland*

Op basis van de bovengenoemde te verwachten trends kan het volgende gezegd worden over de ontwikkelingen die in Nederland wenselijk zijn uit het oogpunt van aanwezige expertise in combinatie met kansen voor de industrie:

De in Nederland aanwezige brede expertise op het gebied van accu's en voertuigaandrijving, in combinatie met de relevante industriële kennis en mogelijkheden, is zodanig dat er goede kansen liggen op het gebied van de ontwikkeling van hybride aandrijfsystemen voor professionele toepassingen. Hierbij zal vooral de integratie in systemen mogelijkheden bieden. Omdat de ontwikkelingen op dit gebied zeer snel gaan moet hiermee snel worden gestart. Rekening houdende met de industriële capaciteit in Nederland liggen er tevens goede kansen voor de ontwikkeling van opslagsystemen (met name bipolaire loodaccu's en vliegwielen) voor deze specifieke toepassing.

Ook in de behoefte aan goede batterijmanagementsystemen (software en hardware) kan, op basis van bestaande expertise bij bedrijven en kennisinstituten, goed worden voorzien. Ook hiervoor geldt dat een snelle start nodig is om te kunnen concurreren met het buitenland. Deze behoefte geldt zowel voor BEV- als HEV-toepassingen van batterijen.

## **Supercondensatoren**

### *Techniekschrijving*

Onder supercondensatoren worden elektrochemische dubbellaagcondensatoren verstaan. Het zijn opslagsystemen waarbij elektrische lading fysisch wordt opgeslagen. Vanouds worden zij toegepast in allerlei elektronische schakelingen. Ten behoeve van de toepassing in BEV's en HEV's wordt veel aandacht besteed aan verhoging van de capaciteit, vooral door vergroting van het voor fysische adsorptie van lading beschikbare inwendige oppervlak. In een condensator vinden, in tegenstelling tot bij de accu, geen chemische omzettingen plaats. Hierdoor is de hoeveelheid lading die kan worden opgeslagen (bijv. uitgedrukt in Wh/kg) veelal relatief beperkt. Daarbij komt tevens dat in praktische toepassing slechts een deel van de lading bruikbaar is, omdat de spanning lineair met de afgegeven lading afneemt (bij accu's is de spanning bij de meeste types redelijk constant

totdat circa 80% van de lading is afgestaan). De spanning van de individuele cellen is vergelijkbaar met die van accu's (1-4 V). Hogere spanningen worden verkregen door serieschakeling.

Doordat bij het laden en ontladen geen chemische omzettingen plaats vinden is het mogelijk om een zeer groot aantal cycli ( $>> 10.000$ ) te doorlopen voordat de prestaties merkbaar achteruit gaan. Dit is een voordeel t.o.v. accu's. De zelfontlading van supercondensatoren is erg hoog (orde van grootte van 10% per dag) in vergelijking met die van accu's (in het algemeen (veel) kleiner dan 1% per dag).

#### *Stand van ontwikkeling [Burke,1996]*

De huidige supercapacitoren hebben een maximale specifieke energie van minder dan 10 Wh/kg. Het specifieke vermogen is maximaal circa 1000 W/kg. In de VS, Japan en Europa lopen onderzoekprogramma's om te komen tot verbetering. Met name wordt er op dit moment veel aandacht besteed aan ontwikkeling en verbetering van materialen voor supercondensatoren. De in de VS geformuleerde ontwikkelingsdoelen voor middellange en lange termijn staan weergegeven in Tabel 3.

*Tabel 3: Ontwikkelingsdoelen voor supercondensatoren*

|                         | Mid-term | Long-term |
|-------------------------|----------|-----------|
| Spec. vermogen (W/kg)   | >500     | >1600     |
| Spec. energie (Wh/kg)   | >5       | >15       |
| Energiedichtheid (Wh/l) | >11      | >37       |
| rendement               | >90%     | >90%      |
| energie capaciteit (Wh) | 500      | 750       |
| Vermogen (kW)           | 50       | 80        |
| Voltage (V)             | 200-300  | 200-300   |
| Gewicht (kg)            | <100     | <50       |
| Volume (l)              | <45      | <20       |
| cyclische levensduur    | >100.000 | >300.000  |
| Kalendrische levensduur | >5 jaar  | >10 jaar  |

#### *Trends*

De eigenschappen van supercondensatoren zijn zodanig dat zij vooral kansen bieden voor toepassingen waarbij de specifieke energie laag kan zijn en het specifieke vermogen hoog moet zijn. In de praktijk betekent dit dat zij vooral in aanmerking komen voor HEV-toepassingen. Ook hierbij zal in veel gevallen de specifieke energie echter te laag zijn omdat in veel toepassingen waarden van enkele tientallen Wh/kg gewenst zijn. Per toepassing dient te worden nagegaan of supercondensatoren in aanmerking komen.

Met betrekking tot de kosten zullen dezelfde streefgetallen gelden als bij accu's. Dit betekent waarden van maximaal enkele honderden \$/kWh voor hybride toepassingen. Bij productie van grote aantallen moet dit in principe mogelijk zijn (mits voldoende goedkope uitgangsmaterialen worden gevonden).

#### *Toekomstige ontwikkelingen in Nederland*

In Nederland vinden geen specifieke ontwikkelingen plaats op het gebied van supercondensatoren voor elektrische aandrijving. Eventuele kansen hiervoor liggen vermoedelijk alleen op het gebied van de ontwikkeling van materialen. Dit dient te gebeuren in samenwerking met (buitenlandse) bedrijven (bijv. in het kader van EU programma's).

Evenals bij accu's is de ontwikkeling van management systemen (meet en regeltechniek) van belang voor supercondensatoren. Met name de lineaire afname van de spanning met de lading stelt hieraan eisen. Mogelijk liggen hiervoor kansen in Nederland.

### **Vliegwielen**

#### *Techniekschrijving*

Vliegwielen zijn een vorm van mechanische energie-opslag. Voor het "opladen" wordt het toerental van een draaiend wiel verhoogd. Bij ontlading wordt, meestal langs elektromagnetische weg, (elektrische) energie aan het vliegwiel onttrokken, waardoor het toerental weer daalt. Een vliegwiel bestaat hoofdzakelijk uit een viertal componenten, te weten:

- een rotor
- de lagers (veelal magnetisch)
- een motor/generator (voor omzetting van elektrische in mechanische energie en vice versa)
- een behuizing (meestal zodanig uitgevoerd dat het vliegwiel in vacuüm draait)

De toerentallen waarbij vliegwielen werken liggen in de orde van 20.000 tot 30.000 omw./min en in extreme gevallen tot circa 60.000 omw/min. De nog beschikbare energie neemt kwadratisch af met het toerental: bij een toerental dat de helft is van het maximale toerental is de nog beschikbare energie een kwart van de maximale energie. Het beschikbare (specifieke) vermogen wordt niet zozeer bepaald door het vliegwiel zelf, als wel door de motor/generator keuze. Hierdoor kan het specifieke vermogen (W/kg) zeer hoog zijn. Dit gaat dan wel gepaard met hogere kosten.

Evenals bij supercondensatoren is de hoeveelheid energie die kan worden opgeslagen (bijv. uitgedrukt in Wh/kg) beperkt. Dit is een gevolg van het feit dat,

naast het vliegwiel zelf, de behuizing en de motor/generator een belangrijke bijdrage aan het gewicht geven. De cyclische levensduur is zeer groot (> 100.000?). De zelfontlading (d.w.z. de afname van het toerental door wrijving) is in het beste geval vergelijkbaar met die van supercondensatoren en zeer veel hoger dan bij batterijen (orde van 10% per dag, batterijen < 1 % per dag). Dit betekent dat het vliegwiel alleen geschikt is voor toepassingen waarbij de opgeslagen energie na korte tijd weer wordt gebruikt (bijv. in HEV's).

Vergeleken met accu's en supercondensatoren is de opbouw van een vliegwiel-systeem tamelijk gecompliceerd (hoge toerentallen). Dit betekent dat er vooralsnog weinig flexibiliteit is in de te kiezen afmetingen/energie-inhoud omdat de ontwikkeling veelal gericht is op één maat vliegwiel. Bij accu's en supercondensatoren is vrijwel elke energie-inhoud samen te stellen door serie- en/of parallelschakeling van de basiselementen.

#### *Stand van ontwikkeling* [CCM,1995],[NAEVI96,1996]

Bij de huidige generatie vliegwielen wordt een specifiek vermogen bereikt van maximaal circa 500 W/kg en een specifieke energie van circa 10 Wh/kg. De getalswaarden zijn vergelijkbaar met die van supercondensatoren. Dit betekent dat de eigenschappen zich vooral lenen voor toepassing als opslagsysteem in HEV. Aangezien het aantal bedrijven dat aan de ontwikkeling van vliegwielen werkt beperkt is, en het bovendien veelal relatief kleine bedrijven zijn (in tegenstelling tot bij accu's en supercondensatoren) is er een relatief groot risico dat er, bij tegenvallende of vertraagde toepassing van HEV's en BEV's, bedrijven afhaken en de ontwikkeling van vliegwielen stagneert.

#### *Trends*

De ontwikkelingen zijn gericht op het gebruik van lichte materialen (kunststof-composieten) in combinatie met hoge toerentallen (het "record" ligt bij 65.000 omw./min.). Hierdoor moet het mogelijk zijn om hoge specifieke energie- en vermogenswaarden te bereiken. Er worden streefgetallen van de orde van 100 Wh/kg resp. 10 kW/kg genoemd. Alhoewel deze getallen theoretisch goed haalbaar zijn is de vraag of dit technisch en economisch haalbaar is, aangezien dit alleen bereikt kan worden met zeer hoge toerentallen.

Veel aandacht wordt besteed aan de productietechnologie (i.v.m. de zeer hoge toerentallen worden hieraan speciale eisen gesteld) omdat deze vooral bepalend zal zijn voor de kosten. Over de kostenaspecten is overigens weinig bekend, omdat er tot nu toe in het algemeen slechts enkele exemplaren van een bepaald type zijn gemaakt.

Om een zekere flexibiliteit te bewerkstelligen wordt gewerkt aan vliegwielopslagsystemen die bestaan uit een aantal (10-20) zeer kleine vliegwielen. Het is

echter de vraag of deze economisch haalbaar zijn te vervaardigen, omdat voor elk vliegwiel een behuizing en mogelijk ook een conversie van mechanische naar elektrische energie nodig is. Veel aandacht wordt verder besteed aan veiligheid (i.v.m. de zeer grote centrifugale krachten).

Gezien de eigenschappen zijn vliegwielen vooral geschikt voor toepassing in HEV's (evenals supercondensatoren). Ook hierbij geldt echter dat, vanwege de lage specifieke energie, het vliegwiel niet voor alle toepassingen geschikt zal zijn.

#### *Toekomstige ontwikkelingen in Nederland*

In Nederland wordt door CCM [CCM,1995] reeds een aantal jaren aan de ontwikkeling van vliegwielen gewerkt (het EMAFER systeem). Hierbij wordt vooral gewerkt aan de toepassing in bussen (relatief groot vliegwiel dat kortstondig 300 kW kan leveren). Dit betekent automatisch dat de markt voor dit vliegwiel beperkt is, terwijl vertaling naar een ander vermogen niet eenvoudig is. Gezien de lage streefwaarden voor de kosten van accu's (orde van enkele honderden \$/kWh bij grote productie aantallen) is het van belang om aan het kostenaspect van vliegwielssystemen meer aandacht te geven dan tot nu toe het geval is (althans in openbare publikaties).

Bij TNO is enkele jaren geleden een vliegwiel ontwikkeld op basis van een composiet materiaal. Op dit moment wordt deze ontwikkeling niet vervolgd. Nagegaan dient te worden of hiervoor, gezien de huidige belangstelling voor HEV, wel kansen zijn.

#### **2.2.4 Brandstofcellen en reformers**

##### **Brandstofcellen**

##### *Techniekschrijving*

In een brandstofcel wordt chemische energie direct in elektrische energie omgezet. Omdat de Carnot cyclus niet wordt doorlopen is het theoretisch mogelijk om zeer hoge elektrische rendementen te behalen (tot 80%). Het wezenlijke verschil met de accu is dat in de accu de "brandstof" en oxydant intern zijn opgeslagen als vaste stof of vloeistof (en worden geregenereerd bij het opladen), terwijl in de brandstofcel de brandstof en oxydant van buitenaf continu worden toegevoerd in gasvorm (soms in vloeistofvorm). Hierdoor wordt bij brandstofcellen, evenals bij de inwendige verbrandingsmotor, de actieradius bepaald door de inhoud van de (aparte) brandstoftank..

Er zijn vijf typen brandstofcellen in ontwikkeling, elk met hun karakteristieke elektrodematerialen, elektrolyten, separator/membraan en temperatuur.

In Tabel 4 staat een overzicht. De naam heeft veelal te maken met het gebruikte type elektrolyt.

Tabel 4: Overzicht typen brandstofcellen

| Type  | Elektrolyt                                                      | Temperatuur<br>°C | Specifiek<br>vermogen W/kg | CO <sub>2</sub><br>tolerantie | CO<br>tolerantie | reformer<br>vereist | ontwikkelings-<br>stadium |
|-------|-----------------------------------------------------------------|-------------------|----------------------------|-------------------------------|------------------|---------------------|---------------------------|
| PAFC  | H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>                                  | 150 - 200         | 50 - 100                   | goed                          | redelijk         | redelijk            | commercieel               |
| AFC   | KOH                                                             | 50 - 80           | 50 - 100                   | slecht                        | slecht           | slecht              |                           |
| PEMFC | membraan*                                                       | 80 - 100          | 50 - 1000                  | goed                          | slecht           | slecht              | demonstratie              |
| SOFC  | ZrO <sub>2</sub> /Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>                 | 900 - 1000        | 50 - 300                   | goed                          | goed             | goed                | lab/pilot-plant           |
| MCFC  | Li <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> /K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> | 600 - 650         | 50 - 100                   | goed                          | goed             | goed                | demonstratie              |

- PAFC = phosphoric acid fuel cell / fosforzure brandstofcel  
 AFC = alkaline fuel cell / alkalische brandstofcel  
 PEFC = polymer electrolyte fuel cell / polymeer elektrolyt brandstofcel  
 SOFC = solid oxide fuel cell / vast oxide brandstofcel  
 MCFC = molten carbonate fuel cell / gesmolten carbonaat brandstofcel

De karakteristieke celspanning van een brandstofcel is 0,5-0,8 V bij stroomdichtheden van 0,1-1 A/cm<sup>2</sup> (vermogensdichtheden van 0,05-0,8 W/cm<sup>2</sup>). De prestaties worden in het algemeen in specifiek vermogen uitgedrukt. Deze liggen in het bereik van 50-1000 W/kg.

De cellen worden in het algemeen in de vorm van zgn. stacks gestapeld. Hierdoor ontstaat een serieschakeling met gelijkspanningen die kunnen liggen in het gebied van 10 tot meer dan 100 V per stack. Wanneer over brandstofcellen wordt gesproken worden in het algemeen brandstofcelstacks bedoeld. Voor lage-temperatuurbrandstofcellen is waterstof voornamelijk de enige geschikte brandstof. Dit betekent dat andere brandstoffen (methanol, methaan, LPG, diesel, benzine e.d.) eerst moeten worden omgezet in waterstof (in een zgn. reformer, zie betreffende hoofdstuk). Hierbij moet het gevormde gasmengsel (waterstof, kooldioxide, koolmonoxide e.d.) aan vrij strenge eisen voldoen. Bij hoge temperatuur brandstofcellen kan zonder reformer worden gewerkt (aardgas) of kan volstaan worden met gedeeltelijke reforming (bijv. van diesel naar aardgas).

#### Stand van ontwikkeling

Op het gebied van voertuigaandrijving gaat verreweg de meeste aandacht uit naar de PEFC. Hieraan wordt wereldwijd zeer veel aandacht besteed. Ballard (Canada) is hiermee circa 10 jaar geleden begonnen (op basis van eerdere ontwikkelingen voor de ruimtevaart) en is nog steeds leider op dit gebied. Er zijn in totaal circa 10 bedrijven actief in de ontwikkeling (in de EU o.a. Siemens en De Nora), terwijl inmiddels ook alle grote Amerikaanse, Europese en Japanse autofabrikanten programma's hebben lopen. In de VS is de PEFC een van de drie key technologies in de ontwikkeling van de nieuwe generatie voertuigen (PNG-

V). Voorbeelden van recente demonstratievoertuigen zijn Mercedes Benz en Toyota. In beide gevallen is het gehele systeem zodanig in het voertuig gebouwd dat er geen passagiersplaatsen en nauwelijks bagageruimte verloren gaat. In Canada is Ballard bezig met de bouw van zes bussen met een PEFC-aggregaat van elk 250 kW dat, inclusief elektromotor, past in de ruimte van de normaal gebruikte dieselmotor. Er wordt in dit geval gesproken over commerciële productie in 1998. Recentelijk is door Chrysler de ontwikkeling van een personenauto aangekondigd met benzinereforming aan boord en een PEFC brandstofcel.

De PAFC wordt vooral gebruikt voor demonstratieprojecten in heavy duty toepassingen (bussen). Doel hierbij is vooral het opdoen van systeemervaring met deze min of meer commercieel verkrijgbare brandstofcellen. Gezien de relatief lage specifieke vermogens nu en in de toekomst is het geen serieuze kandidaat voor voertuigaandrijving, temeer daar de prestaties van de PEFC nog sterk toenemen.

De AFC heeft mogelijkheden om tot zeer hoge specifieke vermogens te komen en is daardoor in principe geschikt voor voertuigaandrijving. Door enkele inherente nadelen (gebruik van vloeibare loog, niet bestand tegen CO<sub>2</sub> e.d.), alsmede het niet meer plaats vinden van serieuze ontwikkelingen op dit gebied (de belangrijkste bedrijven op dit gebied, Siemens en Elenco, zijn gestopt) is de AFC echter geen reële optie.

Met betrekking tot de hoge-temperatuurbrandstofcellen (MCFC en SOFC) wordt de SOFC wel genoemd voor voertuigaandrijving (vanwege het relatief hoge specifieke vermogen dat haalbaar is). Omdat er bij de ontwikkeling echter niet of nauwelijks rekening wordt gehouden met deze toepassing (bijv. geen aandacht voor schok- en trilbestendigheid van deze met keramiek uitgeruste brandstofcellen) zijn beide typen brandstofcellen voor voertuigaandrijving voorlopig geen reële optie. Een toepassingsgebied dat wel realistisch lijkt zijn locomotieven en schepen.

De emissies van brandstofcellen (gereguleerde en niet gereguleerde componenten) zijn zeer laag, ook vergeleken met de schoonste inwendige verbrandingsmotoren. Deels wordt dit bereikt omdat de brandstofcel zelf strenge eisen stelt aan de toegevoerde gassamenstelling. De emissie van kooldioxide hangt af van de (oorsprong van de) gebruikte brandstof, maar is bij op fossiele energie gebaseerde energiedragers naar verwachting ongeveer de helft van die van de inwendige verbrandingsmotor in voertuigtoepassingen. Dit wordt vooral veroorzaakt door het gunstige deellastrendement van brandstofcelsystemen.

*Trends* [FCSEMINAR,1996]

Van de verschillende typen brandstofcellen lijkt alleen de PEFC reële kansen te bieden op het gebied van de voertuigaandrijving. Indien de huidige ontwikkeling



zich voortzet wordt de PEFC een serieuze kandidaat als toekomstige vervanger van de inwendige verbrandingsmotor. Of dit een reële optie is, zal vooral worden bepaald door de in de toekomst te stellen emissie-eisen. Vooral in de VS zijn uitgebreide kostenvoorspellingen gemaakt. In het kader van PNGV is bijv. vastgesteld dat het in 2004 mogelijk moet zijn om voor de PEFC stackkosten te bereiken van circa \$ 40/kW en systeemkosten van circa \$ 50/kW (bij productieniveaus van > 1.000.000 systemen van circa 50 kW per jaar).

In de huidige ontwikkeling wordt de PEFC vooral gezien als "generator" in hybride systemen (alternatief voor de motor-generatorset in een hybride aandrijving). Dit heeft vooral te maken met de hoge kosten van de huidige brandstofcellen en de nog relatief lage specifieke energie van een brandstofcelsysteem (vergeleken met accu's voor hybride systemen). De verdere ontwikkeling zal er echter toe leiden dat de PEFC naar verwachting de "enige" energiebron in het voertuig zal worden (bij de zes bussen van Ballard is dit reeds het geval), afgezien van een accu voor starten en hulpsystemen. Ook kan een accu zinvol zijn als vermogensbuffer voor het leveren van piekvermogens tijdens acceleratie of het opnemen van vermogen bij regeneratief remmen.

#### *Toekomstige ontwikkelingen in Nederland*

Gezien de relatief grote expertise in Nederland op het gebied van PEFC systemen (zowel bij ECN als TNO) liggen er vooral kansen in Nederland op het gebied van de *integratie* van PEFC in systemen (incl. modellering), alsmede de ontwikkeling van componenten hiervoor (bijv. reformers, meet- en regel software/hardware). De Nederlandse industrie zou hierbij de rol van packager kunnen spelen, vooral voor de markt van professionele voertuigen (bijv. bedrijven zoals DAF SP of Fokker SP). Een eerste aanzet hiertoe is het in voorbereiding zijnde project m.b.t. ontwerp en de bouw van een party-schip met PEFC aandrijving (enkele honderden kW). Ook de bij TNO plaatsvindende ontwikkeling op het gebied van PEFC systemen voor aandrijving van voertuigen (twee inmiddels beëindigde EU-JOULE projecten) en aandrijving/energievoorziening van fregatten voor de Koninklijke Marine is hieraan nauw verwant.

Ontwikkeling van PEFC cellen/stacks, met als hoofddoel om deze goedkoper te maken, vindt in Nederland plaats door ECN, doch vooral gekoppeld aan bedrijven elders in Europa (Siemens). Voor de Nederlandse industrie liggen hier mogelijk wel kansen, doch tot nu toe worden deze niet of nauwelijks opgepakt.

Met betrekking tot de ontwikkeling van componenten voor brandstofcelsystemen, kan voor Nederland vooral worden gedacht aan gasscheidingssystemen (bijv. op basis van membraantechnieken) en eventueel reformers (zie apart hoofdstuk). Daarnaast zijn er mogelijk kansen voor de ontwikkeling van vermogenselektronische componenten.

## Reformers

### *Techniekomschrijving*

Omdat brandstofcellen in het algemeen alleen waterstof als "brandstof" accepteren is het nodig om koolstof bevattende brandstoffen (dit zijn alle in de praktijk toegepaste brandstoffen, exclusief waterstof) om te zetten in waterstof. Dit kan zowel centraal gebeuren (bijv. in een chemische fabriek, bij een tankstation e.d.) als in het voertuig zelf. Deze omzetting vindt plaats in een zgn. reformer.

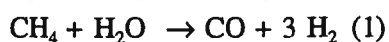
Bij centrale reforming is waterstof de finale energiedrager die in het voertuig wordt opgeslagen (vloeibaar, onder druk, in de vorm van hydride of geadsorbeerd aan bijv. kool). De reformingstechniek t.b.v. waterstofproductie is voor industriële toepassingen min of meer uitontwikkeld. Hierbij wordt vaak aardgas als grondstof gebruikt. De ontwikkeling van reformers voor omzetting van de brandstof aan boord van voertuigen is om twee redenen gewenst:

- De hoeveelheid waterstof die kan worden opgeslagen aan boord van een voertuig is beperkt. Dit zou de actieradius van FCEV's sterk beperken.
- Er is op dit moment geen infrastructuur voor het tanken van waterstof. Naar verwachting zal deze er ook niet komen de eerste 10-20 jaar.

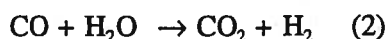
Alhoewel de ontwikkelingen van reformers voor voertuigtoepassing gebaseerd zijn op eerdere ontwikkelingen in de chemische industrie, zijn er twee belangrijke verschillen:

- De in een voertuig toegepaste reformers zijn, vergeleken met de chemische installaties, zeer klein. Omdat reforming bij hoge temperaturen (300-1000 °C, afhankelijk van het type brandstof) en een zo hoog mogelijk energetisch rendement moet plaats vinden stelt dit speciale eisen aan het ontwerp.
- De uitgangsstof (de brandstof) is bij voertuigtoepassing veelal sterk verschillend van die in de chemische industrie (alleen aardgas wordt mogelijk in beide toepassingen gebruikt).

De tot nu toe meest gebruikte methode van reforming is "steam reforming" in combinatie met de shift reactie. Het is een endotherm proces waarbij de brandstof met stoom reageert tot koolmonoxyde en waterstof. Bijvoorbeeld voor aardgas:

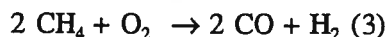


Door een juiste keuze van de condities verloopt de volgende shiftreactie:



De resterende CO (in de praktijk in een concentratie van 1 %) wordt verwijderd door (katalytische) oxidatie, al dan niet in een apart apparaat. Voor de polymere

brandstofcel is verwijdering tot het niveau van de orde van 10 ppm nodig, terwijl gestreefd wordt naar een toelaatbaar niveau van 100 ppm. Een alternatieve methode van reforming die de laatste jaren sterk in ontwikkeling is, is de zgn. partiële oxydatie. Hierbij komt warmte vrij (exotherme reactie). Voor aardgas:



Deze reactie wordt eveneens gevolgd door eerdergenoemde shiftreactie (2).

Door een combinatie van steam reforming en partiële oxydatie is het mogelijk om thermisch neutraal te werken (zgn. autothermal reforming). Ook hieraan wordt de laatste jaren veel aandacht besteed.

Voor andere brandstoffen dan aardgas verlopen de reacties op een vergelijkbare manier. In alle gevallen worden door de brandstofcel zelf strikte eisen gesteld aan verontreinigingen in de waterstof (voorkomen van vergiftiging van het katalytische elektrodemateriaal ten behoeve van het verkrijgen van een acceptabele levensduur). Behalve voor het eerder genoemde CO, worden er ook eisen gesteld aan allerlei bijproducten van de reforming, aan zwavelverbindingen e.d.. Voor een belangrijk deel zijn deze eisen nog niet gekwantificeerd, doch er dient rekening mee te worden gehouden dat zij in het gebied van ppm's liggen.

Een belangrijk nadeel van reformers (t.o.v. waterstof direct uit een tank) is de relatief trage respons op belastingwisselingen (responsijd orde van minuten of meer) door de relatief grote inhoud van de reformer en leidingen. Dit is te ondervangen met een tussenopslag (bijv. een vaatje met reformaat of een accu), doch dit maakt het systeem gecompliceerder/duurder.

#### *Stand van ontwikkeling*

Tot nu toe is vooral aandacht besteed aan de ontwikkeling van reformers voor methanol, dat bij een relatief lage temperatuur om te zetten is (200-300 °C). Daarnaast heeft er veel ontwikkeling plaatsgevonden aan aardgasreformers (vooral wat grotere afmetingen voor stationaire brandstofcellen) die bij een temperatuur van de orde van 500-600 °C werken. Pas de laatste twee à drie jaar is er, o.a bij ADL, onderzoek gestart t.b.v. de ontwikkeling van reformers voor logistieke brandstoffen zoals diesel en jet fuel (vooral voor militaire toepassingen). Op het gebied van benzine en LPG reforming zijn de ontwikkelingen nog nauwelijks gestart: recentelijk heeft Chrysler aangekondigd te werken aan de ontwikkeling van een benzinereformer. Bij al deze brandstoffen is een relatief hoge reformertemperatuur nodig (500 °C tot meer dan 1000 °C). Door deze hoge temperaturen ontstaan emissies (bijv. stikstofoxiden), die, als hieraan niet voldoende aandacht wordt besteed, het voordeel van de zeer geringe emissies van de brandstofcel zelf volledig te niet kunnen doen. Aan de reforming van dimeylether (DME, een alternatieve brandstof voor diesel) is tot nu toe geen enkele

aandacht besteed. Waarschijnlijk is dit eenvoudiger dan dieselreforming. In ieder geval zullen er minder bijproducten aanwezig zijn/worden gevormd, hetgeen de gasreiniging eenvoudiger maakt.

De bij reformers bereikte vermogensdichtheden zijn qua orde van grootte vergelijkbaar met die van brandstofcellen zelf: 100 tot maximaal 1000 W/kg. Dit betekent in de praktijk dat de reformer evenveel gewicht heeft en ruimte inneemt als, of zelfs meer dan de brandstofcel. Daarnaast is er dan uiteraard nog een tank nodig om de brandstof op te slaan. De energierendementen van reformers zijn nog aan de lage kant (orde van 50 %). Ook hier is nog verbetering nodig.

#### *Trends [FCSEMINAR,1996]*

De inspanningen bij de ontwikkeling van reformers zijn op de volgende zaken gericht:

- Vereenvoudiging van het systeem (minder separate stappen door combinatie van reforming en gasreiniging, door minder stringente eisen aan het reformergas e.d.);
- Compactheid van het systeem (integratie van brander, reformer en gasreiniging) t.b.v. een hoger specifiek vermogen;
- Ontwikkeling van reformers voor logistieke brandstoffen;
- Vermindering van de hoeveelheid katalysatormateriaal en/of verlaging van de reformertemperatuur;
- Verlaging van de responstijd (instantaan volgen van vermogenswisselingen, snelle opstart);
- Verhoging van het energetisch rendement;
- Verlaging van de kosten (tot  $\ll$  \$ 100/kW).

Er wordt door een groot aantal bedrijven aan deze ontwikkelingen gewerkt, waarbij in een aantal gevallen wordt doorgeborduurd op reeds aanwezige expertise op het gebied van waterstofproductie voor de chemische industrie. Een voorbeeld hiervan in Europa is Haldor Topsoe. Omdat het reformer/brandstofcelsysteem relatief gecompliceerd is (vergeleken met waterstof als brandstof) en er, parallel aan de reformerontwikkeling, veel aandacht wordt besteed aan compactere waterstofopslagsystemen, is het nog lang niet zeker of reformers aan boord dan wel waterstof als brandstof uiteindelijk zullen worden toegepast. Hierbij speelt ook de veiligheidsproblematiek van waterstof (deels psychologisch, deels reëel) een rol.

Bij toepassing van waterstof als brandstof is het uiteraard nodig (zeker de komende 10 à 20 jaar) om centrale reforming van koolstofhoudende brandstof uit te voeren (bijv. op tankstations). Omdat dit in grote installaties kan worden uitgevoerd, waarbij responstijd, compactheid e.d. veel minder kritisch zijn en verhoging van het energetisch rendement eenvoudiger is (relatief minder warmte-

verlies), lijkt een dergelijke optie op zich niet onlogisch. Er wordt echter nog niet of nauwelijks aandacht aan besteed.

### *Toekomstige ontwikkelingen in Nederland*

In Nederland is in het verleden door KTI gewerkt aan reforming van vooral aardgas. Dit werk was gebaseerd op hun expertise op het gebied van waterstofproductie voor chemische toepassingen. Omstreeks 1992 zijn zij hiermee echter gestopt. Momenteel is voorzover bekend alleen ECN bezig met de ontwikkeling van (methanol)reformers (in het kader van Europese programma's). Er zijn plannen om aan reforming van diesel te gaan werken (in samenwerking met TUE en TNO), in eerste instantie via een haalbaarheidsstudie.

Omdat de ontwikkeling van reformers nog voor een belangrijk deel in de kinderschoenen staat (vooral m.b.t. de normaal toegepaste autobrandstoffen), liggen hier misschien kansen voor de Nederlandse industrie en kennisinstituten. Daarnaast zou het zinvol kunnen zijn, mede gezien de ervaring met de productie van waterstof voor de chemische industrie in Nederland bij de grote ingenieursbureaus zoals KTI, om de haalbaarheid van reforming in stationaire installaties (bijv. bij tankstations) te bestuderen. Hierbij is overigens verbetering van de technologie voor on-board waterstofopslag (verkleining van volume en gewicht en vermindering van verliezen) van wezenlijk belang.

## **2.3 Integratie-aspecten**

### **2.3.1 Systeemmanagement**

Wat bij conventionele voertuigen langzaam opkomt is het controleren en regelen van meerdere functies in een voertuig, terwijl rekening gehouden wordt met hun onderlinge interacties. Dit zogenaamde systeemmanagement is geen optie bij HEV's, het is een must. Zo is er op dit gebied nog veel werk en onderzoek te verrichten om een optimale controlestrategie te bedenken, waardoor het voertuig in uiteenlopende situaties zo goed mogelijk zijn functies vervult. Alle componenten moeten goed op elkaar aansluiten in functie en werkwijze. De winst die met HEV's en in mindere BEV's te halen is, hangt voor een groot deel af van dit systeemdenken.

Systeemmanagement omvat hardware- en software-aspecten:

**Hardware:** Controllers en besturingselektronica voor componenten afzonderlijk en onderling. Dit laatste heeft tot doel om onderlinge samenwerking en integratie van componenten te bewerkstelligen. Over de fysische uitwerking van deze integratie wordt in het volgende hoofdstuk

(integraal ontwerpen) dieper ingegaan. De afzonderlijke vermogens-elektronica-componenten zijn in Hoofdstuk 2.2.2 behandeld.

**Software:** Het regelen van de afzonderlijke componenten en de componenten onderling, afhankelijk van signalen uit de omgeving, van de bestuurder en vanuit het voertuig.

Op componentniveau wordt de regeling vaak in eerste instantie verzorgd door de eigen controller van die component. Een verbrandingsmotor heeft een motormanagement dat bijvoorbeeld de ontsteking en insputing controleert, regelt en aanstuurt. Een elektromotor wordt bestuurd door de eigen vermogenselektronica (bijvoorbeeld een spannings- en frequentieregelaar). Vaak wordt bij de ontwikkeling van een HEV zoveel mogelijk gekozen voor standaard componenten, waarbij door het vaak onlosmakelijke karakter van de component-controller combinatie (zie Hoofdstuk 2.2.2) deze regelingen integraal worden overgenomen of eventueel iets worden aangepast.

Een niveau hoger ligt de samenwerking tussen twee componenten. Voorbeelden zijn de interactie tussen een katalysator en een verbrandingsmotor, of een generator en een verbrandingsmotor in een genset van een serie-HEV.

Op voertuigniveau wordt het echter ingewikkelder. Een centrale computer controleert en regelt een grote hoeveelheid uiteenlopende componenten, waarbij ook de onderlinge verbanden sterk kunnen verschillen. Hierbij kan een zeer gecompliceerd netwerk ontstaan, dat het batterijmanagement, de boordspanningsverzorging, de aansturing van de verbrandingsmotor, de verwarming, het regeneratief remmen, het ABS en een groot aantal andere functies kan omvatten. Vooral bij een HEV is deze ineenstrengeling veel groter dan bij een ICEV. Dit communicatienetwerk kan bijvoorbeeld met behulp van een CAN-bus worden geïmplementeerd, waarbij de informatie tussen verschillende componenten makkelijk onderling uitgewisseld kan worden.

Bij EV's is de hoeveelheid elektrische energie aan boord beperkt. Als er ook nog veel elektriciteit nodig is voor accessoires, verwarming, verlichting, bedieningsorganen en dergelijke zullen de totale voertuigprestaties daar onder lijden. Daarom bestaat er bij EV's, nog meer dan bij conventionele voertuigen, een sterke noodzaak om energie-efficiënte componenten te ontwikkelen. Voorbeelden zijn warmtepompen voor de airconditioning, energiezuinige elektrische stuurbekrachtigingen, warmtereservoirs voor het koelwater, warmtewerende ruiten, gasontladinglampen etc [Harris,1996].

Zoals reeds gezegd is de controlestrategie een heel belangrijk punt van aandacht bij HEV's. Deze strategie moet ervoor zorgen dat de hybride aandrijflijn in de meest uiteenlopende omstandigheden de gevraagde prestaties levert. Er moet tegelijkertijd rekening gehouden worden met een veelvoud aan eisen, voorwaarden en beperkingen.

Onderstaande lijst geeft een idee van de aspecten waarmee rekening gehouden moet worden bij de regelstrategie voor een serie-HEV:

- Er zijn 24 verschillende systeemtoestanden (met ieder een verschillende vermogensstroomrichting) waarin een serie-HEV-aandrijflijn zich kan bevinden;
- Het in- en uitschakelen van de verbrandingsmotor moet zoveel mogelijk beperkt worden. Bij een gasturbine geldt deze beperking zeer sterk;
- Een controlestrategie is bijna altijd gebaseerd op de momentane energie-inhoud van de accu, de State-of-charge (SOC). Het meten van de SOC is echter niet eenvoudig. De verandering in energie-inhoud hangt onder andere af van de temperatuur (thermisch management) en de manier van laden en ontladen;
- Een elektromotor kan overbelast worden. De mate en duur van de overbelasting is echter afhankelijk van de koeling, de omgevingstemperatuur, de vermogenselektronica en veiligheidsaspecten;
- Er kan extern of door de bestuurder ingegrepen worden in de werkingwijze, bijvoorbeeld bij rijden in ZEV-mode. Hierdoor nemen de prestaties in het algemeen echter wel af;
- Alle componenten moeten voldoen aan electromagnetic compatibility (EMC).

Het principe van systeemmanagement is in de toekomst nog verder te trekken door koppeling met road-telematics waarbij het voertuig communiceert met de buitenwereld en daar ook door beïnvloed wordt. Het voertuig wordt dan geïntegreerd in de omgeving. Daarbij valt te denken aan actieve routeplanning om files te vermijden of externe snelheidsbeperking. Dit kan deels al geïmplementeerd worden bij conventionele voertuigen. Bij HEV's is er echter nog veel meer potentieel, zowel op voertuigniveau als op omgevingsniveau. Een voorbeeld van de mogelijkheden op voertuigniveau is de aanpassing van de controlestrategie van de accu's en de verbrandingsmotor van de HEV als bekend is dat de komende kilometers op een snelweg gereden gaan worden. Op omgevingsniveau kunnen emissievrije zones in de binnenstad automatisch nageleefd en maximum snelheden gehandhaafd worden.

Op verkeersniveau zijn de volgende controlesystemen mogelijk [Bromby,1995]:

- Traffic management system (meten van verkeersdichtheid ten behoeve van de planning van verkeersstromen);
- Integrated road traffic environment (een centrale real-time database voor registratie en verwerking van ongelukken, files en werkzaamheden aan de weg);
- Traveller information (satelliet signalering van openbaar vervoer om aankomsttijden voor reizigers te voorspellen);
- Integrated route planning (gecomputeriseerde planning van reizen met een verscheidenheid aan vervoermiddelen).

Om deze systemen goed te laten functioneren zijn verschillende signalen nodig. De informatiesignalen uit de omgeving en het voertuig bevatten onder andere:

- De locatie (is het een Zero Emission gebied?)
- Voorspellingen van de condities van een gekozen route (files, hellingen)
- Payload (hoeveel passagiers bijvoorbeeld per bus rijden)
- Omgevingscondities (temperatuur, niveau van luchtvervuiling).

#### *Stand van ontwikkeling en trends*

De eerste stappen op het gebied van systeemmanagement zijn gezet maar door de complexe aard van het probleem is er nog veel werk te doen. Huidige HEV-prototypes laten zeker nog niet het uiterst haalbare zien. De bereikte resultaten op het gebied van emissies, energiegebruik en driveability zijn veelal slechter dan mag worden verwacht op basis van simulatiestudies. Voorbeelden zijn de meer dan 100 HEV-prototypen die de laatste jaren voor de Amerikaanse HEV-challenge gebouwd zijn door verschillende universiteiten. Het komt helaas vaak voor dat deze voertuigen een hoger energiegebruik hebben dan hun conventionele broertjes terwijl aan de driveability grote concessies zijn gedaan ten gunste van de eenvoud. Overigens is er nauwelijks verband te ontdekken tussen het budget en de resultaten in voertuigen in genoemde de HEV-challenge.

Het succes van vooral HEV's zal voor een groot deel afhankelijk zijn van de mate waarin het gaat lukken om betrouwbare en betaalbare regelsystemen te ontwikkelen en te komen tot een integratie van en communicatie tussen de componenten in de aandrijflijn. Bedrijven en instituten die een brede basis aan kennis hebben van de verschillende componenten zullen een voorsprong hebben om deze integratie tot een goed einde te brengen. In Nederland ligt hier een kans doordat de kennis van de afzonderlijke componenten en het potentieel om deze kennis te integreren in ieder geval al aanwezig is.

#### *Conclusies*

- Hybride aandrijving is bij uitstek een concept waarbij systeemmanagement over het hele voertuig en zelfs over de voertuigsgrenzen uitgevoerd kan en in sommige gevallen moet worden. Zeker is dat integratie van de aandrijflijn en energiemanagement- en regelsystemen een sleutelrol zullen spelen bij HEV-concepten van de toekomst. Op dit gebied ligt voor Nederland een kans om in deze ontwikkeling een goede positie te verwerven;
- Complexe controlestrategieën zijn nodig om de lage-emissievoertuigen goed te laten functioneren;
- Transporttelematica is een geschikte technologie om duurzame transportsystemen te optimaliseren. Elektrische aandrijvingen bieden daarbij extra mogelijkheden voor interactie tussen voertuig en omgeving.



### 2.3.2 Voertuigontwerp

#### *Inleiding*

In de ontwikkeling van conventionele voertuigen is er duidelijk sprake van een evolutie. Ook BEV's en HEV's kunnen zo evolueren. Er is echter veel voor te zeggen om veel verbeteringen samen met deze nieuwe aandrijfconcepten in één keer te introduceren (een zogenaamde leap frog). Hierdoor kunnen de voordelen van deze concepten beter uitgebuit worden. In het kader van het PNGV-programma (Program for a New Generation of Vehicles) is een ontwikkeling gaande naar het ontwikkelen van voertuigen met een energiegebruik dat met een factor drie verlaagd is ten opzichte van huidige auto's met instandhouding van de huidige bruikbaarheid. Een voorbeeld van voertuigen die hieraan voldoen zijn de zogenaamde hypercars (prototypen zoals de Ford Synergy 2010 en de GM Ultima bestaan al). De combinatie van verbeteringen aan het platformdesign, lichtgewicht materialen en hybride aandrijflijnen openen ideale en potentieel kosteneffectieve mogelijkheden om de voordelen ten volle te benutten. Vooral HEV's en BEV's kunnen lijden onder de negatieve spiraal van grootte, massa en kosten, plus de toegevoegde complexiteit, als niet vanaf het begin al rekening wordt gehouden met een lichtgewicht, efficiënt en geïntegreerd ontwerp. Dat laatste is helaas voor vele HEV-prototypen nog niet het geval. Ze zijn gebaseerd op zware BEV's of conventionele platforms (conversie-designs) waarbij vele componenten worden toegevoegd zonder gebruik te maken van de synergetische voordelen die een hybride aandrijflijn biedt (dedicated designs) [Moore,1995]. Zo kan door het verminderde brandstofverbruik een kleinere en lichtere brandstoftank meegenomen worden. Dit is een voorbeeld van de zogenaamde propagatiefactor (bij verlaging van de massa van een voertuig kunnen andere componenten ook gedownsized worden omdat ze minder belast worden). Deze factor kan tussen 1.1 en 1.5 liggen.

Massaverlaging is dus een erg belangrijk punt. Dit is in tegenstelling tot de huidige trend waarbij de massa juist steeds toeneemt (een voorbeeld: de huidige Opel Vectra is meer dan 150 kg zwaarder dan het vorige model). Dit komt onder andere door de grotere ingebouwde veiligheid (ABS, Airbag etc.), verhoging van comfortaspecten en het vergroten van het voertuig.

Enkele aandachtspunten voor een zuinig, schoon en bruikbaar voertuig in de toekomst worden hieronder genoemd. In de opsomming wordt speciale aandacht gegeven aan zaken die specifiek zijn voor BEV's en HEV's:

### *Verlagen weerstanden*

Door verlaging van de voertuigweerstand is het energiegebruik te verlagen. Hiermee samenhangend worden ook de finale emissies in meer of mindere mate verminderd. Hieronder zullen de verschillende weerstanden worden besproken:

- Luchtweerstand: Deze weerstand is bij hogere snelheid verantwoordelijk voor het grootste deel van de gebruikte energie. De grootte van het benodigd vermogen is recht evenredig met de luchtweerstandscoefficiënt ( $C_w$ ), recht evenredig met het frontaal oppervlak van het voertuig ( $A_f$ ) en evenredig met de derde macht van de snelheid  $v$ . De  $C_w$ -waarde van personenauto's nu is typisch in de orde van 0.30. De GM EV1 (een dedicated elektrisch voertuig) heeft een  $C_w$ -waarde van 0.19, hetgeen onder andere wordt gehaald door de vlakke bodemplaat (ontbreken van uitlaat) en vermindering van de luchtstromen door de motorruimte (koeling). In de toekomst vallen dergelijke waarden voor meer productievoertuigen te verwachten. Het frontaal oppervlak ligt meestal rond de twee vierkante meter. Omdat er praktische grenzen zijn aan de afmetingen en zitposities van de inzittenden kan deze waarde met maximaal 10 tot 20 % worden teruggebracht in de toekomst.
- Rolweerstand: Het benodigd vermogen om de rolweerstand van de banden te overbruggen is bij benadering evenredig met het voertuiggewicht en de rolweerstandscoefficiënt  $C_r$ . Deze is voor conventionele banden ongeveer 0.013. Nieuwe low-resistance banden kunnen door andere rubbersamenstellingen, andere profielkeuze's, kleinere breedten en hogere banddrukken deze waarde verlagen tot 0.0048 zoals bijvoorbeeld bij de GM EV1 gedemonstreerd is. Een bijzonder punt van aandacht is het verminderde comfort bij hardere banden terwijl ook het afroegeluid en de tractie in de gaten gehouden moeten worden. De bandenfabrikanten hebben in de laatste jaren echter opmerkelijke vooruitgang geboekt en ook op dit punt is dus in de toekomst te verwachten dat goedkope, veilige en zuinige banden gemeengoed worden.
- Interne weerstanden: Hiermee worden de weerstanden bedoeld in overbrengingen, versnellingsbakken en lagers en assen. Deze maken een niet zo groot deel uit van de verliezen en veel winst is hier dus niet meer te halen afgezien van het feit dat sommige van deze componenten in EV's ontbreken.

### *Verlagen massa*

De massa van een voertuig moet tijdens een rit versneld en vertraagd worden. Hoe hoger de massa, des te hoger het benodigd aandrijfvermogen. Ook is, zoals gezien, rolweerstand recht evenredig met de massa. Verlaging van de massa heeft bij de moderne voertuigontwikkeling een steeds hogere prioriteit. Het energiegebruik is sterk afhankelijk van de massa. Ultralichte ontwerpen zijn de sleutel tot een succesvolle BEV, maar een BEV moet eigenlijk een HEV zijn om ultralicht te zijn (energieopslag in brandstof en niet in accu's) [Moore,1995].

Vermindering van de massa kan plaatsvinden in de body-in-white (carrosserie en plaatwerk) door andere bouwwijzen en gebruik van andere materialen. Zo kan in plaats van een conventionele zelfdragende carrosserie gekozen worden voor een space-frame of zelfs een monocoque-constructie. De keuze is afhankelijk van de productieomvang, gebruikte materialen, kosten en andere specifieke eisen. Als in het traditionele staal en blik gebouwd blijft worden kan nog een massaverlaging van 15 tot 20 % behaald worden zoals ULSAB, een internationaal consortium heeft bewezen. In aluminium bouwen kan een massawinst van 55 % gehaald worden, maar productie- en materiaalkosten zijn ongeveer 30% hoger. Een nog onbekender terrein is die van de vezelversterkte composieten (massareductie 60 tot 70 %), maar de kosten en de nog niet voldoende ontwikkelde technologie voor massaproductie blijven punten van onderzoek. Massaverlaging kan ook worden behaald in het interieur. Bekleding, stoelen, panelen etc. kunnen lichter worden geconstrueerd.

Als laatste belangrijke groep voor massareductie kan de aandrijflijn genoemd worden. T.o.v. conventionele voertuigen is hier voor BEV's en HEV's echter niet veel winst te behalen, omdat de aandrijflijn door de zware accu respectievelijk het grotere aantal componenten juist zwaarder. Een winst van 10 % wordt als doel gekozen in het PNGV-programma [Jost,1996].

#### *Verhogen rendementen van energie-omzeters*

Het potentieel voor rendementsverbetering van ondermeer verbrandingsmotor, elektrische machines, accu's, ultracapacitors, en vliegwheels is reeds besproken in Hoofdstuk 2.2. Energiegebruik van accessoires (verlichting, bedieningsorganen, verwarming, radio-/cd-apparatuur, elektrisch bedienbare ramen en spiegels, dashboard, controls, elektrisch voorverwarmde katalysator etc.) is reeds behandeld in 2.3.1.

#### *Verbeteren (of in stand houden) voertuigdynamica*

Voertuigdynamica kent twee aspecten: de wegligging en het comfort. Wegligging houdt zich bezig met de voertuigbewegingen in het vlak van de weg, comfort voornamelijk met de verticale bewegingen. Lichte voertuigen hebben voor de voertuigdynamica een aantal consequenties. Het verschil tussen leeggewicht en volgeladen gewicht is groter dan bij conventionele, zwaardere voertuigen. Ook kan de massaverdeling aanzienlijk veranderen. Door deze zaken verandert de handling van een voertuig aanzienlijk. Om dit op te vangen zal een passieve of actieve aanpassing moeten plaatsvinden. Door de modulaire bouwwijze van een HEV-aandrijflijn, en de plaatsingsvrijheid van accu's bij een BEV kan het zwaartepunt van het voertuig laag in het voertuig geplaatst worden. Dit is, indien dit niet gepaard gaat met massaverhoging, gunstig voor de wegligging. Op het gebied van wielen kan vermeld worden dat harde, zuinige banden in het algemeen slecht voor het comfort zijn, maar dit is op te vangen door betere wielop-

hangingen. Als de banden, velgen en wielophanging lichter worden, verlaagt dit het onafgeveerd gewicht. Dit is weer gunstig voor comfort en wegligging. Het gebruik van naafmotoren (zie Hoofdstuk 2.2.2) verhoogt het onafgeveerd gewicht echter. Het bijzondere bij het remmen bij een BEV of HEV is de mogelijkheid tot terugwinnen van de energie, het zogenaamde regeneratief remmen op de elektromotor. Toch is de verwachting dat dit aanwezigheid van wrijvingsremmen niet geheel overbodig zal maken. Voor veiligheid is een back-up gewenst, voor paniekstops (zeer hoge vermogens), voor als regeneratief remmen niet mogelijk is (bijv. omdat de accu vol is), hellingtrekken en bij snel afremmen bij zeer lage snelheden. Een aantal van deze situaties zijn ook met de elektromotor op te vangen, maar daarvoor is dan wel een speciale regeling en eventuele energietoever nodig.

#### *Actieve en passieve veiligheid*

Onder actieve veiligheid worden alle maatregelen aan het voertuig verstaan die dienen om ongelukken te vermijden. Passieve veiligheidsvoorzieningen dienen om bij een ongeval de nadelige gevolgen voor inzittenden en betrokkenen zoveel mogelijk te beperken. BEV's en HEV's zullen speciaal op het gebied van passieve veiligheid speciale aandacht behoeven. Op het gebied van het gedrag van batterijen bij ongevallen is nog niet veel bekend. Wel kunnen de veiligheidsaspecten van doorslaggevend belang zijn zoals bleek uit de stopzetting van de ontwikkeling van NaS-accu's wegens het brandgevaar van deze hoge temperatuursaccu's. Door de introductie van nieuwe, lichte materialen moet er vanaf het begin van het ontwerp rekening gehouden worden met het voldoende inbouwen van energie-absorberende voorzieningen. Ook de compatibiliteit (bij botsingen tussen grote, zware voertuigen en kleine, lichte) wordt onderzocht. Een voorbeeld is het bouwen van een uiterst stijve gordel om een kleine auto, waardoor deze als het ware de kreukelzone van de grotere botspartner gebruikt en zelf nauwelijks vervormd. Wel moeten dan aanvullende maatregelen getroffen worden om inzittenden voldoende gecontroleerd te vertragen (airbags, speciale gordels, etc.).

#### *Functie-integratie*

Door verschillende functies in één component te integreren is ook veel winst te behalen op het gebied van kosten, massa en eenvoud. Zo kan een generator in een serie-HEV ook als startmotor dienen, een DC-DC converter kan gebruikt worden om 12 V boordspanning te verkrijgen uit de hoofdaccu (geen 12 V accu meer nodig) en als laatste voorbeeld kan genoemd worden de integratie van het koelsysteem van verschillende componenten (elektromotor, verbrandingsmotor, generator, accu) en zelfs de integratie hiervan met de interieurverwarming.

### *Optimale keuze en dimensionering aandrijflijncomponenten BEV en HEV*

Bij het ontwerpen van BEV's of HEV's wordt onder andere gekeken naar:

- Wat is de geschiktheid van een bepaald concept voor verschillende voertuigen en toepassingen daarvan? Zo is een elektrische transeuropese vrachtwagen veel minder denkbaar dan een elektrische scooter. Een elektrisch stadsautootje heeft toekomst, een parallelhybride fiets niet. Dit zijn natuurlijk kwalitatieve uitspraken. Afhankelijk van de ritcyclus, voertuigparameters en een bepaald aandrijfconcept kan onder andere door simulaties (zie Hoofdstuk 2.3.3) een vergelijk worden gemaakt om de geschiktheid te bepalen.
- Wat is de geschiktheid van een bepaalde component voor verschillende voertuigen? Soorten accu's, vliegwielen, elektromotoren, verbrandingsmotoren etc. kunnen op basis van simulaties en systeemstudies worden geselecteerd.

### *Conclusies*

- Integraal voertuigontwerp is van levensbelang voor HEV's en BEV's.
- Veiligheidsaspecten voor HEV's en BEV's dienen speciale aandacht te krijgen, niet alleen door constructeurs, maar ook op het gebied van wetgeving door de overheid.
- Simulatiemodellen zijn een zeer bruikbaar gereedschap om in een pril stadium voorspellingen te doen over de geschiktheid van een bepaald aandrijfconcept voor een bepaalde toepassing. Resultaten zijn niet alleen van belang voor autofabrikanten, maar ook voor onderzoeksinstellingen en de overheid.

### **2.3.3 Simulatiemodellen**

Simulatiemodellen worden op het gebied van elektrische en hybride voertuigen ingezet voor twee doelen:

Ten eerste worden simulatiemodellen gebruikt als ontwikkelingsgereedschap voor nieuwe voertuigen. Om een optimaal voertuig te ontwikkelen moet vooraf een goed overwogen keuze worden gemaakt tussen de verschillende typen componenten, de te kiezen component-dimensies, en moet een regeling van energiestromen worden ontwikkeld. Hierbij zijn simulaties voorafgaand aan de ontwerpfase onmisbaar.

Daarnaast zijn simulatiemodellen nodig voor de bepaling van de prestaties van niet bestaande voertuigen. Omdat er nog weinig praktijkervaring bestaat met elektrische en hybride voertuigen, is het nodig om deze prestaties te "voorspellen" met modellen.

Deze uitkomsten worden ondermeer gebruikt ten behoeve van vergelijkende scenariostudies naar het toekomstpotentieel van verschillende voertuig- en aandrijflijntypen.

Bij TNO-WT zijn voor eenvoudige berekeningen verschillende spreadsheetmodellen beschikbaar. Voor meer gecompliceerde en diepgaande analyses is een dynamisch voertuigsimulatiemodel ontwikkeld. Dit model, genaamd TNO-ADVANCE (Automotive DriveLine ANalysis and Concept Evaluation), is modulair opgebouwd. Voor de verschillende typen componenten zijn modules ontwikkeld die softwarematig aan elkaar gekoppeld kunnen worden. Daardoor kan een schier oneindig aantal aandrijflijnen en voertuigen worden gesimuleerd. Als bron van inputgegevens en als validatie van computersimulaties is echter hands-on experience, in de vorm van metingen aan hybride aandrijflijnen en voertuigen en eigen ontwikkelingsactiviteiten, een essentiële voorwaarde.

Het belang van simulatie-modellen wordt onderstreept door de vele verschillende standaard-pakketten die op de markt zijn verschenen. Het grootste probleem van veel van deze modellen is dat ze slechts eindig te variëren zijn, en daarmee niet geschikt zijn als ontwikkelingstool.

Naast TNO-WT hebben ook Nedcar PD&E en de TU Eindhoven een voertuigsimulatiemodel.

## 2.4 Infrastructuur en laadapparatuur

### *Techniekomschrijving*

Onder infrastructuur/laders wordt de technologie verstaan die nodig is om de accu's van BEV's te laden op het moment dat (of voordat) zij leeg zijn. Hierbij gaat het om de toevoer van elektrische energie via het centrale elektriciteitsnet of anderszins en de overdracht van de toegevoerde elektrische energie naar de accu. Bij het laden kan in grote lijnen onderscheid worden gemaakt in snelladen en langzaamladen:

- Bij snelladen wordt de lege accu in een tijdsbestek van maximaal een uur (bij voorkeur veel korter) voor een belangrijk deel (bijv. 80 % of meer) opgeladen. Gezien de energie-inhoud van BEV accu's zijn hiervoor vermogens nodig in de orde van 20 kW tot 100 kW. De consequentie hiervan is dat, zeker bij particulieren, maar ook bij veel bedrijven, de bestaande infrastructuur niet geschikt is. Aanpassing hiervan is kostbaar omdat veelal nieuwe (ondergrondse) elektriciteitsleidingen moeten worden aangelegd.
- Bij langzaamladen wordt de accu in het algemeen gedurende de nacht opgeladen. Hiervoor is een periode van 8 uur of meer beschikbaar, zodat het benodigde vermogen beperkt is. In het algemeen is opladen mogelijk vanuit het huishoudelijk net met laders van beperkt vermogen, bijv. 2-3 kW per voertuig.

Het laden zelf gebeurt via conventionele (conductieve) kabelverbindingen of via een contactloze (inductieve) verbinding. Met inductieve vermogensoverdracht is

het in principe ook mogelijk om tijdens het rijden de accu op te laden (energie-toevoer in het wegdek).

De lader bestaat uit een min of meer conventionele gelijkrichter, met de nodige meet- en regeltechniek die is aangepast voor het te laden accutype. Om een lange levensduur van de accu te garanderen, worden aan de manier van laden vaak speciale eisen gesteld. Met name is dit het geval bij snelladen (noodzaak van nauwkeurige stopcriteria), mede om tot een acceptabel energierendement te komen (bij snelladen zijn de ohmse verliezen relatief groot).

De energievoorziening van een significant groot aantal elektrische voertuigen (bijv. 10-20 % van alle voertuigen) is mogelijk zonder ingrijpende infrastructuurele aanpassingen, mits het laden met langzaamaders ('s nachts) gebeurt. Ook het geïnstalleerde opwekkingsvermogen behoeft hiervoor niet wezenlijk te worden aangepast (het nachtverbruik is nu veel lager dan het dagverbruik). Uit berekeningen [SEP,1994] blijkt zelfs dat het (in Nederland) uit het oogpunt van rendement, emissies e.d. gunstig kan zijn om een groot aantal BEV's 's nachts te laden. In Frankrijk geldt dit nog sterker, omdat een groot deel van de elektrische energie wordt opgewekt in kerncentrales. Om deze reden wordt in Frankrijk de introductie van BEV's sterk bevorderd door belastingmaatregelen e.d..

Het installeren van grote aantallen snelladers (anders dan bij professionele bedrijven die reeds voldoende vermogen hebben geïnstalleerd) heeft niet alleen consequenties voor de distributie-infrastructuur, maar ook voor het in een gebied of land te installeren opwekkingsvermogen.

Met betrekking tot de infrastructuur voor HEV's (met inwendige verbrandingsmotor) kan gebruik worden gemaakt van de bestaande infrastructuur voor voertuigen met inwendige verbrandingsmotor. In het kader van dit hoofdstuk wordt hierop niet verder ingegaan.

Bij voertuigen met brandstofcellen hangen de infrastructuuraspecten sterk samen met het type brandstof:

- benzine/diesel: infrastructuur aanwezig;
- aardgas/methanol: infrastructuur niet aanwezig, doch wel onderwerp van studie (vooral in kader alternatieve brandstoffen voor inwendige verbrandingsmotor);
- waterstof: geen infrastructuur aanwezig en alleen mogelijk op lange termijn (waterstofeconomie) of voor niche toepassingen.

Zie ook Hoofdstuk 2.2.4 (Brandstofcellen en reformers).

In het onderstaande wordt verder alleen ingegaan op de infrastructuurele aspecten van BEV's (inclusief laders).

### *Stand van ontwikkeling [NAEVI96,1996]*

Alhoewel voor het langzaamladen de apparatuur reeds lang op de markt is (bijv. t.b.v. elektrische vorkheftrucks, startaccu's) en daardoor relatief goedkoop is, blijkt deze apparatuur alleen voor de reeds langer toegepaste typen accu's bruikbaar (lood-zwavelzuur, nikkel-cadmium). Voor andere typen accu's zijn aanpassingen nodig. De benodigde ontwikkelingen hiervoor zijn beperkt. Het is hierbij vooral belangrijk om, op basis van expertise betreffende de accu's, te komen tot een goede eenduidige formulering van de eisen die moeten worden gesteld aan de laadprocedures (t.b.v. een lange levensduur). Hierbij wordt vaak gesproken van "intelligente" laders. Een voorbeeld hiervan zijn de bij Norvik (Canada) in ontwikkeling zijnde laders. In Nederland houdt DDE zich hiermee bezig.

De apparatuur voor snelladen is nog volop in ontwikkeling. Ook hierbij is het belangrijkste probleem niet zozeer de elektrotechnische uitvoering als wel de vertaling van de door de accu gestelde eisen naar een goed werkende lader. Omdat bij snelladers het te leveren vermogen groot is, wordt hierbij o.a. aandacht besteed aan verdere ontwikkeling van goedkope vermogenselektronische componenten. Met betrekking tot inductieve laders zijn de ontwikkelingen nog in een beginstadium. De op deze wijze overdraagbare vermogens zijn nog relatief laag.

Met betrekking tot de infrastructuur van het net ten behoeve van het (op grote schaal) laden van BEV's worden veel studies uitgevoerd naar de geschiktheid en de capaciteit van het net voor het laden (in Nederland bijv. SEP/KEMA [SEP,1-994], alsmede naar de mogelijke effecten van laadapparatuur op de kwaliteit van de netspanning. In de VS wordt dit gedaan door de National Electric Vehicle Infrastructure Working Council (NEVIWC), samengesteld uit vertegenwoordigers van de autofabrikanten en leveranciers van elektrische energie [NAEVI96,1996]. De EVAA (Electric Vehicle Association of the Americas) en anderen houden zich bezig met vertaling hiervan naar de praktijk [Market Launch Manual,1995]. In Europa gebeurt dit eveneens, doch nog niet zo gecoördineerd als in de VS (verschillend per land). Doel van deze studiegroepen is vooral het doen van aanbevelingen voor standaarden en het dienen als forum voor het oplossen van problemen die te maken hebben met de infrastructuur. Voorbeelden van onderwerpen zijn: adapters, conductieve connectors, inductieve connectors, snelladen, elektrische veiligheid en load management van het distributienet e.d..

Weinig aandacht wordt nog besteed aan de verschillende aspecten die en rol spelen bij de inpassing van laadfaciliteiten in de openbare ruimte. Het gaat daarbij ondermeer om de volgende onderwerpen:

- mogelijkheden binnen bestaande ruimtelijke ordening voor het inrichten van laadinstallaties op die plaatsen waar veel BEV's zouden kunnen worden gebruikt of waar veel bezitters van BEV's wonen of werken. De belangrijkste toepassingen voor BEV's liggen in stedelijk verkeer, maar bewoners van



- binnensteden hebben maar zelden een eigen parkeerplaats voor de deur, waar eenvoudig een laadinrichting kan worden aangelegd;
- veiligheid voor de voertuiggebruiker en voor andere gebruikers van de openbare ruimte;
  - vandalismebestendigheid;
  - strategieën voor de aanleg van openbare laadfaciliteiten dan wel laadfaciliteiten op particulier terrein.

### *Trends*

Vanwege het gebruiksgemak is te voorzien dat de ontwikkeling van inductieve laders zich sterk voortzet. Voor alle typen laders zal de nodige aandacht (moe-ten) worden besteed aan normering van apparatuur, connectors e.d.. Ook de consequenties van toepassing van grote aantallen laders op de elektrische energievoorziening (introductie van storende pulsen op het net: netvervuiling) dienen meer aandacht te krijgen.

De mogelijkheid om met een beperkt geïnstalleerd vermogen toch te kunnen snelladen, wordt nog nauwelijks bestudeerd. Een voor de hand liggende mogelijkheid is het installeren van een tussenopslag, bijv. in de vorm van een (grote) accu, welke 's nachts wordt opgeladen en ten behoeve van het snelladen wordt ontladen (via de acculader van het voertuig). Uiteraard is een belangrijk aandachtspunt hierbij het elektrische rendement van deze tussenopslag, omdat bij een niet juiste dimensionering ervan het overall-energiegebruik van het voertuig, over de gehele energievoorzieningsketen gerekend, aanzienlijk (tientallen procenten) kan stijgen.

Ontwikkeling van inductieve laders in het wegdek vindt nog slechts beperkt plaats. Dit vereist aanpassing van de elektrische en de weginfrastructuur. Het heeft, o.a. uit praktisch en kostentechnisch oogpunt, alleen zin bij grootschalige invoering van BEV's en het afleggen van wat langere afstanden daarmee (d.w.z. op snelwegen). De eerstkomende tien tot twintig jaar is dit echter niet te verwachten.

Met betrekking tot de netinfrastructuur ligt het accent vooral op het op elkaar afstemmen en goed nagaan van de mogelijkheden van inpassing van laden in het net. In de VS gebeurt dit, zoals gezegd, gecoördineerd (NEVIWC). In Europa lijkt dit moeizamer tot stand te komen. Met name de KEMA houdt zich hiermee voor Nederland bezig en beschikt over meer gedetailleerde informatie over de huidige en toekomstige trends. In Europa speelt hierbij het CEN een belangrijke rol.

### *Toekomstige ontwikkelingen in Nederland*

Door DDE worden professionele laders ontwikkeld en gebouwd. Zij hebben o.a. een snellader ontwikkeld t.b.v. de elektrische VW Caravelle (ontwikkeld door Spijkstaal i.s.m. TNO) [Schillemans,1995]. Dit biedt een goede basis voor verdere ontwikkelingen op dit gebied. Hierbij dient vooral aandacht te worden besteed aan de ontwikkeling van laadprocedures die zorgen voor een hoog laadrendement in combinatie met een lange levensduur van de accu. Dit vereist een gezamenlijke aanpak van elektrotechnische (lader)experts en elektrochemische (accu)experts.

Verder zullen de consequenties t.a.v. netvervuiling bij grootschalige toepassing van laders en de maatregelen om dit te voorkomen nader dienen te worden onderzocht (zowel voor langzaam- als voor snelladers). Deze en andere aspecten (bijv. ontwikkeling van standaarden, veiligheidsvoorschriften e.d.) van inpassing van BEV's in de infrastructuur zullen in de nabije toekomst ook vanuit Nederland dienen te worden gevolgd/bestudeerd (bijv. KEMA).

### 3 Marktaspecten en actoren

#### 3.1 Marktaspecten

##### De kosten van elektrische en hybride voertuigen

Hoewel de kosten van aanschaf en gebruik bij de introductie van een nieuw voertuig een zeer belangrijke rol spelen, is hierover in het geval van BEV's en HEV's erg weinig met zekerheid te zeggen. In Hoofdstuk 2.1 en Appendix A worden prijzen genoemd waarvoor nu elektrische voertuigen te koop zijn. In het kader van de praktijkproef in Mendrisio wordt een groot aantal voertuigen te koop aangeboden. We zien daar dat de prijs van door kleine fabrikanten geleverde TPV's zoals de KEWET, de Microcar, de Ambra en de Erad Spacia uiteenlopen van Sfr. 33.000 tot Sfr. 44.000. Deze prijzen verschillen maar weinig van de prijzen waarvoor grotere en meer geavanceerde voertuigen zoals de Peugeot 106, de Citroën AX en de Renault Clio worden aangeboden (Sfr 35.550 tot Sfr 43.500). Aangezien voor beide typen fabrikanten de seriegroottes nauwelijks verschillen en de fabrikanten van TPV's hun voertuigen met enige winstmarge moeten aanbieden, kan het niet anders dan dat Peugeot en andere grote fabrikanten hun voertuigen tegen of onder de kostprijs aanbieden. Illusterend is ook dat de EV1, een volledig nieuw ontwikkeld voertuig met lichtgewicht body, state-of-the art componenten en zeer goede prestaties, door GM in de VS wordt aangeboden voor ongeveer dezelfde prijs als waarvoor Ford en Chrysler hun conversie pickups aanbieden (rond de \$ 33.000). Dit betekent dat de nu bekende prijzen geen indicatie geven van wat de huidige reële kosten van EV's zijn noch van wat voor de toekomst mag worden verwacht.

Het aantal studies naar de huidige en voor de toekomst verwachte kosten van BEV's en HEV's is beperkt, zeer waarschijnlijk als gevolg van het gebrek aan betrouwbare gegevens. In de literatuur wordt, vanwege de strategische waarde van deze gegevens, nauwelijks gepubliceerd over de kosten van componenten voor conventionele voertuigen, laat staan over de toekomstige kosten van componenten voor elektrische voertuigen. Alleen op het gebied van batterijen worden cijfers gepubliceerd over huidige en voor de toekomst verwachte kosten. Elektromotoren voor tractietoepassingen zijn nu, per kW nominaal vermogen, tot een factor tien duurder dan verbrandingsmotoren. Vergroting van productie-aantallen zal enerzijds tot aanzienlijke kostendaling leiden, maar anderzijds maakt verdere technische ontwikkeling voor toepassing in EV's dat de prijs altijd hoger zal zijn dan die van elektromotoren die nu in grote getale voor industriële toepassingen worden geproduceerd.

Tabel 5, o.a. gebaseerd op [Seiffert,1996], geeft een indicatie van de verwachte kostenontwikkeling voor tractiebatterijen:

Tabel 5: Kostenverwachting verschillende batterijtypen

| batterijtype        | kosten nu<br>[gld/kWh] | kosten toekomst<br>[gld/kWh] |
|---------------------|------------------------|------------------------------|
| Pb-zuur             | 350                    | 200-250                      |
| NiCd                | 600                    | 550                          |
| NiMH                | pilot                  | 300-700                      |
| NaNiCl <sub>2</sub> | pilot                  | 350                          |
| NaS                 | pilot                  | 350                          |
| Li-swing            | pilot                  | 500                          |

Belangrijk daarbij op te merken is dat de kosten van lood-zuurbatterijen een goede indicatie kunnen geven van de bottom line. Hoewel tractiebatterijen verschillen van starterbatterijen zijn de productieprocessen niet wezenlijk anders. Ook worden tractiebatterijen voor allerhande toepassingen al in grote hoeveelheden geproduceerd. In de huidige kosten van deze batterijen spelen materiaalkosten nauwelijks een rol. Dit betekent dat alle batterijtypen die een vergelijkbaar productieproces kennen in de toekomst niet wezenlijk goedkoper kunnen worden dan lood-zuurbatterijen. Alleen middels goedkopere productieprocessen kan een verdere reductie van aanschafkosten worden bereikt. De kosten van het gebruik van batterijen worden echter behalve door de aanschafkosten vooral door de levensduur van de batterij bepaald. Bij een verdubbeling van de levensduur t.o.v. lood-zuurbatterijen mag de aanschafprijs van een geavanceerde batterij dus twee keer zo hoog zijn. Binnen het USABC-consortium zijn doelstellingen geformuleerd voor energiedichtheid, vermogensdichtheid, levensduur en prijs van batterijen voor de korte, middellange en lange termijn (zie Tabel 6).

Tabel 6: USABC-doelstellingen voor batterij-ontwikkeling

|                    | energie-<br>dichtheid<br>[Wh/kg] | vermogens-<br>dichtheid<br>[W/kg] | levensduur<br>[cycli] | prijs<br>[\$/kWh] |
|--------------------|----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------|-------------------|
| USABC<br>Mid-Term  | 80                               | 150                               | 600                   | 150               |
| USABC<br>Long-Term | 200                              | 400                               | 1000                  | 100               |

Een redelijk, hoewel enigszins optimistisch beeld van de prijsontwikkelingen van overige componenten voor BEV's kan worden gevonden in [Calstart,1996].

In [Task Force,1996] worden cost targets gespecificeerd voor brandstofcellen. Voor 2010 wordt een prijs van minder dan 100 ECU per kW voor het gehele systeem (stack plus toebehoren) voor mogelijk gehouden. In hetzelfde artikel wordt voor elektrische machines van 30 kW inclusief controller een target van 800 ecu gesteld bij productie van 10000 units per jaar.

Als het gaat om de kosten van totale voertuigen dan geeft Tabel 7 uit [Harris,1996] een aardige indicatie van de huidige stand van zaken (zie ook Hoofdstuk 2.1 en Appendix A):

*Tabel 7: Indicatie van kosten van totale voertuigen*

| type voertuig                                            | prijs     |
|----------------------------------------------------------|-----------|
| fiets                                                    | \$ 1000   |
| carts, scooters                                          | \$ 3000   |
| City El, Kewet (=TPV's), industriële transportvoertuigen | \$ 15000  |
| heftrucks                                                | \$ 25000  |
| GM EV1                                                   | \$ 35000  |
| Honda EV, Toyota RAV4, Solectria                         | \$ 40000  |
| Chrysler Epic                                            | \$ 60000  |
| shuttle bus                                              | \$ 160000 |
| city bus                                                 | \$ 250000 |
| tram / light rail                                        | \$ 400000 |

Volkswagen [Pilorusso,1995] heeft voor een compacte elektrische personenwagen met loodbatterijen (geconverteerd ICE-voertuig) de invloed van het productie-aantal op de voertuigkosten als volgt ingeschat (Tabel 8):

Tabel 8: Voertuigkosten als functie van productie-aantal

| Jaarproductie EV's (stuks) | Kosten in procenten van kosten vergelijkbare ICEV |
|----------------------------|---------------------------------------------------|
| enkelstuks                 | 280                                               |
| 1000                       | 238                                               |
| 5000                       | 185                                               |
| 10000                      | 174                                               |
| 50000                      | 154                                               |
| 100000                     | 118                                               |

Een veelgehoorde schatting is dat het in de toekomst in principe mogelijk moet zijn om een BEV exclusief batterij te produceren tegen dezelfde of lagere kosten als een vergelijkbare ICEV.

Toyota mikt volgens [Ward's Automotive,1996] op een prijs van US \$ 22.700 voor aanschaf van een hybride voertuig bij een productie-aantal van 20.000 tot 30.000 per jaar, mogelijk reeds eind 1997. In hetzelfde artikel stelt Toyota dat de prijs van een BEV momenteel 3 x zo hoog is als van een vergelijkbaar benzinevoertuig.

Behalve door de kale kosten van componenten en voertuigassemblage worden de kosten voor de gebruiker bepaald door:

- BPM en BTW op de aanschaf van het voertuig
- afschrijving van de voertuigwaarde
- de levensduur van de batterij en de kosten van vervanging
- de kosten van energiegebruik, enerzijds bepaald door de efficiency van het voertuig en anderzijds door de kale kosten van energiedragers (inclusief de kosten van distributie en de omgeslagen kosten van infrastructuur) en de daarop geheven accijnzen
- motorrijtuigenbelasting
- de kosten van onderhoud en verzekeringen

In Nederland worden de kosten van het bezit en gebruik van een auto voor een groot deel bepaald door de geheven belastingen. De kansen voor succesvolle introductie van BEV's en HEV's worden dus in grote mate bepaald door het overheidsbeleid t.a.v. de voor deze voertuigen gehanteerde BPM, MRB en accijnzen.

Elektrisch aangedreven voertuigen op dit moment zijn vrijgesteld van MRB, afgezien van de zgn. infrastructuurbijdrage. Vanaf 1 juli 1997 zullen elektrisch aangedreven voertuigen ook worden vrijgesteld van BPM. Onder elektrische voertuigen worden in de wet voertuigen verstaan die zijn ingericht om hoofdzakelijk te worden aangedreven door een elektromotor. BEV's en serie-HEV's vallen onder deze definitie. Hoe zal worden omgegaan met parallel-HEV's is op dit moment nog onduidelijk.

Voor een aantal andere hierboven genoemde kosten kunnen op dit moment schattingen worden gegeven. Zo kunnen de batterijkosten als volgt worden afgeschat. Een lood-zuurbatterij van 20 kWh kost nu zo'n Dfl. 7000. Bij een levensduur van 500 cycli, 200 dagen rijden per jaar en een jaarkilometrage van 10000 km komen de kosten van de batterij op ordegrrootte 20 - 30 cent per kilometer. Dit op zich is al meer dan de brandstofkosten van  $\pm 15$  cent per kilometer die gelden voor een conventioneel voertuig met een verbruik van 7 à 8 liter per 100 km. De batterijkosten per kilometer hangen overigens sterk af van het gebruikte accutype, maar ook van het laadgedrag van de gebruiker. Een lood-zuurbatterij gaan het langst mee als deze steeds pas weer wordt opgeladen als de batterij (bijna) leeg is dan wel te leeg om de verwachte volgende rit mee uit te voeren. Onderzoek aan Ni-Cd batterijen geeft de laatste tijd overigens indicaties dat de levensduur van deze batterijen wel in termen van volledige cycli kan worden uitgedrukt en dat ondiepe cycli, bijv. als gevolg van opportunity charging, beduidend minder invloed hebben op het totaal aantal kilometers dat binnen de levensduur van de batterij gereden kan worden.

De energiekosten van een BEV zijn bij een verbruik van 300 Wh/km en een elektriciteitsstarief van 15 cent per kWh zo'n 5 cent per kilometer. De kosten van onderhoud van BEV's worden over het algemeen tot de helft lager geschat dan die van conventionele voertuigen.

Het heeft weinig zin om op deze plaats een meer gedetailleerd beeld te schetsen van de kosten van BEV's en HEV's. Naast de grote onzekerheid in batterijkosten wordt immers een belangrijk deel van de kosten bepaald door de afschrijvingskosten, welke een functie zijn van voertuigprijs, restwaarde en gehanteerde afschrijvingsmethodiek. Voertuigprijzen zijn op dit moment geen reële prijzen en zeer variabel, en restwaarden van elektrische voertuigen zijn niet in te schatten. Daar komt nog bij dat elektrische bedrijfsvoertuigen worden gezien als milieu-investering en daardoor versnelde afschrijving is toegestaan.

Behalve naar economische voor- of nadelen voor de consument dient ook gekeken te worden naar de economische effecten op de maatschappij als geheel. Een geforceerde introductie van dure BEV's of HEV's kan nadelig uitwerken op de winsten en werkgelegenheid in de auto-industrie maar kan tegelijkertijd ook nieuwe kansen bieden aan industrieën die niet direct gelieerd zijn aan de automobiellindustrie. Eén van de strategische doelen achter het Californische ZEV-

mandaat is het scheppen van kansen voor de daar sterk vertegenwoordigde high-tech militaire industrie die in de problemen is gekomen door bezuinigingen op de defensie-uitgaven van de federale overheid.

Anderzijds kunnen er door de vervanging van ICEV's door BEV's of HEV's ook economische besparingen optreden in de vorm van energiebesparingen en de kosten bespaard door verminderde milieu-aantasting. In de VS zou volgens de OECD \$ 5 miljard bespaard worden op oliekosten (waarvan ongeveer de helft geïmporteerd is), indien EV's 10% van het totaal aantal voertuigen zouden vervangen. Hierbij dienen overigens twee kanttekeningen te worden gemaakt. Andere studies hebben aangetoond dat de EV vaak als tweede of derde auto zal worden ingezet zodat er geen sprake is van substitutie. Ten tweede is de situatie in Nederland en Europa anders door de andere energiemix en door andere politieke en strategische denkbeelden.

### Incentives

Om de introductie van BEV's en HEV's te bespoedigen kunnen er verschillende financiële en andere prikkels worden gegeven:

Het gebruik van schone en zuinige voertuigen kan voor de consument aantrekkelijker worden gemaakt door ondermeer:

- verlaging of afschaffing van aanschafbelasting (in Nederland de BPM), dan wel een subsidie op de aanschafprijs. Op de in Hoofdstuk 2 genoemde leaseprijs van de GM EV 1 is een federale tax credit van 10% met een maximum van \$ 4000 van toepassing, aangevuld met een per staat verschillende financiële bijdrage tot maximum \$ 5000. Ook bij de Zwitserse proef in Mendrisio wordt gewerkt met federale en lokale subsidies die in dat geval nog afhangen van het energiegebruik van het voertuig;
- verlaging of vrijstelling van de MRB voor BEV's en HEV's. In Nederland is dit reeds het geval;
- lage of geen accijns op schone brandstoffen en elektriciteit;
- verhoging van de kosten van ICEV's door een verhoging van de BPM of MRB voor vervuilende voertuigen of verhoging van accijns dan wel toevoegen van een CO<sub>2</sub>-tax op fossiele brandstoffen;
- afsluiting van binnensteden voor alle voertuigen behalve voertuigen die emissievrij kunnen rijden;
- gereserveerde of goedkopere parkeerplaatsen voor EV's;
- aanbieden van oplaadinfrastructuur.

Met name op het gebied van infrastructuur bestaat er een soort kip-ei situatie. In grote steden met veel hoogbouw is het voor bezitters van BEV's niet mogelijk om de batterij te laden op eigen terrein aan een eigen netaansluiting. De mogelijkheden daartoe zijn beter in ruimer opgezette buitenwijken rond de stad of in



satelliet-gemeenten. In de grote steden is (min of meer) openbare laadinfrastructuur nodig om het gebruik van EV's mogelijk te maken. Investeringskosten hierin zullen in eerste instantie gesubsidieerd moeten zijn omdat de hoge kosten anders over een gering aantal afgenomen kWh moeten worden omgeslagen.

Ook de industrie kan gestimuleerd worden om de introductie van BEV's en HEV's te bespoedigen. Een algemeen gebruikte vorm van stimulering is de subsidiëring door de overheid van R&D op dit gebied. Dit gebeurt in de VS o.a. via het PNGV-programma. In Europa is hiervoor door de EU de Taskforce Car of Tomorrow in het leven geroepen. Dwangmaatregelen zijn echter ook denkbaar, zoals het Californische ZEV-mandaat dat eist dat de verkopen van grote aanbieders van auto's in die staat in 2001 voor 5% uit ZEV's bestaan en in 2003 zelfs voor 10%.

Overigens geldt natuurlijk dat op de lange termijn bij grotere productie-aantallen de kale kostprijs, het energiegebruik en de onderhoudskosten van BEV's en HEV's zodanig dienen te zijn, dat ze bij een voor de staat t.o.v. de huidige situatie budgettair neutraal totaal aan geheven belastingen voor de gebruiker interessant blijven.

### **EV's in alternatieve transportsystemen**

Eén van de problemen van het huidige systeem van particulier autobezit is dat consumenten wel gevoelig zijn voor variaties in de vaste kosten, maar nauwelijks voor variaties in de variabele kosten van autogebruik. Verhoging van de accijns op brandstoffen heeft daardoor een marginaal effect op het autobezit en gebruik. Dit geldt in nog extremere mate voor bestuurders van lease-auto's voor wie de variabele kosten nagenoeg onzichtbaar zijn. De overheid streeft naar een rationeler gebruik van auto's door consumenten. Een instrument daarbij is het stimuleren van vormen van autodelen. Hiervoor zijn verschillende organisatievormen denkbaar, uiteenlopend van commerciële autoverhuur via call-a-car tot gedeeld autobezit door groepen particulieren. Bij deze vormen van autobezit kunnen de vaste kosten worden omgeslagen over het gebruik, gemeten in bijv. gebruikstijd of gereden kilometers. Hierdoor worden de door de gebruiker waargenomen vaste kosten lager en de variabele kosten hoger, hetgeen zal aanzetten tot meer rationele keuzes t.a.v. het gebruik van de auto in het algemeen en van verschillende types in het bijzonder. Elektrische auto's kunnen gemakkelijk in de vloot van dergelijke autodeelorganisaties worden ondergebracht zonder dat de gebruikers worden afgeschrikt door de hoge initiële kosten. Op deze manier kunnen consumenten van een BEV gebruik maken voor kortere ritten in stedelijk gebied terwijl zij voor langere ritten toch over een conventioneel voertuig zonder actieradiusbeperkingen kunnen beschikken. Zo wordt ook de kans vermindert dat de introductie van EV's leidt tot een toename van het tweede-autobezit.

Andere alternatieve transportconcepten die nu worden getest of onderzocht zijn bijvoorbeeld het Amerikaanse stationcarconcept en het in Oostenrijk ontwikkelde EV&Ride, beide Park&Ride-achtige concepten waarin EV's worden gebruikt voor vervoer van en naar een knooppunt van collectief vervoer.

Ook wordt er momenteel gewerkt aan moderne versies van het oude Witkarconcept. Interessante voorbeelden zijn het Franse TULIP-project, waarin Peugeot participeert, en het eveneens Franse Praxitèle, waarin Renault meewerkt.

Al deze systemen kunnen helpen om consumenten vertrouwd te maken met het gebruik van elektrische voertuigen, en creëren marktniches waarin EV's op enige schaal kunnen worden ingezet. Dit leidt uiteindelijk tot technische wasdom en bovenal prijsdaling die de weg vrijmaakt voor meer grootschalige inzet.

### **Marktpotentieel**

T.a.v. het marktpotentieel voor BEV's zijn de schattingen, zoals die rond 1990 / 1992 zijn gemaakt, in de afgelopen tijd naar beneden bijgesteld. Veelal werd het zgn. technisch marktpotentieel bepaald, zijnde het aantal consumenten dat in principe op basis van een aantal objectieve criteria redelijkerwijs met een EV in de eigen vervoersbehoefte zou kunnen voorzien. In zijn meest simpele vorm werd dit potentieel gebaseerd op een inschatting van het aantal automobilisten dat gemiddeld per dag minder rijdt dan de actieradius van een EV. Dit aantal loopt, zeker in stedelijke gebied in de tientallen procenten (volgens [van Hiltten, 1992] meer dan 50% in de binnenstad van Amsterdam). Inmiddels is, zowel in Nederland als uit studies in andere landen, echter wel duidelijk geworden dat veel meer gekeken moet worden naar het totale verplaatsingsgedrag van autobezitters, en dat ook veel nadrukkelijker rekening moet worden gehouden met de beperkte mogelijkheden om in stedelijke gebieden goedkope en veilige oplaadinfrastructuur te realiseren. Wanneer tevens rekening wordt gehouden met voertuigkosten, met de perceptie daarvan door de autobezitter en met andere minder rationele aspecten van consumentenattitudes t.o.v. auto's, dan blijft van de geschatte technische potentiëlen weinig over.

De huidige ideeën omtrent inzet van BEV's richten zich meer op toepassing in professionele fleets en andere niche-toepassingen (o.m. zoals hierboven beschreven onder "EV's in alternatieve transportsystemen"). In Nederland is de overheid erg huiverig voor de toepassing van elektrische auto's als tweede of derde auto. In andere landen zoals Frankrijk en de VS wordt wel duidelijk op dit segment gemikt. Voor Zwitserland wordt een uiteindelijk te realiseren marktaandeel van 8 tot 10 % als doelstelling gehanteerd, waarbij wel wordt uitgegaan van vervanging van bestaande auto's.

### 3.2 Consument

Waarom zou de consument in een BEV/HEV gaan rijden? Daarvoor moet allereerst aan een aantal minimeisen voldaan zijn, de klanteisen [Jaggi,1996]:

#### *Lage gebruiks- en aanschafkosten*

Hoewel een EV het potentieel heeft om de gebruikskosten te verlagen in vergelijking met conventionele voertuigen, is de aanschafprijs in het algemeen hoger. In de praktijk wordt, vooral door de particuliere koper, voornamelijk naar de aanschafprijs gekeken.

#### *Voldoende prestaties*

Hier is de ICEV het referentievoertuig. Voor de consument zijn er twee herkenbare mijlpalen: de topsnelheid en de acceleratietijd van 0 tot 100 km/h. Tot nu toe heeft een BEV vrijwel altijd een lagere topsnelheid dan een vergelijkbare ICEV, omdat de totale aandrijflijn een lager specifiek vermogen heeft (kW/kg) (Peugeot 106 ICE: 160km/h, Peugeot 106 Elektrisch: 93 km/h). Er wordt dus vaak een lager vermogende EM gebruikt in vergelijking met een ICEV. De GM EV1, een purpose designed BEV, zou profijt kunnen hebben van zijn veel lagere rol- en luchtweerstand maar hier is de topsnelheid elektronisch begrensd tot 128 km/h. Bij een HEV kan in principe een aandrijflijn gemonteerd worden met een hoger specifiek vermogen dan van een BEV waardoor de topsnelheid veel meer vergelijkbaar is met die van een ICEV. Hierbij moet nog worden opgemerkt dat een nieuw verschijnsel optreedt bij een serie-HEV. De continue haalbare topsnelheid wordt bepaald door het vermogen van de verbrandingsmotor. De maximum bereikbare snelheid wordt bepaald door het maximum vermogen van de elektromotor, die dan gevoed wordt door verbrandingsmotor en accu. Dit gaat zo lang goed totdat de accu leeg raakt. De acceleratie bij lage snelheden is bij EV's in principe redelijk gunstig door het hoge koppel bij lage toeren, hetgeen schakelen overbodig maakt. Wel heeft de toegenomen voertuigmassa hier een negatieve invloed. Een HEV is in dit opzicht door zijn geringere batterijmassa in het voordeel. Extra winst valt te halen door de elektromotor tijdelijk over te belasten. Samengevat kan gezegd worden dat de prestaties van een BEV wat achterblijven, voornamelijk door het hoge accugewicht. HEV's kunnen in het algemeen ICEV-vergelijkbare prestaties leveren. In het dagelijks gebruik zullen de prestaties van BEV's een stuk minder onderdoen voor ICEV's.

#### *Goede inzetbaarheid en bruikbaarheid*

Het grote probleem van BEV's op dit moment is de kleine actieradius. Hoewel een groot deel van de dagelijks gereden afstand onder de 50 km ligt, heeft de consument last van het "dead battery syndrome", het stranden met een lege accu. Hier is de HEV weer in het voordeel door de actieradius die vergelijkbaar is met die van een ICEV. Ook een probleem op dit moment is het deels ontbreken van een laadinfrastructuur. Het nachtladen zou thuis kunnen plaatsvinden maar voor snelladen zijn aangepaste batterijen en speciale voorzieningen aan stations nodig

(zie Hoofdstuk 2.4). Door het hogere gewicht en het grote accupakket bij BEV's is de toelaatbare belading en de beschikbare binnen- en bagageruimte veelal minder. Verder zijn de inzetbaarheid en bruikbaarheid vergelijkbaar met ICEV's.

#### *Eenvoudige bediening, hoog comfort*

Een BEV en een serie-HEV kunnen bij geschikte keuze van de elektromotor (groot bruikbaar toerenbereik) zonder versnellingsbak uit de voeten. Het koppingspedaal vervalt dan en het bedieningscomfort is vergelijkbaar met die van een ICEV met automaat. Een parallel-HEV heeft meestal nog wel een transmissie nodig door de mechanische koppeling tussen verbrandingsmotor en wielen. Deze is echter te automatiseren (tegen hogere kosten, complexiteit en massa). Het is wenselijk om chauffeurs een korte gebruikstraining m.b.t. elektrisch rijden. Daarbij gaat het met name om het aanleren van een rijstijl die optimaal gebruik maakt van de mogelijkheid tot regeneratief remmen. Dit kan de actieradius sterk vergroten. De rest van de bediening is vergelijkbaar met die van een ICEV. De complexe bediening en aansturing van de aandrijflijn zal door het voertuig worden verzorgd. Wel bestaat de mogelijkheid om de regeling van een aantal door de chauffeur te kiezen keuzestanden te voorzien. Zo kan er een ZEV-knop ingebouwd worden in een serie-HEV voor emissievrij rijden met afgeschakelde verbrandingsmotor, of een high performance knop.

#### *Hoge betrouwbaarheid, weinig onderhoud*

In principe is de betrouwbaarheid een functie van de kwaliteit van componenten en hun samenhang. Een BEV heeft in principe minder componenten die kapot kunnen gaan, maar door de nieuwe technologie zijn er kinderziektes. Hierdoor zullen sommige mensen liever afwachten totdat BEV's bewezen hebben goed en betrouwbaar te functioneren. Enquêtes [TNO,1997] hebben uitgewezen dat BEV's in Nederland soms problemen opleveren in verband met onvoldoende onderhoud. Importeurs verkochten wel voertuigen, maar keken er vervolgens niet meer naar om, mede ingegeven door het ook voor hen onbekende karakter van de nieuwe technologie. Dit zal duidelijk moeten worden verbeterd. Grootschalige demonstratieprojecten kunnen helpen het imago van elektrische vervoer te verbeteren.

#### *Emotioneel positieve binding*

Dit aspect wordt vaak over het hoofd gezien door zijn wat ongrijpbare karakter. Toch is dit, vooral bij auto's, een van de belangrijkste aankoopargumenten. Hier is op het gebied van BEV's en HEV's nog erg weinig te zeggen. Hier spelen zaken een rol als bijvoorbeeld de vermeende overeenkomst van kleine (elektrische) stadsautootjes met gehandicaptenwagentjes. Duidelijk is dat de styling en de marktpositionering een belangrijke rol gaan spelen. Waarschijnlijk is het daarom een geen onverstandige zet dat de eerste dedicated BEV in productie, de GM EV1, als sportwagen geïntroduceerd is.

Bovenstaande overwegingen gelden t.a.v. de introductie van EV's in de particuliere markt. Voor professionele gebruikers ziet het eisenpakket er op een aantal punten anders uit. Er wordt veel meer geoordeeld vanuit een rationeel kostenperspectief (gebruikskosten worden eerlijk meegewogen). Imago en styling hebben een niet zo grote invloed (uitgezonderd voor de zakenauto) op de keuze tussen EV's en ICEV's. Ook wordt veel meer gekeken naar levensduur, kosten van onderhoud (eventueel zelf in de eigen werkplaats uit te voeren) en betrouwbaarheid.

Zoals reeds in Hoofdstuk 3.1 besproken, kunnen een aantal maatregelen van de overheid beslissingen van particuliere en professionele gebruikers om een EV aan te schaffen stimuleren. Te denken valt aan belastingvoordelen, invoering van emissie-vrije zones in binnensteden, het opleggen van incentives en het geven van bepaalde privileges (parkeerplaatsen etc.). Voor meer info zie Hoofdstuk 3.1.

### 3.3 Industrie

#### *Inleiding*

De term OEM (Original Equipment Manufacturers) wordt gebruikt voor motoren- en voertuigfabrikanten. De diverse activiteiten van de industrie zijn veelal in samenwerking met andere industriële partners (o.a. toeleveranciers), researchinstellingen en universiteiten. In het bijzonder in de USA wordt door OEM's ook veel samengewerkt met departementen (DOE, DoD) en de diverse laboratoria van DOE.

Hierdoor is het niet altijd mogelijk een duidelijke scheiding aan te brengen tussen de activiteiten van de industrie, de overheid en onderzoeksinstellingen.

#### **OEM activiteiten in Nederland**

Belangrijke OEM's in Nederland zijn DAF en NedCar. Van DAF Trucks is niet bekend dat zij momenteel actief zijn in lopende projecten op het gebied van BEV's/HEV's. Wel wordt door DAF SP gewerkt aan een potentieel hybride project (All Electric Vehicle voor Defensie). NedCar is betrokken in HOV Eindhoven (o.a. hybride aandrijving van gelede voertuigen voor openbaar vervoer) en het VDT EET project met mechanisch hybride aandrijving van personenwagens. DAF BUS is wel betrokken bij projecten op het gebied van hybride aandrijving voor bussen. VDT is mede-eigenaar van de door CCM ontwikkelde vliegwielttechnologie, welke op dit moment, in het kader van het SSZ-programma, wordt ingezet bij de realisatie van een hybride elektrische stadsbus.

### **OEM activiteiten in Europa (personenwagens)**

Een groot aantal Europese OEM's zijn betrokken bij Brite-Euram en JOULE voorstellen en projecten. Te noemen zijn:

- Het BRITE/EURAM 2 project "European hybrid technology development approaching efficiënt zero emission mobility".  
Contractors zijn o.a. BMW (prime contractor), AVL, Fiat, PSA, VW, Rover, Volvo, Inrets, Ricardo, Daimler Benz en Renault.
- Het BRITE/EURAM 3 project "Research on new technologies for flywheel electromechanical storage systems" samen met o.a. BMW, Fiat, Ansaldo en IKA.
- Het BRITE/EURAM 3 project "Internal combustion auxiliary power unit for integration in electrically propelled vehicles" o.a. Fiat (prime contractor), Renault en Siemens;
- FEUER project (PEFC) met o.m. Renault, Ansaldo en DeNora;
- HYDRO-GEN project (PEFC) met PSA, Renault, e.a.;
- CAPRI project (PEFC en reformer) met Volkswagen, ECN en Johnson Matthey.

**BMW** is actief op het terrein van BEV's, HEV's en vliegwheels. BMW is de laatste jaren met verschillende prototypen BEV's naar buiten gekomen (E1, E2, E3), en omgebouwde elektrische en hybride versies van de 3-serie. Toepassing van NaS batterijen is uitgebreid getest, doch ondermeer ten gevolge van een uitlaande brand gestopt.

Ook **Fiat** verricht ontwikkelingen op het terrein van BEV's, HEV's en vliegwheels. Fiat heeft veel elektrische voertuigen geproduceerd, de laatste jaren veelal op basis van de Panda en de Cinquecento (veel aandrijftechniek van Steyr-Puch). Beide voertuigen zijn vanwege de lage voertuigkosten populaire platforms voor ombouw tot elektrisch voertuigen door derden (ondermeer LARAG). Fiat is tevens betrokken geweest bij de ontwikkeling van elektrische bestelvoertuigen en midibusjes.

**Mercedes Benz** is actief op het gebied van voertuigen met (Ballard) brandstofcellen (NECAR project). Daimler Benz is subcontractor van het JOULE project "Concept evaluation of low cost lithium polymer battery system for electric vehicles". Mercedes heeft 10 onafhankelijke afdelingen die zich bezighouden met BEV's/HEV's. Elektrische prototypen omvatten de Smart, de Mercedes A-klasse, twee personenauto's met hybride aandrijving, de hybride Unimog, elektrische bestelbussen en elektrische stadsbussen.

**PSA** (Peugeot en Citroën) legde in het recente verleden grote nadruk op BEV's maar is recentelijk ook zeer actief op het gebied van HEV's.

De elektrische Citroën Saxo en Peugeot 106 worden weldra in grote serie gemaakt. De aandrijflijn is uitgebreid getest in La Rochelle. Op de AutoRai '97 was een serie-hybride Peugeot 406 met gasturbine te zien.

**Renault** ontwikkelt zowel BEV's als HEV's. Vanaf 1995 bouwt Renault de elektrische Expresse op de productielijn van de conventionele expresse. Op bepaalde plaatsen wordt het voertuig van de band genomen en weer ingevoegd voor speciale montage. Naast de Expresse heeft Renault nog een elektrische Clio en diverse busjes ontwikkeld. Interessante prototypen die zijn gemaakt zijn de Next (hybride met verbrandingsmotor), de V.E.R.T. (gasturbine-hybride Espace) en de Modus (modulair opgebouwd met diverse aandrijfmogelijkheden).

**Volkswagen** (incl. Audi, Skoda en Seat) heeft verschillende generaties elektrische Golfs in behoorlijk grote aantalen gebouwd ("Citystromer"). Deze zijn ondermeer uitvoerig getest in een samenwerkingsverband met RWE. Daarnaast heeft in Zürich een praktijktest plaatsgevonden met 12 diesel-hybride voertuigen met een 6 kW elektromotor die ingebouwd is in het vliegwiel. Audi heeft al verschillende generaties Avants gemaakt met parallel hybride aandrijving (Verbrandingsmotor op vooras, elektromotor op achteras) en zal binnenkort de laatste versie, op basis van de A4 DUO III, in productie nemen. Skoda maakt diverse elektrische voertuigen al betreft het hier niet de personenwagen-tak die onder het Volkswagen-concern valt.

**Volvo** heeft een mooi prototype HEV gebouwd met gasturbine (ECC concept car). Er wordt gezegd dat binnenkort ook een versie met verbrandingsmotor wordt gebouwd.

#### **OEM activiteiten Europa (bussen en trucks)**

**Iveco** en dochter **ALTRA** zijn actief op het terrein van kleinere batterij-elektrische bussen en grotere hybride bussen met diesel en aardgas als brandstoffen. Iveco is momenteel een van de grootste leveranciers van hybride bussen (diesel) in Europa. Iveco/Altra heeft reeds 20-30 bussen gebouwd. Momenteel zijn er 50 in bestelling. Men streeft naar een jaarlijkse omzet van 100 bussen. Altra was de prime contractor van het JOULE "CNG/hybride bus project", uitgevoerd met TNO en Citélec.

**MAN** is actief met diesel-elektrische aandrijving van bussen en heeft een parallel hybride distributie-truck (prototype) ontwikkeld.

**Mercedes Benz** is onder andere bezig met een hybride Unimog. Ook is een prototype ontwikkeld van een parallel hybride distributie-truck.

**Neoplan** is momenteel de grootste leverancier van hybride bussen (diesel) in Europa. Er bestaan nu plannen om ook aardgas-hybride bussen te gaan bouwen.

**Scania** heeft samen met ondermeer Thoreb, Saab en de universiteit van Lund 6 hybride bussen gebouwd voor Stockholm. Als APU wordt een 2,3 liter Saab (otto)motor gebruikt die op ethanol draait.

**Volvo** heeft in het recente verleden een concepttruck (ECT) en een conceptbus (ECB) gebouwd, beide met gasturbine. Daarnaast is eind tachtiger jaren uitgebreid geëxperimenteerd met remenergie-recuperatiesystemen ("Cumulo"), die in de praktijk niet efficiënt bleken.

#### **OEM activiteiten in Noord Amerika (personenwagens en lichte trucks)**

**General Motors**, inclusief Saturn, is de fabrikant van de eerste op grote schaal te produceren purpose design BEV, de EV1. Als lichte truck is de S10 als proto bekend.

**Ford** zal op korte termijn de Ranger als BEV op de markt aanbieden. Als proto hebben ze onder andere de Synergy 2010 hybride.

**Chrysler** heeft nog geen duidelijkheid gegeven over wat zij op de markt zal brengen. Wel zijn de EPIC (BEV) en de Intrepid (HEV) als prototype cq. concept car bekend gemaakt. Recentelijk is ook gemeld dat Chrysler werkt aan een benzine-reformer voor FCEV's.

Bijzonder veel werk op het terrein van hybride voertuigen van de "Big Three" (GM, Ford en Chrysler) wordt onder coördinatie van het PNGV programma uitgevoerd (waarover meer verderop in dit hoofdstuk).

#### **OEM activiteiten in Noord Amerika (bussen en trucks)**

In de VS is een groot aantal bedrijven actief op dit gebied. Voor een recent overzicht zie [Clean,1997]. Hieronder zijn enige voorbeelden van OEM's gegeven:

**Blue Bird** is de grootste fabrikant van bussen in de US en levert reeds batterij-elektrische bussen op enige schaal, waaronder schoolbussen die aan zeer scherpe veiligheidseisen moeten voldoen. Ook wordt gewerkt aan hybride bussen.

**Northrop Grumman** ontwikkelt voor Los Angeles de ATTB (Advanced Technology Transit Bus), een hybride bus met lichtgewicht constructie.



**Orion Bus Industries** is de grootste leverancier van bussen (waaronder BEV's) in Canada. Ook wordt gewerkt aan hybride bussen. Een lage-vloer hybride bus wordt getest in New York.

### **OEM activiteiten in Azië (personenwagens)**

In Japan rijden in het kader van praktijktesten en demonstratieprojecten veel door de Japanse industrie ontwikkelde elektrische voertuigen rond. Deze zijn echter veelal niet te verkrijgen in Europa of de VS. Voorlopers m.b.t. het aanbieden van voertuigen in het Westen zijn **Toyota** (RAV 4 EV) en **Honda** (EV Plus). Beide werken aan BEV's, die nog dit jaar op de Japanse en Amerikaanse markt geïntroduceerd zullen worden, voorlopig in kleinere aantallen om de markt te testen. De overige Aziatische OEM's zoals Daewoo, Daihatsu, Hyundai, Kia, Mazda, Mitsubishi en Nissan lopen iets achter. Toyota heeft in december 1996 ook aangekondigd nog in 1997 met een hybride voertuig op de markt te komen.

### **OEM activiteiten in Azië (bussen en trucks)**

Van **Hino** is bekend dat zij een grote hoeveelheid hybride bussen hebben gebouwd (parallel en serie). Hierover is echter weinig materiaal gepubliceerd.

### *Trends*

De auto-industrie wereldwijd heeft de druk van de overheid en de markt onderkend en investeert sinds enige jaren weer sterk in de ontwikkeling van duurzamer transport. De Californische wetgeving speelt daarin een belangrijke rol, doch ook vanuit Europa en Japan zijn er sterke incentives richting industrie. In het algemeen zijn de volgende trends tot 2000 in de auto-industrie waar te nemen [Bromby,1995]:

- *emissies/energie*: energiebesparing en vermindering (lokale) emissies door elektrische en hybride aandrijving in combinatie met lichtgewicht construeren en recuperatie van remenergie. Opvallend verschil tussen Europa en de VS is dat in de VS de belangrijkste drijfveer vermindering van de afhankelijkheid van olie-import is. De sponsoring van de overheden (in het bijzonder de VS) richt zich het sterkst op elektrische en hybride aandrijving;
- *congestie*: integratie voertuig en weg (navigatie), communicatie- en transportinfrastructuur, mens-machine interface;
- *afdeling/recycling*: compatibiliteit van materialen, design for disassembly, gebruik van gerecycleerd materiaal;
- *veiligheid*: verbetering van actieve en passieve veiligheid;
- *refinement*: comfort, gebruikersgemak, geluidsreductie met minder massa.

### *Conclusie*

Gezien de totale huidige R&D inspanning wereldwijd (overheid en industrie) is de discussie niet of elektrische en hybride voertuigen er zullen komen maar nog slechts wanneer. De eerste elektrische voertuigen verschijnen reeds op de (buitenlandse) markt. Toyota en Audi lijken de eerste te zijn om een hybride voertuig te leveren (1997).

### **Overzicht samenwerkingsverbanden, R&D programma's en organisaties**

#### *Wereld*

**ALABC** (Advanced Lead-Acid Battery Consortium) is een samenwerkingsverband van 48 leden, waarvan 20 batterij fabrikanten, 18 loodproducenten en verder toeleveranciers. Budget \$ 20 miljoen in 4 jaar, waarvan \$ 2 miljoen van US DoT, \$ 2,1 miljoen van de EU en een onbekend bedrag van de Australische overheid.

**IEA:** Binnen de IEA is de Implementing Agreement on "Electric Vehicles" omgevormd tot "Electric and Hybrid Vehicles". Italië is voorzitter (Nederland co-chairman). Canada zal een nieuwe Annex met betrekking tot State-of-Art Hybride voertuigen starten. TNO is gevraagd hierin deel te nemen voor het Europese aandeel.

**ULSAB** (UltraLight Steel Auto Body) is een samenwerkingsverband van meer dan 30 staalproducenten in de wereld met als doel de ontwikkeling van een lichte en goedkoop te produceren body. Verwacht wordt een gewichtsreductie van 25%, 132% stijfheid en \$ 154 lagere productiekosten.

**WEVA** (World Electric Vehicle Association) is de wereldwijde organisatie voor de promotie van elektrische voertuigen. In hoeverre ook hybride voertuigen daarbij zijn inbegrepen is niet duidelijk.

Dochters zijn **EVAA** (Electric Vehicle Association of the Americas) in Amerika, **EVAAP** (Electric Vehicle Association of Asia Pacific) en **VERE** in Europa. De Nederlandse tak van **VERE** is **ASNE** (**VERE** Sectie Nederland). Deze laatste twee zijn duidelijk minder actief dan de EVAA.

#### *Amerika*

**EVAA** (Electric Vehicle Association of the Americas) is een organisatie van overheid en industrie met als doel promotie en kennisuitwisseling ten behoeve van EV's.

**CALSTART** en **SCAT** zijn in principe internationaal doch in hoofdzaak in de VS opererende organisaties vergelijkbaar met EVAA.

**PNGV** (Partnership for a New Generation of Vehicles) is een samenwerkingsverband tussen Chrysler, Ford, General Motors en de federale overheid (11 government agencies) van de VS. De nadruk ligt op energiebesparing (doelstelling 80 mpg) middels hybride aandrijving in combinatie met lichtgewicht construeren en recuperatie van remenergie. Budget in de orde van circa \$ 300 miljoen over 4 jaar.

**USABC** (US Advanced Battery Consortium) is een samenwerkingsverband tussen de "Big Three" en diverse batterijfabrikanten.

**USCAR** is een samenwerkingsverband tussen de "Big Three".

### *Europa*

**ACEA/EUCAR** is een samenwerkingsverband van de Europese autofabrikanten. Projecten worden veelal in het vierde kaderprogramma van de EU uitgevoerd in wisselende combinaties. Zie OEM's in Europa.

**AVERE** is de Europese tak van WEVA. Zie onder WEVA.

**Citelec** is een vereniging van Europese steden die elektrische vervoermiddelen promoten, onder aanvoering van Prof. G. Maggetto van de VUB in Brussel.

EU vierde kaderprogramma inhoudende: **JOULE** voor fundamenteel onderzoek, **Brite Euram** voor ontwikkeling van o.a. voertuigen, componenten en productieprocessen, **Thermie** voor demonstratieprojecten, **Transport** voor onderzoek op het terrein van logistiek en verkeer en vervoer. De **Taskforce Car of Tomorrow** heeft geen eigen budget maar doet een poging tot coördinatie van door de EU gefinancierd onderzoek op het terrein van EV's met de nadruk op HEV's. Mogelijk komt er in het vijfde kaderprogramma wel een eigen budget.

**EUREKA** is een breed technologie programma, supranationaal opgezet om internationale samenwerking te bevorderen maar met nationale subsidiëring.

### *Afzonderlijke landen in Europa*

Verder kennen de meeste landen in Europa instanties, die min of meer los van de betrokken departementen, onderzoek coördineren en/of sponsoren. De meest bekende zijn: in Duitsland **BMFT** en **UBA**, in Engeland **ETSU**, in Frankrijk

**ADEME en GIVE, in Italië ENEA, in Nederland ASNE en NOVEM, in Zweden Nutek en KFB.**

#### *Azië*

LEVO is een Japanse organisatie. Preciese activiteiten zijn onbekend. Zal mogelijk deelnemen aan IEA studie naar state-of-the-art hybride voertuigen.

### **3.4 Overheid**

De rol van de overheid in de diverse landen loopt sterk uiteen. Dit betreft zaken als sponsoring, regie van R&D, demonstratie en promotie, informatieverspreiding, standaardisatie, richtlijnen en meetprocedures en flankerend beleid. Drijfveren en het commitment van de desbetreffende overheid bepalen in hoge mate invulling alsmede succes van het uiteindelijke beleid op de eerder genoemde punten.

Als drijfveren achter het beleid worden genoemd reductie van (lokale) emissies, besparing op energiegebruik c.q. vermindering van de CO<sub>2</sub>-emissie, onafhankelijkheid van olie-import en job creation. Een opmerkelijk verschil tussen Europa enerzijds en Japan en de US anderzijds is de nadruk die in Amerika gelegd wordt op de vermindering van de afhankelijkheid van de olie-import. Ook in Europa zijn er echter verschillen. Deze worden voornamelijk bepaald door de brandstofmix van de betreffende landen. Landen als o.a. Frankrijk, Oostenrijk en Zwitserland die veel hydro en/of nucleaire elektriciteit opwekken promoten EV's veel meer dan de andere landen.

Hierna wordt op de belangrijkste punten van het beleid per regio nader ingegaan.

#### **Noord Amerika**

Zowel de federale overheid van de VS en Canada, als Californië en een aantal Noord-Oostelijke staten laten een sterk commitment zien t.a.v. de toekomstige invoering van BEV's en HEV's. De belangrijkste actoren binnen de overheid zijn daarbij DOE en de staat Californië, in mindere mate DoD en DoT. Deze actoren hebben diverse R&D en demo-programma's opgezet met de (auto)industrie, de elektriciteitsproducenten en lokale overheden (zie Hoofdstuk 3.3 Industrie).

Op het gebied van emissiewetgeving voor EV's en HEV's wordt het voortouw voornamelijk genomen door Californië. Enkele andere Amerikaanse staten ne-

men de Californische regelgeving deels of integraal over [Winn,1994]. Overigens moeten alle staten voldoen aan de nationale Clean Air Act Amendments van 1990. Californië heeft via CARB (California Air Resources Board) in 1990 het LEV(Low Emission Vehicle)-programma opgestart. Dit omvat een set van emissie-eisen en voertuigreglementen waardoor aan grote autofabrikanten de verplichting wordt opgelegd dat tenminste bepaalde percentage van de door hun verkochte voertuigen aan deze eisen voldoen (zie Tabel 9).

De oorspronkelijke eis in ZEV-mandaat was dat 2 % van alle in de staat verkochte voertuigen ZEV zouden moeten zijn, oplopend tot 10 % in 2003 (ongeveer 122.000 voertuigen). Inmiddels is in overleg met de auto-industrie de eerste eis losgelaten, de 10 % in 2003 eis blijft echter bestaan. Er zijn inmiddels ook voorstellen om HEV's in de regeling te betrekken. De EZEV-norm (Equivalent-ZEV) is hier een voorbeeld van. Dit komt overeen met 10 % van de ULEV emissienorm voor personenauto's (UltraLow Emission Vehicles) en is omgerekend de hoeveelheid emissies die een EV produceert als de emissies van de gemiddelde electriciteitscentrale in Zuid-Californië worden verdisconteerd. Een tweede voorstel is om de minimum vereiste ZEV-actieradius van HEV's te stellen op 17.7 mijl, de lengte van de FTP-testcyclus. Er gaan ook stemmen op om HEV's te beoordelen op het aantal kilometers die ze kunnen 'elektrificeren' [Reuyl,1996].

Tabel 8: ULEV en ZEV emissie-eisen in Californië

| g/mi FTP | ULEV | EZEV  | ZEV |
|----------|------|-------|-----|
| NMOG     | 0.04 | 0.004 | 0   |
| NOx      | 0.2  | 0.02  | 0   |
| CO       | 1.7  | 0.17  | 0   |
| PM       | 0.04 | 0.004 | 0   |

Op het gebied van emissie-wetgeving zijn EPA en CARB (emissie-eisen LEV/U-LEV/ZEV) actief. Overige wetgeving zoals t.a.v. bouwvoorschriften voor de laadinfrastructuur, regelgeving rond brandbestrijding en ongevallen worden voortvarend aangepakt. Bijzonder belangrijk daarbij zijn de activiteiten van EPRI (Electric Power Research Institute) en daaronder opererende IWC (National Electric Vehicle Infrastructure Working Council) die werkt aan standaardisatie van de laadinfrastructuur en aan de bijbehorende regelgeving.

Amerikaanse overheidsactoren beperken zich niet tot de sponsoring van dergelijke programma's, met een totaal budget van meerdere honderden miljoenen dollars per jaar, maar nemen hieraan ook actief deel. Enerzijds door deelname in

de regie van de programma's, anderzijds door actieve deelname in de R&D door diverse laboratoria van DOE en Defensie.

De Amerikaanse overheden spelen ook een belangrijke rol bij de disseminatie van informatie betreffende het onderwerp. Het NREL (National Renewable Energy Laboratory) begeleidt de R&D programma's en beschikt daardoor over veel informatie die publiek beschikbaar gemaakt wordt. Daarnaast wordt, samen met de industrie, actief geparticipeerd in organisaties als EVAA, Calstart, SCAT, ARPA e.d. die zich o.a. zeer sterk concentreren op de bewustwording bij de consument van de voordelen van EV's.

Door de hogere kosten van EV's is de introductie niet eenvoudig. Vele incentives zijn nodig. In de VS is reeds voorzien in federal (max. 10 %) en state (Californië max. \$ 4000) tax credits, variërende elektriciteitsstarieven voor dag en nacht en (op een aantal plaatsen) gratis parkeren in stadscentra op speciaal gereserveerde terreinen.

## Europa

Zowel de EU als de nationale overheden in Europa spelen een wat meer terughoudende rol dan de overheid in de VS, alhoewel dit per land sterk verschilt. De structuur in Europa is door het grotere aantal (overheids)actoren minder doorzichtig. Toch zou het totaal beschikbare budget dat van Amerika best kunnen benaderen. Gevolg is wel dat duplicering van R&D en demonstratieprojecten vaker kan en mogelijk zal voorkomen, waardoor de beschikbare fondsen minder efficiënt ingezet worden. Door een betere regie op EU-niveau, in samenhang met coördinatie tussen de landen van de EU kan hierin verbetering komen.

Op het gebied van (emissie)wetgeving is er in Europa een geheel andere cultuur dan in de VS. Terwijl men in de VS in een aantal staten nieuwe technologie afdwingt via wetgeving, ook al is men niet zeker dat de doelstellingen gehaald zullen worden, gaat men in Europa uit van doelstellingen waarvoor de technologie reeds min of meer bewezen is. Dit heeft tot gevolg dat betere incentives nodig zijn om hetzelfde doel te bereiken.

Wil men in Europa de achterstand t.o.v. de VS inhalen dan zal een voortvarender beleid nodig zijn. Veel kan geleerd worden van hoe men de zaken in de VS aanpakt. Echter niet elke aanpak kan zonder meer naar Europa overgeplaatst worden.

Voor *Nederland* geldt hetzelfde als hierboven voor Europa gezegd is met dien verstande dat Nederland sterk gebonden is aan de landen van de EU en te klein is om iets af te dwingen. De Nederlandse overheid richt zich vooralsnog op stimulering van elektrische aandrijving in professionele toepassingen.

## Azië

Over de situatie in Azië is eigenlijk weinig bekend. De afstand en de taalbarrière spelen hierbij een belangrijke rol. In Japan is MITI zeer belangrijk. MITI sponsort de aanschaf van EV's tot 50% van de aankoop prijs waarvoor \$ 1,13 miljoen beschikbaar was in 1996. Een groot deel van dit geld werd echter voor andere doeleinden uitgegeven.

### 3.5 Praktijkproeven met elektrische voertuigen

Over de hele wereld vinden praktijkproeven plaats met elektrische voertuigen. De aard van deze projecten loopt sterk uiteen. In sommige projecten, zoals de recent afgesloten test op het Duitse eiland Rügen, gaat het vooral om het in technische zin testen van geavanceerde componenten onder realistische gebruiksomstandigheden. Bij dit soort proeven wordt gewerkt met voertuigen die voorzien zijn van een grote hoeveelheid meetinstrumenten om het gebruik van het voertuig alsmede het gedrag van verschillende componenten te meten en op te slaan. In andere proeven, zoals de Großversuch in het Zwitserse Mendrisio, wordt voornamelijk aandacht besteed aan de gebruikaspecten van elektrische voertuigen. Bij dit soort experimenten worden de voertuigen juist niet bemeten, maar wordt middels questionnaires en interviews gedrag, attitude en respons van de gebruikers gemonitord.

In het door Novem gecoördineerde Programme for Collaboration between CEU and National Programmes on Electric Vehicles in Europe (door DG XII in het kader van het JOULE programma gefinancierd) wordt door een groot aantal Europese praktijkproeven informatie uitgewisseld en samengewerkt in een aantal ondersteunende studies. De resultaten van dit programma zullen in de eerste helft van 1997 beschikbaar komen.

Hieronder wordt een aantal interessante praktijkproeven kort toegelicht:

#### La Rochelle

In het Franse La Rochelle worden 50 elektrische voertuigen van het type Peugeot 106 en Citroën AX gebruikt door particulieren, bedrijven en gemeentelijke diensten. Het project is een samenwerking tussen PSA, EDF en de lokale overheid. De voertuigen, die tegen beperkte kosten aan de gebruikers beschikbaar worden gesteld, worden op beperkte schaal bemeten. De meeste aandacht gaat uit naar gebruikerservaringen. In de stad is een netwerk van oplaadrichtingen geïnstalleerd, waaronder ook een aantal snellaadstations. Een interessant resultaat van dit project is dat de snellaadstations nauwelijks meer gebruikt worden. In het

begin had de aanwezigheid van deze faciliteiten een belangrijke psychologische werking. Naarmate de gebruikers echter meer vertrouwd raakten met hun voertuig en de beschikbare actieradius, verkozen zij het om thuis tegen normaal tarief langzaam te laden i.p.v. te snelladen tegen een aanmerkelijk hoger elektriciteits-tarief. Deze proef heeft er bovendien toe bijgedragen dat een groot aantal kinder-ziekten in de gebruikte voertuigen is verholpen. De huidige Peugeot 106 en Citroën AX presteren beter en zijn beduidend betrouwbaarder dan de voertuigen die enige jaren geleden voor het eerst in dit project werden ingezet.

### **Mendrisio**

In Zwitserland wordt een marktconforme aanpak gevolgd bij de opzet van de praktijkproef (zgn. Großversuch) in Mendrisio (o.a. [EHVT,1996]. Gebruikers moeten zelf hun EV aanschaffen, maar ontvangen ter compensatie van de hogere kosten een subsidie op de aanschaf. Deze subsidie hangt nog af van het energiegebruik van het voertuig. De Zwitsers werken met het Leicht-ElektroMobiël concept, waarmee gestreefd wordt naar energiebesparing middels de inzet van EV's. EV's worden als LEM aangemerkt indien hun energiegebruik onder de 150 Wh/km ligt voor 2-zitters, en onder de 200 Wh.km voor 4-zitters. In de toekomst zullen deze criteria verder worden aangescherpt. Naast elektrische auto's worden er ook elektrische brom- en motorfietsen ingezet in Mendrisio. Aanbieders van EV's in Mendrisio moeten aan een aantal eisen voldoen t.a.v. typegoedkeuring, productinformatie, leverbaarheid, garantie, service, etc.. Een probleem waar de proef nu mee kampt is de lange levertijd (vaak 6 tot 8 maanden) voor m.n. de voertuigen van grote merken. Doel van de proef is enerzijds het simuleren en stimuleren van marktintroductie, waarbij gestreefd wordt naar een penetratie van 8% in 2000, en anderzijds het verkrijgen van inzicht in de interactie tussen EV's en conventionele voertuigen in het normale verkeer. In Mendrisio zijn oplaadstations en gereserveerde parkeerplaatsen ingericht.

### **KFB Zweden**

De Swedish Transport and Communications Research Board (KFB) coördineert een aantal praktijkproeven in Zweden, o.a. in Göteborg en Malmö (o.a. [EHVT,1996] en de KFB website <http://www.kfb.se/ehvproge/>). De strategie bij deze projecten is dat, na een uitgebreide evaluatie van beschikbare voertuigen aan de hand van zelf opgestelde criteria, grote aantallen voertuigen van een beperkt aantal fabrikanten worden gekocht. Daardoor kunnen strikte eisen worden gesteld aan leverbaarheid, garantie en service. In Göteborg rijden op dit moment tegen de 60 voertuigen waaronder een groot aantal van het type Renault Expresse en Renault Clio. Voertuigen worden technisch getest, maar daarnaast gaat de aandacht vooral ook uit naar gebruiks- en gebruikersaspecten.



### **Dordrecht**

In Dordrecht heeft in de periode 1994/1995 een proef plaatsgevonden met een aantal kleine zgn. Citybussen met verschillende typen aandrijven [AGV,1996]. Doel was het onderzoeken van de haalbaarheid van een kleinschalig en hoogfrequent collectief personenvervoersysteem voor de binnenstad van Dordrecht. Naast voertuigen met diesel- en aardgasaandrijving bestond de vloot uit een elektrische bus van Spijkstaal, een elektrische Neoplan en een hybride Van Hool. Van de voertuigen werd de productie van geluid en trillingen gemeten. Ook werden de ervaringen van chauffeurs en passagiers onderzocht en werden de exploitatiekosten bepaald. Voor de elektrische en hybride bussen bleken deze exploitatiekosten een factor 1,5 tot 2 hoger te liggen dan van de voertuigen met diesel- en aardgasaandrijving. De Spijkstaal bus bleek zeer betrouwbaar in tegenstelling tot de andere elektrische en hybride bussen. Het accuwisselen werd bij de Spijkstaal bus echter als omslachtig en lastig ervaren.

### **Andere Nederlandse praktijkproeven**

Belangrijke praktijkproeven in Nederland zijn voorts:

- VW-Caravelle
- EV25 in Amsterdam

We gaan ervan uit dat over deze projecten bij de CCE reeds meer informatie beschikbaar is dan hier in kort bestek kan worden opgeleverd.



## 4 Conclusies

### Conclusies met betrekking tot de stand van zaken op het gebied van voertuigen:

- De vraag of BEV's/HEV's ooit een realiteit zullen worden in het transport-systeem, lijkt niet meer van toepassing. In de komende jaren zal een groot aantal BEV's op de markt worden aangeboden. Daarnaast zijn bijna alle grote autofabrikanten op dit moment betrokken bij omvangrijke R&D projecten op het gebied van hybride en brandstofcelaandrijving. Hoe groot het uiteindelijke marktaandeel zal gaan zijn en langs welk traject dit zal worden gerealiseerd is echter nog onduidelijk.
- Het feit dat een aantal grote autofabrikanten op dit moment BEV's in (kleine serie-)productie hebben, deze in verschillende landen op de markt aanbieden en er garantie en service op verlenen, is mede een indicatie voor het feit dat deze technologie nu een goede staat van betrouwbaarheid heeft bereikt.
- Door grootschalige R&D inspanningen in de afgelopen vijf jaar op het gebied van componenten en systeemintegratie zijn elektrische voertuigen, in vergelijking met 1990, tot 30% zuiniger geworden. Ook de actieradius is toegenomen, hoewel er een trend lijkt om de bereikte energiebesparing te gebruiken voor reductie van het batterijgewicht en -volume bij gelijkblijvende actieradius.
- De nu aangeboden elektrische voertuigen zijn meestal conversies van conventionele voertuigen. Met EV1 van GM geeft echter, samen met andere ontwerpen die zich nog in een prototype-stadium bevinden, een duidelijke trend richting de introductie van purpose design voertuigen aan.
- De nu aangeboden BEV's zijn ongeveer een factor 3 duurder dan vergelijkbare conventionele voertuigen. Mocht in de toekomst grootschalige productie plaatsvinden (orde 100.000) dan zal het prijsverschil niet meer dan 20 tot 25 % bedragen.

### Conclusies met betrekking tot componenten:

- Voor batterij-elektrische voertuigen zijn op dit moment lood-zuur en NiCd de enige batterij-typen waarmee een enigszins commercieel verantwoord voertuig kan worden gebouwd.
- NaNiCl<sub>2</sub>-, NiMH- en lithium-batterijen bieden mogelijkheden om op vrij korte termijn de actieradius van BEV's te verhogen naar 150 km. Op lange termijn

is zelfs 300 km zeer wel mogelijk. In principe vergroot dit de inzetbaarheid van BEV's sterk.

- De meeste R&D op batterijgebied is nu gericht op het ontwikkelen van een betaalbare batterij met zo hoog mogelijk energiedichtheid. Voor hybride voertuigen is echter behoefte aan batterijen met een hoge vermogensdichtheid. Op dit gebied wordt er, o.a. in Nederland, gewerkt aan bipolaire lood-zuurbatterijen.
- Bij de ontwikkeling van purpose-design EV's worden technieken als lichtgewicht construeren en lage-rolweerstandsbanden gebruikt om de energiebehoefte van het voertuig te minimaliseren. Deze ontwikkelingen zullen uiteindelijk voor een groot deel ook toegepast worden in conventionele voertuigen. Enerzijds verzwakt dat de rationale voor EV's, anderzijds helpt de ontwikkeling van EV's op deze manier om energiebesparende technologie toegepast te krijgen in de all-purpose ICEV.
- Op het gebied van elektrische machines is vooral reductie van kosten een noodzaak. Enerzijds wordt dit bereikt door volumevergroting en standaardisatie. Een belangrijke rol is echter weggelegd voor vergroting van het rendement. Hoewel dit op het overall rendement van het voertuig slechts een marginaal effect zal hebben (rendementen liggen al boven de 90 %), maakt een paar procent reductie van de verliezen het al gauw mogelijk om uit dezelfde motor tot twee keer zoveel vermogen te halen, omdat efficiëntere motoren minder warmte produceren.
- Vliegwielen en supercapacitors lijken vanwege hun hoge vermogensdichtheid vooral perspectief te bieden voor toepassing in hybride voertuigen. Vergroting van de energiedichtheid tot voor BEV's bruikbare waarden ligt niet voor de hand.
- Conventionele motoren hebben vooralsnog de beste kans om op korte en middellange termijn te worden toegepast als prime-mover in hybride aandrijvingen. Afhankelijk van ondermeer het doel van de demonstratie of de toepassing kan worden gekozen voor diesel- (zuinig) of ottomotoren (schoon). De diesel-hybride is echter slechts iets zuiniger, terwijl de otto-hybride véél schoner is. Dit geldt zeker als LPG wordt toegepast, hetgeen voor Nederland een zeer interessante optie is vanwege de aanwezigheid van een goede infrastructuur.
- Een groot voordeel van conventionele verbrandingsmotoren bij toepassing in een hybride aandrijflijn is de tijdelijke overbelastbaarheid. Ten opzichte van het belastingspunt met het hoogste rendement, dat bij relatief laag toerental ligt, kan de motor door op te toeren nog 80-100% meer vermogen leveren. Dit geeft meer flexibiliteit in de dimensionering van de aandrijflijn.

- Twee-taktmotoren zijn in principe een goed alternatief als krachtbron voor hybride aandrijving, maar zullen niet stiller en schoner draaien dan vier-takt.
- Gasturbines zullen zuiniger, compacter en betrouwbaarder moeten worden gemaakt alvorens een interessant alternatief te vormen voor toepassing in hybride aandrijving en daarmee de voordelen van de brandstofonafhankelijkheid te kunnen benutten.
- Door de zo goed als stationaire belasting van de verbrandingsmotor in een hybride voertuig kunnen extreem lage emissiewaarden worden behaald. Deze kunnen in de toekomst mogelijk in de orde liggen van de omgevingslucht.
- Brandstofcellen zullen uiteindelijk zoveel mogelijk stand-alone, dus zonder batterij worden ingezet, vanwege het feit dat zij in tegenstelling tot de meeste prime-movers bij deellast veel efficiënter werken dan bij vollast. Wel kan een kleine buffer worden toegepast voor de opvang van snelle belastingswisselingen en/of de recuperatie van remenergie.

#### Conclusies met betrekking tot infrastructuur:

- Voor de Nederlandse situatie met veel hoogbouw in steden en ook in buitenwijken met laagbouw een beperkte hoeveelheid eigen parkeerruimte voor autobezitters bestaat er nog geen blauwdruk voor de inrichting van oplaadinfrastructuur. Een oplossing voor dit probleem is een eerste vereiste voordat gewerkt kan worden aan introductie van EV's voor particulier gebruik.

#### Conclusies met betrekking tot overheidsbeleid:

- Huidige inspanningen m.b.t. R&D en marktintroductie van BEV's zullen op langere termijn ook vruchten afwerpen bij de ontwikkeling en marktintroductie van HEV's en FCEV's.
- BEV's hebben voornamelijk voordelen bij gebruik in de stad. Dit geldt voor verschillende aspecten:
  - Emissies:* BEV's veroorzaken geen lokale emissies. Overall emissies, wanneer ook de uitstoot van de centrale wordt meegerekend, zijn voor sommige componenten vergelijkbaar met en voor een aantal componenten beduidend lager dan die van conventionele voertuigen;
  - Energie:* Conventionele voertuigen verbruiken in de stad relatief veel brandstof, vanwege het slechte rendement van de verbrandingsmotor bij deellast. BEV's verbruiken in de stad per afgelegde kilometer niet of nauwelijks meer energie dan buiten de stad, ondermeer ten gevolge van regeneratief remmen en het ontbreken van stationair verbruik.

*Geluid:* Bij lage snelheden en met name bij acceleraties is een BEV stiller dan een conventioneel voertuig. Bij hogere snelheden is vooral bandengeluid van belang, dat bij een EV zeker niet lager is dan bij een conventioneel voertuig.

*Prestaties:* Bij lage snelheden presteert een BEV met veel minder vermogen dan een conventioneel voertuig niet veel slechter vanwege het relatief hoge koppel bij lage snelheden. Pas bij hoge snelheden is het verschil in prestaties duidelijk merkbaar.

- Het energetisch rendement van BEV's is in de afgelopen vijf jaar relatief sterker toegenomen dan dat van conventionele voertuigen. Dit plaatst het potentieel van BEV's m.b.t. energiebesparing en CO<sub>2</sub>-emissiereductie mogelijk in een ander perspectief. Er is op dit moment geen duidelijk beeld van de verzurende emissies (SO<sub>2</sub> en NO<sub>x</sub>) van de huidige generatie BEV's in vergelijking met ICEV's. Voor de technische stand van zaken in 1990 is berekend dat BEV's in termen van NO<sub>x</sub>-equivalenten zo'n 30% slechter scoren dan benzine-auto's, 12 % beter dan dieselvoertuigen en vergelijkbaar met LPG-voertuigen [Smokers,1992]. Door de ontwikkelingen die BEV's en ICEV's hebben doorgemaakt, alsmede door milieumaatregelen in het elektriciteitsproductieproces, zal het beeld er voor 1997 anders uitzien. Nadere studie op dit gebied lijkt zinvol.
- Er lijkt in Nederland geen eenduidige rationale voor de invoering van BEV's. Dit komt niet zozeer omdat BEV's voor de Nederlandse situatie geen significante energie- en milieuvordelen zouden opleveren, maar vooral omdat een duidelijke waardering van deze voordelen door de nationale en lokale overheden ontbreekt. De vraag is hoe lokaal emissievrij rijden wordt gewogen t.o.v. energiebesparing, emissiereductie op regionale of nationale schaal, en hoe effecten op dit gebied zich verhouden tot mogelijke invloeden op rijgedrag en mobiliteit.
- Elektrisch rijden moet geleerd worden. Bestuurders moeten vertrouwen krijgen in de actieradius en hoe deze afhangt van gebruiksomstandigheden. Ook kunnen zij door zuinig rijgedrag en optimaal regeneratief remmen de actieradius vergroten en de kans op problemen met bijv. de batterij verkleinen. Ook bij leveranciers en garagebedrijven is vergroting van de kennis nodig.
- Stadsbussen bieden een zeer goede mogelijkheid om de voordelen van hybride aandrijftechnologie te demonstreren en voor het creëren van een niche markt. Het inzetgebied van stadsbussen, samen met het gemiddelde dagelijks gebruik, sluit zeer goed aan op de potentiële voordelen van hybride aandrijving. Stadsbussen bieden daardoor een zeer goede ontwikkelingsbasis voor hybride aandrijvingstechnologie.

## Aanbevelingen

- Het verdient aanbeveling om naast de introductie van elektrische en hybride personenauto's vooral ook aandacht te besteden aan de ontwikkeling en introductie van andere elektrisch aangedreven vervoermiddelen voor langzaam verkeer of openbaar vervoer (o.a. taxi's en bussen). Via deze vervoerwijzen kunnen consumenten in verschillende leeftijdsgroepen op eenvoudige en betaalbare wijze kennis maken met elektrische aandrijving. Dit kan de uiteindelijke acceptatie van elektrische en hybride auto's sterk vergroten.
- Een goede stimulans voor de inzet van elektrische voertuigen zou de promotie van elektrische brom- of snorfietsen zijn. Conventionele brom- en snorfietsen emitteren per kilometer vaak meer schadelijke stoffen dan personenauto's met katalysator. Bovendien kan men op deze manier een jonge doelgroep vertrouwd maken met de eigenschappen en voordelen van elektrische aandrijving, hetgeen de bereidheid van deze personen om op latere leeftijd een elektrisch voertuig aan te schaffen kan vergroten.
- De grootste vooruitgang op het gebied van ontwikkeling en introductie van EV's wordt geboekt in landen waar de overheid op dit gebied een helder doel voor ogen heeft, dit uitdraagt en actief participeert in R&D- en demonstratieprojecten. Om Nederlandse initiatieven op dit gebied te bevorderen is het dus vooral van belang dat de overheid een heldere beleidscontext schept.
- Er is op dit moment nog weinig inzicht in de exacte invloed van ontlaaddiepte op de levensduur van verschillende batterijtypen. Deze levensduur wordt uitgedrukt in cycli, maar in hoeverre iedere ontlad/laadcyclus, ongeacht de ontlaaddiepte, als cyclus moet worden geteld is niet geheel duidelijk. Voor BEV's heeft de levensduur van de batterij grote invloed op de kosten. Voor hybride toepassing, met veel ondiepe laad-ontlaadcycli, is het probleem nog veel belangrijker. Onderzoek en ontwikkeling op dit gebied zijn van groot belang.
- Op het gebied van componenten voor BEV's en HEV's zijn er goede kansen voor een aantal Nederlandse bedrijven om in de toekomst een rol als toeleverancier te spelen. Dit vereist wel dat er op korte termijn in Nederland wordt geïnvesteerd in technologie op het gebied van elektrische machines, vermogenslektronica, vermogensbatterijen en regelektronica.
- In Nederland is er voldoende kennis en industrie aanwezig om aandrijfsystemen te ontwikkelen voor professionele (meest Heavy Duty) toepassingen zoals stadsbussen en distributievoertuigen. Hierbij kan deels gebruik gemaakt worden van in Nederland ontwikkelde componenten en deels van elders ontwikkelde componenten (bijvoorbeeld brandstofcellen).

- Bij de organisatie van praktijkproeven is het van groot belang om met de leverancier heldere afspraken te maken over te verwachten betrouwbaarheid van de voertuigen en de service die geleverd wordt.
  
- Elektrische voertuigen, bij wet gedefinieerd als voertuigen die bestemd zijn om hoofdzakelijk te worden aangedreven door een elektromotor, worden per 1 juli 1997 vrijgesteld van BPM. Parallel-hybride voertuigen vallen niet onder de wettelijke definitie van elektrische voertuigen en komen dus mogelijk niet voor vrijstelling in aanmerking. Omdat de introductie van parallel-hybride aandrijving wel kan bijdragen tot het creëren van marktniches voor elektrische aandrijving en, via vergroting van productievolumes, tot een prijsverlaging van componenten, verdient het aanbeveling om ook parallel-HEV's te stimuleren. Met betrekking tot de BPM-vrijstelling kan mogelijk een aparte categorie worden gedefinieerd.



## 5 Literatuurlijst

[A&M,10/1996]

Hybride Audi bijna productierijp  
Auto & Motor TECHNIEK 10/1996, pag. 12.

[AGV,1996]

Technisch en exploitatief proefrijden met de Citybus - Hoofdrapport, AGV, 1996

[BATCONF,1996]

Proceedings 11<sup>th</sup> Annual Battery Conference, Long Beach, Californië, 9-12  
January 1996

[Bedrijf,1994]

Met fluistertruck door het centrum  
Bedrijfsvervoer 10, 31 mei 1994

[Boosman,1992]

Volvo ECC hybride auto met gasturbine  
Auto & Motortechniek 52, dec. 1992, pag. 30-32

[Bromby,1995]

Integration of Telematics and Hybrid Powertrain Technologies for Future Trans-  
port Systems  
IMEchE 1995, Autotech 95 C498/5/114

[Brunia,1995]

Energie-opslagsystemen voor fotovoltaïsche systemen, een inventarisatie  
A. Brunia, K. Burger, R.A.A. Schillemans  
TNO-MEO rapport R95/221, december 1995

[Brusaglino,1996]

The Electric Vehicle: Situation & Trends  
Paper 10,1996, FIAT, Research Centre, Italy

[Burke,1996]

A.F. Burke in [BATCONF,1996]

[Calstart,1996]

Electric Vehicles: An Industry Prospectus, Markets, Technologies and Strategies,  
Calstart Inc., Burbank, California, 1996

[CCM,1995]

EMAFER drive line, based on an Electro Mechanical Accumulator for Energy Re-Use.

F.J.M. Thoolen

Centrum voor Constructie en Mechatronica, Nuenen, 1995

[Clean,1997]

The Clean Fuels and Electric Vehicle Report

J.E. Sinor Consultants Inc., Niwot CO, USA

Volume 9, No. 1, February 1997

[DeLuchi,1991]

Emissions of Greenhouse Gases from the Use of Transportation Fuels and Electricity

Center for Transportation Research, Argonne, 1991

[Eco-Car,1995]

Innovation of passenger transportation

Ecocar B.V., 's-Gravendaal, 1995

[Ehrlinger]

ZF-EE Drive

Electric drive system for low-floor buses

ZF 0890 754 101

[EHVT,1995]

Electric & Hybrid Vehicle Technology '95

[EHVT,1996]

Electric & Hybrid Vehicle Technology '96

[FCSEMINAR,1996]

1996 Fuel Cell Seminar, Program & Abstracts, November 17-20, 1996, Orlando (FL)

[Fischer,1996]

BMW AG

Hybrid drive concepts for emission free city travel - a summary of BMW developments

IMechE 1996-8 , Autotech 95, 1996

[Harris,1996]

ABC's of EVs

Basic Information About Electric Vehicles

NAEVI 96

[van Hilten,1992]

Elektrische auto's in stedelijk gebied

O. van Hilten, J.Bais en A. Kant

ECN-C-92-050, ECN Petten, 1992

[IAE,1992]

Current Status of Electric Vehicle Research and Development and Possibility of International Collaboration

The Institute of Applied Energy

Final Report, 1992

[Jaggi,1996]

Gute Chancen für Hybridantriebe?

In: Mobile juni/juli 1996 pag. 12-22

[Jost,1996]

Chrysler's hybrid concept

Automotive engineer, mei 1996, Pag 110-113.

[Karlsson,1992]

Gas Turbines in Hybrid Engines, Volvo Aero Turbine Co., 1992, Sweden

[Lovins,1994]

Hypercars: Hybrid-Electric drives

uit <http://www.rmi.org/hypercars/>

[MagnetMotor,1996]

Innovative elektrische Busantriebssysteme

1996

[Market Launch Manual,1995]

Electric Vehicle Community Market Launch Manual: A Guide to prepare your community for Electric Vehicles. ETC/EVAA/DOE/DOT report, december 1995

[Mobile,3/1996]

Gute Chancen für Hybridantriebe?, Diego Jaggi, Mobile 3/1996, pag. 12.

[Mom,1995]

De elektro-auto: een paard van Troje?, Kluwer Voertuigtechniek, Deventer, 1995

[Moore,1995]

Moore, Lovins

Vehicle Design Strategies to Meet and Exceed PNGV Goals

Rocky Mountain Institute, SAE 951906, Warrendale, 1995

[Mourad,1996]

Verkeer en Vervoer in de 21e eeuw;

Nieuwe aandrijfconcepten

1996

[NAEVI96,1996]

Proceedings North American EV & Infrastructure Conference

December 11-13,1996 San Diego

[Rijkeboer,1993]

Regulated and unregulated exhaust gas components from LD vehicles on petrol, diesel, LPG and CNG

R. Rijkeboer, P. Hendriksen

TNO-report 93.OR.VM.029.1/PHE/RR, October 1993

[Pilorusso,1995]

The role of transportation technologies in reducing greenhouse gas emissions

Pilorusso Research and Consulting Inc., 1995

[Reuyl,1996]

Policy implications of hybrid-electric vehicles

J. Reuyl, NEVCOR, 1996

[Robertson,1995]

Patriot-Chrysler's Hybrid Learning Curve

Electric and Hybrid Vehicle Technology '95, 1995, pag. 31-36

[Schillemans,1993]

Inventarisatie oplaadbare batterijen

R.A.A. Schillemans, TNO-MEP rapport R 93/231, 1993

[Schillemans,1995]

Development and testing of an electric Spijkstaal VW Caravelle

R.A.A. Schillemans, C.E. Kluiters, C.J.T. van de Weijer

Proceedings EVT 95, November 13-15, 1995 Parijs.

[Seiffert,1996]

The hybrid concept

Paper 7, First International Berlin Colloquium 1996

[SEP,1994]

Energie en milieu aspecten van elektrische voertuigen

SEP rapport PO/EMT 94-172, 10 juni 1994.

[Smokers,1992]

Elektrische auto's in het perspectief van de milieu- en energieproblematiek

R.T.M. Smokers en O. van Hilten

ECN-Rx-92-073, ECN Petten, 1992, onder dezelfde titel ook uitgegeven als NOVEM-brochure.

[Task Force,1996]

Car of Tomorrow

Detailed Performance Targets and Research, Technological Development and Demonstration Priorities

1996

[TNO,1997]

TNO-enquête

Voorlopig Rapport

[Unique Mobility,1996]

Brushless Permanent Magnet Motors and Phase Advance Controllers

Traction drive systems for EVs and HEVs, 1996

[Ward's Automotive,1996]

Ward's Automotive december 1996

[van de Weijer, 1996]

In [EHVT,1995] pag. 207-209

[van de Weijer,1996]

Electric Vehicles; Energy consumption and the comparison with other new vehicle technologies

C.J.T. van de Weijer, R.A.A Schillemans

Bmo, 1996, TNO-paper VM9606

[Westinghouse,1995]

Energy Storage Requirements for Hybrid Systems

Bijlage bij Westinghouse rapport "Status & Evaluation of hybrid electric vehicle batteries for short term applications, July 1995

[Winn,1994]

The role of Government and Industry in the Development of the Electric Vehicle  
J.L. Winn, SAE 941035, 1994

[Wisse,1997]

Nieuwe Renault Espace  
Autokampioen nr. 1, 10-23 jan. 1997, pag. 14-17

[Wouk,1995]

Hybrids: then and now  
IEEE Spectrum June 1995

**LIJST MET GEBRUIKTE AFKORTINGEN**

|       |                                              |
|-------|----------------------------------------------|
| APU:  | Auxiliary power unit                         |
| BEV:  | Battery electric vehicle                     |
| BIW:  | Body-in-white                                |
| CARB: | Californië Air Resources Board               |
| EM:   | Elektromotor                                 |
| EV:   | Electric vehicle                             |
| EZEV: | Equivalent zero emission vehicle             |
| FCEV: | Fuel cell electric vehicle                   |
| HEV:  | Hybrid electric vehicle                      |
| ICE:  | Internal combustion engine                   |
| ICEV: | Internal combustion engine vehicle           |
| LEV:  | Low emission vehicle                         |
| LLD:  | Load leveling device                         |
| NZEV: | Near zero emission vehicle                   |
| PNGV: | Partnership for a new generation of vehicles |
| SOC:  | State of charge                              |
| TLEV: | Transitional low emission vehicle            |
| ULEV: | Ultra low emission vehicle                   |
| ZEV:  | Zero emission vehicle                        |





## **Bijlage A      Informatiebronnen**

### **Aanbevolen literatuur**

Hieronder wordt een kleine selectie gegeven van recente literatuur met een algemeen karakter, waaruit een goed beeld kan worden verkregen van de stand van zaken op het gebied van elektrische en hybride voertuigen en de verschillende aspecten die bij ontwikkeling en introductie een rol spelen. Een aantal bronnen gaan dieper in op zaken die ook in deze Quick Scan zijn behandeld.

Electric & Hybrid Vehicle Technology '95

Electric & Hybrid Vehicle Technology '96

Electric and Hybrid vehicles: a 25-year forecast  
In: Automotive Engineering, February 1996

Alternative energy storage  
K. Jost  
In: Automotive Engineering November 1996

PNGV vehicle engineering accomplishments  
C. Taylor  
In: Automotive Engineering November 1996

Electric Vehicle Community Market Launch Manual: A Guide to Prepare Your Community for Electric Vehicles  
Volume I: General Policy-Level Considerations, ETC/EVAA/DOE/DOT December 1995

Global Opportunities and Risks for Electric and Hybrid Low Emission Vehicles  
A.P. Green, C. McGrath, and J. Murray  
MIRA SAE paper 931011

The Role of Government and Industry in the Development of the Electric Vehicle  
J.L. Winn. Brown Univ.  
SAE paper 941035

Mobiliteit met toekomst; naar een vraaggericht technologiebeleid  
Ministerie van V & W, oktober 1996

**De elektro-auto: een paard van Troje?**

G. Mom, V. van der Vinne

Kluwer Voertuigtechniek

Deventer

1995

**Environment: Continuous challenge for automobile R&D**

U. Seiffert

Nedcar Access presentatiemap

The European Automotive Technology Congress 1996

1996

**Current Status of Electric Vehicle Research and Development and Possibility of International Collaboration**

Final Report

The Institute of Applied Energy

1992

**Detailed Performance Targets and Research, Technological Development and Demonstration Priorities**

Task Force Car of Tomorrow

1996

**Policy Implications of Hybrid-Electric Vehicles**

Final Report to NREL

J.S. Reuyl, P.J. Schuurmans

Nevcor, Inc.

#ABC-5-15337-01

1996

**Jaarboek Autotechnical trends 1993**

G.P.A. Mom et al.

HTS-Autotechniek, Apeldoorn

1992

**Vehicle Design Strategies to Meet and Exceed PNGV Goals**

T.C. Moore, A.B. Lovins

Rocky Mountain Institute, Warrendale

SAE 951906

1995

## Databases

### *CORDIS databases*

De CORDIS databases (~ 16) bevatten in principe alle programma's, projecten en projectresultaten die in de kaderprogramma's van de EU zijn en worden uitgevoerd. De databases zijn sinds kort vrij via het internet toegankelijk. Voorbeelden hiervan zijn projecten in Hoofdstuk 1.5.

### *EUREKA database*

De EUREKA database omvat de beschrijvingen van de projecten die in EUREKA verband worden uitgevoerd, evenals de namen van de uitvoerenden, echter geen resultaten. De database is vrij toegankelijk via internet.

### *Joule/CEU*

In het kader van het Collaboration Programme wordt een database met gegevens van elektrische voertuigen ontwikkeld en onderhouden door ECN. In het vervolproject dat dit voorjaar ingediend wordt zal tevens aandacht gegeven worden aan geavanceerde conventionele en hybride aandrijving. Tevens zal aandacht gegeven worden aan meetprocedures voor BEV's en HEV's. De database is niet vrij toegankelijk.

### *Patenten*

Met betrekking tot patenten zijn reeds lange tijd diverse databases bekend die veelal via gespecialiseerde personen en of bedrijven toegankelijk zijn. De European Patent Office is tegenwoordig ook via internet bereikbaar.

### *SAE Global Mobility Database (niet specifiek)*

SAE (Society of Automotive Engineers) papers en publikaties worden door wetenschappers en technici hoog gewaardeerd. De Global Mobility Database bevat behalve eigen publikaties ook artikelen uit andere tijdschriften en is sinds kort via internet bereikbaar. Wel is hiervoor een abonnement vereist.

## Internet

Op het Internet is bijzonder veel informatie te vinden die sterk varieert in kwaliteit. Vele WEB-sites zijn van autofabrikanten en organisaties die zich onder meer bezig houden met elektrische en hybride voertuigen. Andere WEB-sites worden door organisaties, waaronder vele universiteiten, onderhouden die zich specifiek op elektrische en hybride voertuigen richten.

De inhoud kan variëren van relatief eenvoudige beschrijvingen van voertuigen en componenten tot (meet)resultaten van projecten en simulatiemodellen. De grotere sites hebben vaak directe links naar soortgelijke sites.

Diverse sites, vaak de wat breder opgezette, zijn voorzien van een zoekmogelijkheid om snel de gewenste informatie te vinden. Ook kan men gebruik maken van diverse "search engines" zoals AltaVista, Lycos, Excite e.a.. De adressen van deze search engines zijn:

AltaVista <http://www.altavista.digital.com/>  
Lycos <http://www.lycos.com/>  
Excite <http://www.excite.com/>

Onderstaand wordt een tweetal overzichten gegeven van de meest interessante sites. Het eerste omvat de sites specifiek gericht op elektrische en hybride voertuigen en componenten. Het tweede overzicht omvat de wat breder gerichte sites waarop ook andere informatie te vinden is. In de overzichten is het adresgedeelte <http://> weggelaten.

### *Overzicht specifieke EV en HEV sites:*

|                          |                                                                                              |
|--------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|
| Calstart                 | <a href="http://www.calstart.org/">www.calstart.org/</a>                                     |
| EPRI                     | <a href="http://www.epri.com/csg/trans/index.html">www.epri.com/csg/trans/index.html</a>     |
| EVAA                     | <a href="http://www.evaa.org/">www.evaa.org/</a>                                             |
| EVS/NAEVI                | <a href="http://www.evs.org/">www.evs.org/</a>                                               |
| GM EV 1                  | <a href="http://www.gmev.com/">www.gmev.com/</a>                                             |
| ?                        | <a href="http://ev.inel.gov/">ev.inel.gov/</a>                                               |
| ?                        | <a href="http://www.ev.hawaii.edu/">www.ev.hawaii.edu/</a>                                   |
| ?                        | <a href="http://www.engr.iupui.edu/evi2/index2.html">www.engr.iupui.edu/evi2/index2.html</a> |
| ?                        | <a href="http://www.primenet.com/">www.primenet.com/</a>                                     |
| MARCAV                   | <a href="http://www.ncemt.ctc.com/marcav/">www.ncemt.ctc.com/marcav/</a>                     |
| NESEA Tour de Sol        | <a href="http://nesea.nrel.gov/nesea_index.html">nesea.nrel.gov/nesea_index.html</a>         |
| Northrop Grumman         | <a href="http://www.essd.org/">www.essd.org/</a>                                             |
| NREL                     | <a href="http://www.nrel.gov/">www.nrel.gov/</a>                                             |
| PNGV                     | <a href="http://picard.aero.hq.nasa.gov:8000/">picard.aero.hq.nasa.gov:8000/</a>             |
| Purdue University        | <a href="http://www.purdue.com/">www.purdue.com/</a>                                         |
| Rocky Mountain Institute | <a href="http://www.rmi.org/">www.rmi.org/</a>                                               |

|                                                                                                        |                                                                                                        |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Solstice                                                                                               | <a href="http://solstice.crest.org/">solstice.crest.org/</a>                                           |
| Taskforce Car of Tomorrow                                                                              |                                                                                                        |
| <a href="http://europa.eu.int/en/comm/dg12/tf-aut-h.html">europa.eu.int/en/comm/dg12/tf-aut-h.html</a> |                                                                                                        |
| ULSAB                                                                                                  | <a href="http://www.autosteel.org/home/techcenter/ulsab/">www.autosteel.org/home/techcenter/ulsab/</a> |
| Unique Mobility                                                                                        | <a href="http://www.uqm.com/">www.uqm.com/</a>                                                         |
| US Dept of Energy                                                                                      | <a href="http://www.doe.gov/">www.doe.gov/</a>                                                         |
| KFB Zweden demonstratieprojecten                                                                       | <a href="http://www.kfb.se/ehvproge/">www.kfb.se/ehvproge/</a>                                         |

*Overzicht breder opgezette sites:*

|                                                                                                          |                                                                                |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|
| CORDIS                                                                                                   | <a href="http://www.cordis.lu">www.cordis.lu</a>                               |
| Californië Air Resources Board                                                                           | <a href="http://www.arb.ca.gov/">www.arb.ca.gov/</a>                           |
| EDF                                                                                                      |                                                                                |
| <a href="http://www.edf.fr/html/en/mag/voiture/groupe.htm">www.edf.fr/html/en/mag/voiture/groupe.htm</a> |                                                                                |
| EPA                                                                                                      | <a href="http://www.epa.gov/">www.epa.gov/</a>                                 |
| EUREKA                                                                                                   | <a href="http://eureka.belspo.be/">eureka.belspo.be/</a>                       |
| European Patent Office                                                                                   | <a href="http://www.epo.co.at/epo/">www.epo.co.at/epo/</a>                     |
| NRCan                                                                                                    | <a href="http://www.nrcan.gc.ca/">www.nrcan.gc.ca/</a>                         |
| SAE                                                                                                      | <a href="http://www.sae.org/">www.sae.org/</a>                                 |
| TASC                                                                                                     | <a href="http://www.tasc-auto.com/">www.tasc-auto.com/</a>                     |
| Toyota Japan                                                                                             | <a href="http://www.toyota.co.jp/index2.html">www.toyota.co.jp/index2.html</a> |
| Ward's Communications                                                                                    | <a href="http://www.wardsauto.com/">www.wardsauto.com/</a>                     |
| US General Accounting Office                                                                             | <a href="http://www.gao.gov/">www.gao.gov/</a>                                 |
| US Government Printing Office                                                                            | <a href="http://www.access.gpo.gov/">www.access.gpo.gov/</a>                   |



## **Bijlage B      Overzicht van elektrische en hybride voertuigen**

In de nu volgende tabel worden van een groot aantal elektrische en hybride voertuigen enige, meest technische, gegevens verstrekt. Het overzicht is gebaseerd op informatie uit de literatuur. Voor de meeste voertuigen zijn maar voor een beperkt aantal parameters gegevens bekend. Het overzicht is niet compleet, noch in het aantal beschreven voertuigen, noch in de per voertuig bekende gegevens.

Het overzicht omvat achtereenvolgens de volgende voertuigtypen:

- elektrische fietsen
- batterij-elektrische voertuigen van het type Très Petit Vehicule (TPV, zie 2.1)
- batterij-elektrische personenauto's
- hybride personenauto's
- batterij-elektrische en enige andere bestelauto's
- batterij-elektrische bussen
- hybride bussen en trucks.







| EVs & HEVs          |                   | voertuig | Suntera Sunray        |         | Twike                      |                            | City-EI     |                            |
|---------------------|-------------------|----------|-----------------------|---------|----------------------------|----------------------------|-------------|----------------------------|
| voertuigtype        |                   |          | 3-wieler              |         | 3-wieler                   |                            | 3-wieler    |                            |
| aandrijflijn        |                   |          | BEV                   |         | BEV + trappers             |                            | BEV         |                            |
| status              |                   |          | commercieel           |         | commercieel                |                            | commercieel |                            |
| lengte              | [m]               |          | 2.438                 |         | 2.660                      |                            | 2.740       |                            |
| breedte             | [m]               |          | 1.702                 |         | 1.200                      |                            | 1.060       |                            |
| hoogte              | [m]               |          | 1.753                 |         | 1.200                      |                            | 1.240       |                            |
| frontaal oppervlak  | [m <sup>2</sup> ] |          |                       |         |                            |                            |             |                            |
| Cw coefficient      |                   |          |                       |         | Cw*A = 0.33                |                            |             |                            |
| rol-weerstand       |                   |          |                       |         |                            |                            |             |                            |
| leeg gewicht        | [kg]              |          | 726                   |         | 220 - 250                  |                            | 290         |                            |
| aantal zitplaatsen  |                   |          | 2                     |         | 2                          |                            | 1           |                            |
| laadgewicht         | [kg]              |          | 225                   |         |                            |                            | 110         |                            |
| carrosserie         |                   |          | composite + aluminium |         | alu frame + Luran S        |                            |             |                            |
| batterijtype        |                   |          | Pb-zuur               |         | NiCd                       |                            | Pb          |                            |
| batterijspanning    | [V]               |          | 120                   |         | 340                        |                            |             |                            |
| batterijcapaciteit  | [Ah]              |          |                       |         |                            |                            |             |                            |
| batterijcapaciteit  | [kWh]             |          |                       |         | 2                          | 3                          |             |                            |
| batterijvermogen    | [kW]              |          |                       |         |                            |                            |             |                            |
| batterijgewicht     | [kg]              |          |                       |         |                            |                            |             |                            |
| motortype           |                   |          | DC serie-gewonden     |         |                            |                            |             |                            |
| nominaal vermogen   | [kW]              |          | 9.7                   |         | 5                          |                            |             |                            |
| piekvermogen        | [kW]              |          |                       |         |                            |                            |             |                            |
| ICE-type            |                   |          |                       |         | pedalen                    |                            |             |                            |
| cilinder-inhoud     | [l]               |          |                       |         |                            |                            |             |                            |
| ICE-vermogen        | [kW]              |          |                       |         |                            |                            |             |                            |
| toerental           | [rpm]             |          |                       |         |                            |                            |             |                            |
| generatortype       |                   |          |                       |         |                            |                            |             |                            |
| generatorvermogen   | [kW]              |          |                       |         |                            |                            |             |                            |
| transmissie         |                   |          |                       |         | 5 versn.                   |                            |             |                            |
| regeneratief remmen |                   |          |                       |         |                            |                            |             |                            |
| acceleratie         | [s]               |          | 6                     | 18      |                            |                            |             |                            |
| conditie            |                   |          | 0 - 50                | 0 - 100 |                            |                            |             |                            |
| maximum snelheid    | [km/h]            |          | 110                   |         | 85                         |                            | 50          | 60                         |
| conditie            |                   |          |                       |         |                            |                            | begrensd    |                            |
| maximale helling    |                   |          |                       |         | 22%                        |                            |             |                            |
| actieradius         | [km]              |          | 105                   |         | 40                         | 80                         | 35 - 50     |                            |
| conditie            |                   |          | stadsverkeer          |         | 2 batt. modulen<br>50 km/h | 3 batt. modulen<br>50 km/h |             |                            |
| energiegebruik      | [kWh/100km]       |          |                       |         | 4 - 6                      |                            | 2.5         | 8.9                        |
| brandstofverbruik   | [l/100km]         |          |                       |         |                            |                            |             |                            |
| conditie            |                   |          |                       |         |                            |                            |             | ECE (Biel)                 |
| prijs               | [\$]              |          |                       |         |                            |                            |             |                            |
| prijs               | [gld]             |          |                       |         |                            |                            | 17755       |                            |
| prijs               | [Sfr]             |          |                       |         | 21000 - 25000              |                            | 11111       |                            |
| opmerkingen         |                   |          |                       |         |                            |                            |             | kan ECE cyclus niet volgen |

| EVs & HEVs          |                   | voertuig | Microcar Light                | Microcar Break      | Kewet EI-jet 4                |     |
|---------------------|-------------------|----------|-------------------------------|---------------------|-------------------------------|-----|
| voertuigtype        |                   |          | personenauto<br>TPV           | personenauto<br>TPV | personenauto<br>TPV           |     |
| aandrijflijn        |                   |          | BEV                           | BEV                 | BEV                           |     |
| status              |                   |          | commercieel                   | commercieel         | commercieel                   |     |
| lengte              | [m]               |          | 2.580                         | 2.800               | 2.400                         |     |
| breedte             | [m]               |          | 1.360                         | 1.360               | 1.400                         |     |
| hoogte              | [m]               |          | 1.360                         | 1.360               | 1.500                         |     |
| frontaal oppervlak  | [m <sup>2</sup> ] |          |                               |                     |                               |     |
| Cw coefficient      |                   |          |                               |                     |                               |     |
| rol-weerstand       |                   |          |                               |                     |                               |     |
| leeg gewicht        | [kg]              |          | 510                           | 540                 | 815                           | 830 |
| aantal zitplaatsen  |                   |          |                               |                     | 2                             |     |
| laadgewicht         | [kg]              |          | 210                           | 310                 | 185                           |     |
| carrosserie         |                   |          | kunststof                     | kunststof           | kunststof                     |     |
| batterijtype        |                   |          | NiCd                          | NiCd                | Pb                            |     |
| batterijspanning    | [V]               |          |                               |                     |                               |     |
| batterijcapaciteit  | [Ah]              |          |                               |                     |                               |     |
| batterijcapaciteit  | [kWh]             |          |                               |                     |                               |     |
| batterijvermogen    | [kW]              |          |                               |                     |                               |     |
| batterijgewicht     | [kg]              |          |                               |                     |                               |     |
| motortype           |                   |          |                               |                     |                               |     |
| nominaal vermogen   | [kW]              |          |                               |                     |                               |     |
| piekvermogen        | [kW]              |          |                               |                     |                               |     |
| ICE-type            |                   |          |                               |                     |                               |     |
| cylinder-inhoud     | [l]               |          |                               |                     |                               |     |
| ICE-vermogen        | [kW]              |          |                               |                     |                               |     |
| toerental           | [rpm]             |          |                               |                     |                               |     |
| generatortype       |                   |          |                               |                     |                               |     |
| generatorvermogen   | [kW]              |          |                               |                     |                               |     |
| transmissie         |                   |          |                               |                     |                               |     |
| regeneratief remmen |                   |          |                               |                     |                               |     |
| acceleratie         | [s]               |          |                               |                     |                               |     |
| conditie            |                   |          |                               |                     |                               |     |
| maximum snelheid    | [km/h]            |          | 80                            | 80                  | 75                            |     |
| conditie            |                   |          |                               |                     |                               |     |
| maximale helling    |                   |          |                               |                     |                               |     |
| actieradius         | [km]              |          | 50 - 80                       | 50 - 80             | 50 - 80                       |     |
| conditie            |                   |          |                               |                     |                               |     |
| energiegebruik      | [kWh/100km]       |          | 16.5                          |                     | 16.7                          |     |
| brandstofverbruik   | [l/100km]         |          |                               |                     |                               |     |
| conditie            |                   |          | ECE (Biel)                    |                     | ECE (Biel)                    |     |
| prijs               | [\$]              |          |                               |                     |                               |     |
| prijs               | [gld]             |          |                               |                     |                               |     |
| prijs               | [\$fr]            |          | 32333                         | 33333               | 28475                         |     |
| opmerkingen         |                   |          | kan ECE cyclus<br>niet volgen |                     | kan ECE cyclus<br>niet volgen |     |

| EVs & HEVs          |                   | voertuig         | Cabriolet Mini Evergreen | Ambra            | Erad Spacia      |
|---------------------|-------------------|------------------|--------------------------|------------------|------------------|
| voertuigtype        |                   | personenauto TPV | personenauto TPV         | personenauto TPV | personenauto TPV |
| aandrijflijn        |                   | BEV              | BEV                      | BEV              | BEV              |
| status              |                   | commercieel      | commercieel              | commercieel      | commercieel      |
| lengte              | [m]               | 3.100            | 2.500                    | 2.560            |                  |
| breedte             | [m]               | 1.400            | 1.400                    | 1.360            |                  |
| hoogte              | [m]               | 1.300            | 1.400                    | 1.400            |                  |
| frontaal oppervlak  | [m <sup>2</sup> ] |                  |                          |                  |                  |
| Cw coefficient      |                   |                  |                          |                  |                  |
| rol-weerstand       |                   |                  |                          |                  |                  |
| leeg gewicht        | [kg]              | 820              | 720                      | 750              |                  |
| aantal zitplaatsen  |                   |                  |                          |                  |                  |
| laadgewicht         | [kg]              | 280              | 180                      |                  |                  |
| carrosserie         |                   | conv.            | polycarbonaat            |                  | kunststof        |
| batterijtype        |                   | Pb               | Pb-zuur                  | NiCd             | Pb               |
| batterijspanning    | [V]               |                  |                          |                  |                  |
| batterijcapaciteit  | [Ah]              |                  |                          |                  |                  |
| batterijcapaciteit  | [kWh]             |                  |                          |                  |                  |
| batterijvermogen    | [kW]              |                  |                          |                  |                  |
| batterijgewicht     | [kg]              |                  |                          |                  |                  |
| motortype           |                   |                  | asynchroon               |                  |                  |
| nominaal vermogen   | [kW]              |                  | 12                       |                  |                  |
| piekvermogen        | [kW]              |                  | 16.8                     |                  |                  |
| ICE-type            |                   |                  |                          |                  |                  |
| cylinder-inhoud     | [l]               |                  |                          |                  |                  |
| ICE-vermogen        | [kW]              |                  |                          |                  |                  |
| toerental           | [rpm]             |                  |                          |                  |                  |
| generatortype       |                   |                  |                          |                  |                  |
| generatorvermogen   | [kW]              |                  |                          |                  |                  |
| transmissie         |                   |                  |                          |                  |                  |
| regeneratief remmen |                   |                  |                          |                  |                  |
| acceleratie         | [s]               |                  |                          |                  |                  |
| conditie            |                   |                  |                          |                  |                  |
| maximum snelheid    | [km/h]            | 100              | 100                      | 75 - 80          |                  |
| conditie            |                   |                  |                          |                  |                  |
| maximale helling    |                   |                  |                          |                  |                  |
| actieradius         | [km]              | 60 - 110         | 60 - 80                  | 120              | 40 - 70          |
| conditie            |                   |                  | met Pb-batt.             | met NiCd batt.   |                  |
| energiegebruik      | [kWh/100km]       | 13.7             |                          |                  | 19               |
| brandstofverbruik   | [l/100km]         |                  |                          |                  | 14.2             |
| conditie            |                   | ECE (Biel)       |                          |                  | ECE (Biel)       |
| prijs               | [\$]              |                  |                          |                  |                  |
| prijs               | [gld]             |                  |                          |                  | 44912            |
| prijs               | [Sfr]             | 40550            | 29500                    |                  |                  |
| opmerkingen         |                   |                  |                          |                  |                  |

| EVs & HEVs          | voertuig          | Ligier Optima Sun   |            |  |  |  |
|---------------------|-------------------|---------------------|------------|--|--|--|
| voertuigtype        |                   | personenauto<br>TPV |            |  |  |  |
| aandrijflijn        |                   | BEV                 |            |  |  |  |
| status              |                   | commercieel         |            |  |  |  |
| lengte              | [m]               | 2.500               |            |  |  |  |
| breedte             | [m]               | 1.400               |            |  |  |  |
| hoogte              | [m]               | 1.420               |            |  |  |  |
| frontaal oppervlak  | [m <sup>2</sup> ] |                     |            |  |  |  |
| Cw coefficient      |                   |                     |            |  |  |  |
| rol-weerstand       |                   |                     |            |  |  |  |
| leeg gewicht        | [kg]              | 660                 | 710        |  |  |  |
| aantal zitplaatsen  |                   |                     |            |  |  |  |
| laadgewicht         | [kg]              |                     |            |  |  |  |
| carrosserie         |                   | kunststof           |            |  |  |  |
| batterijtype        |                   | Pb                  |            |  |  |  |
| batterijspanning    | [V]               |                     |            |  |  |  |
| batterijcapaciteit  | [Ah]              |                     |            |  |  |  |
| batterijcapaciteit  | [kWh]             |                     |            |  |  |  |
| batterijvermogen    | [kW]              |                     |            |  |  |  |
| batterijgewicht     | [kg]              |                     |            |  |  |  |
| motortype           |                   |                     |            |  |  |  |
| nominaal vermogen   | [kW]              |                     |            |  |  |  |
| piekvermogen        | [kW]              |                     |            |  |  |  |
| ICE-type            |                   |                     |            |  |  |  |
| cylinder-inhoud     | [l]               |                     |            |  |  |  |
| ICE-vermogen        | [kW]              |                     |            |  |  |  |
| toerental           | [rpm]             |                     |            |  |  |  |
| generatortype       |                   |                     |            |  |  |  |
| generatorvermogen   | [kW]              |                     |            |  |  |  |
| transmissie         |                   |                     |            |  |  |  |
| regeneratief remmen |                   |                     |            |  |  |  |
| acceleratie         | [s]               |                     |            |  |  |  |
| conditie            |                   |                     |            |  |  |  |
| maximum snelheid    | [km/h]            | 100                 |            |  |  |  |
| conditie            |                   |                     |            |  |  |  |
| maximale helling    |                   |                     |            |  |  |  |
| actieradius         | [km]              | 60 - 80             |            |  |  |  |
| conditie            |                   |                     |            |  |  |  |
| energiegebruik      | [kWh/100km]       | 11 - 20             | 14.9       |  |  |  |
| brandstofverbruik   | [l/100km]         |                     |            |  |  |  |
| conditie            |                   |                     | ECE (Biel) |  |  |  |
| prijs               | [\$]              |                     |            |  |  |  |
| prijs               | [gld]             |                     |            |  |  |  |
| prijs               | [\$fr]            |                     |            |  |  |  |
| opmerkingen         |                   |                     |            |  |  |  |



| EVs & HEVs          | voertuig          | VW Citystromer 2e generatie    |                   |            | VW Citystromer 3e generatie |             |                        |
|---------------------|-------------------|--------------------------------|-------------------|------------|-----------------------------|-------------|------------------------|
|                     |                   | personenauto                   |                   |            | personenauto                |             |                        |
| voertuigtype        |                   | personenauto                   |                   |            | personenauto                |             |                        |
| aandrijflijn        |                   | BEV                            |                   |            | BEV                         |             |                        |
| status              |                   | commercieel                    |                   |            | commercieel                 |             |                        |
| lengte              | [m]               | 4.000                          |                   |            | 4.000                       |             |                        |
| breedte             | [m]               | 1.700                          |                   |            | 1.700                       |             |                        |
| hoogte              | [m]               | 1.400                          |                   |            | 1.400                       |             |                        |
| frontaal oppervlak  | [m <sup>2</sup> ] |                                |                   |            |                             |             |                        |
| Cw coefficient      |                   |                                |                   |            |                             |             |                        |
| rol-weerstand       |                   |                                |                   |            |                             |             |                        |
| leeg gewicht        | [kg]              | 1495                           |                   |            | 1514                        |             |                        |
| aantal zitplaatsen  |                   | 4                              |                   |            | 4                           |             |                        |
| laadgewicht         | [kg]              | 320                            |                   |            | 346                         |             |                        |
| carrosserie         |                   | conversie                      |                   |            | conversie                   |             |                        |
| batterijtype        |                   | Sonnenschein<br>DryFit Pb-zuur |                   |            | Pb-gel                      |             |                        |
| batterijspanning    | [V]               | 96                             |                   |            | 96                          |             |                        |
| batterijcapaciteit  | [Ah]              | 160                            |                   |            |                             |             |                        |
| batterijcapaciteit  | [kWh]             | 15.4                           |                   |            | 11.4                        |             |                        |
| batterijvermogen    | [kW]              |                                |                   |            |                             |             |                        |
| batterijgewicht     | [kg]              | 504                            |                   |            | 480                         |             |                        |
| motortype           |                   | DC separately<br>excited       |                   |            | synchroon                   |             |                        |
| nominaal vermogen   | [kW]              |                                |                   |            | 17.5                        |             |                        |
| piekvermogen        | [kW]              |                                |                   |            |                             |             |                        |
| ICE-type            |                   |                                |                   |            |                             |             |                        |
| cylinder-inhoud     | [l]               |                                |                   |            |                             |             |                        |
| ICE-vermogen        | [kW]              |                                |                   |            |                             |             |                        |
| toerental           | [rpm]             |                                |                   |            |                             |             |                        |
| generatortype       |                   |                                |                   |            |                             |             |                        |
| generatorvermogen   | [kW]              |                                |                   |            |                             |             |                        |
| transmissie         |                   |                                |                   |            | 5 speed                     |             |                        |
| regeneratief remmen |                   | ja                             |                   |            | ja                          |             |                        |
| acceleratie         | [s]               | 15                             |                   |            | 6                           | 13          | 27                     |
| conditie            |                   | 0 - 50                         |                   |            | 0 - 30                      | 0 - 50      | 0 - 70                 |
| maximum snelheid    | [km/h]            | 100                            |                   |            | 100                         |             |                        |
| conditie            |                   |                                |                   |            |                             |             |                        |
| maximale helling    |                   |                                |                   |            | 20%                         |             |                        |
| actieradius         | [km]              | 50 - 90                        | 40 - 65           | 64         | 70 - 90                     | 60 - 80     | 50 - 60                |
| conditie            |                   |                                | dagelijks verkeer | ECE R15-04 | bij 50 km/h                 | bij 80 km/h | urban ISO/CD<br>8714-1 |
| energiegebruik      | [kWh/100km]       | 20.8                           | 17                | 30         | 20.8                        |             |                        |
| brandstofverbruik   | [l/100km]         |                                |                   |            |                             |             |                        |
| conditie            |                   |                                | 50 km/h           | ECE R15-04 | EMGV urban<br>cycle         |             |                        |
| prijs               | [\$]              |                                |                   |            |                             |             |                        |
| prijs               | [gld]             |                                |                   |            |                             |             |                        |
| prijs               | [Sfr]             | 41000                          |                   |            | 41000                       |             |                        |
| opmerkingen         |                   |                                |                   |            |                             |             |                        |

| EVs & HEVs          | voertuig          | Fiat Panda Elettra | Torpedo Marbella           | BMW 3 serie  |         |
|---------------------|-------------------|--------------------|----------------------------|--------------|---------|
| voertuigtype        |                   | personenauto       | personenauto               | personenauto |         |
| aandrijflijn        |                   | BEV                | BEV                        | BEV          |         |
| status              |                   | commercieel        | commercieel                | prototype    |         |
| lengte              | [m]               | 3.410              | 3.410                      |              |         |
| breedte             | [m]               | 1.490              | 1.490                      |              |         |
| hoogte              | [m]               | 1.420              | 1.420                      |              |         |
| frontaal oppervlak  | [m <sup>2</sup> ] |                    |                            |              |         |
| Cw coefficient      |                   |                    |                            |              |         |
| rol-weerstand       |                   |                    |                            |              |         |
| leeg gewicht        | [kg]              | 1130               | 1150                       | 1320         |         |
| aantal zitplaatsen  |                   | 4                  | 2                          | 4            |         |
| laadgewicht         | [kg]              | 360                | 290                        |              |         |
| carrosserie         |                   | conversie          | conversie                  | conversie    |         |
| batterijtype        |                   | Pb                 |                            | NaNiCl       |         |
| batterijspanning    | [V]               |                    |                            |              |         |
| batterijcapaciteit  | [Ah]              |                    |                            |              |         |
| batterijcapaciteit  | [kWh]             |                    |                            |              |         |
| batterijvermogen    | [kW]              |                    |                            |              |         |
| batterijgewicht     | [kg]              |                    |                            |              |         |
| motortype           |                   |                    |                            | AC inductie  |         |
| nominaal vermogen   | [kW]              |                    |                            | 33           |         |
| piekvermogen        | [kW]              |                    |                            |              |         |
| ICE-type            |                   |                    |                            |              |         |
| cylinder-inhoud     | [l]               |                    |                            |              |         |
| ICE-vermogen        | [kW]              |                    |                            |              |         |
| toerental           | [rpm]             |                    |                            |              |         |
| generatortype       |                   |                    |                            |              |         |
| generatorvermogen   | [kW]              |                    |                            |              |         |
| transmissie         |                   |                    |                            |              |         |
| regeneratief remmen |                   |                    |                            |              |         |
| acceleratie         | [s]               |                    |                            | 6            | 30      |
| conditie            |                   |                    |                            | 0 - 50       | 0 - 100 |
| maximum snelheid    | [km/h]            | 90                 | 70                         |              |         |
| conditie            |                   |                    |                            |              |         |
| maximale helling    |                   |                    |                            |              |         |
| actieradius         | [km]              | 60 - 80            | 70                         | 110          | 135     |
| conditie            |                   |                    |                            | stadsverkeer | snelweg |
| energiegebruik      | [kWh/100km]       | 20 - 25            | 23                         |              |         |
| brandstofverbruik   | [l/100km]         |                    |                            |              |         |
| conditie            |                   |                    | ECE (Biel)                 |              |         |
| prijs               | [\$]              |                    |                            |              |         |
| prijs               | [gld]             | 42500              |                            |              |         |
| prijs               | [\$fr]            | 28300              | 28850                      |              |         |
| opmerkingen         |                   |                    | kan ECE cyclus niet volgen |              |         |



| EVs & HEVs          | voertuig    | BMW E1       | Stromboli |         |            |                       |                 |
|---------------------|-------------|--------------|-----------|---------|------------|-----------------------|-----------------|
| voertuigtype        |             | personenauto |           |         |            | personenauto          |                 |
| aandrijflijn        |             | BEV          |           |         |            | BEV                   |                 |
| status              |             | prototype    |           |         |            | prototype             |                 |
| lengte              | [m]         | 3.400        |           |         |            | 3.230                 |                 |
| breedte             | [m]         |              |           |         |            | 1.470                 |                 |
| hoogte              | [m]         | 1.500        |           |         |            | 1.420                 |                 |
| frontaal oppervlak  | [m^2]       |              |           |         |            |                       |                 |
| Cw coefficient      |             |              |           |         |            |                       |                 |
| rol-weerstand       |             |              |           |         |            |                       |                 |
| leeg gewicht        | [kg]        | 952          |           |         |            | 750                   | 550 excl. batt. |
| aantal zitplaatsen  |             | 4            |           |         |            | 4                     | 2 + 1.5 m^3     |
| laadgewicht         | [kg]        |              |           |         |            |                       |                 |
| carrosserie         |             | kunststof    |           |         |            | alu frame + kunststof |                 |
| batterijtype        |             | NaS          |           | NaNiCl  |            | NiMH                  |                 |
| batterijspanning    | [V]         | 120          |           |         |            |                       |                 |
| batterijcapaciteit  | [Ah]        |              |           |         |            |                       |                 |
| batterijcapaciteit  | [kWh]       | 19.2         |           | 19      |            |                       |                 |
| batterijvermogen    | [kW]        |              |           |         |            |                       |                 |
| batterijgewicht     | [kg]        |              |           |         |            |                       |                 |
| motortype           |             | AC inductie  |           |         |            |                       |                 |
| nominaal vermogen   | [kW]        | 32           |           |         |            |                       |                 |
| piekvermogen        | [kW]        |              |           |         |            |                       |                 |
| ICE-type            |             |              |           |         |            |                       |                 |
| cylinder-inhoud     | [l]         |              |           |         |            |                       |                 |
| ICE-vermogen        | [kW]        |              |           |         |            |                       |                 |
| toerental           | [rpm]       |              |           |         |            |                       |                 |
| generatortype       |             |              |           |         |            |                       |                 |
| generatorvermogen   | [kW]        |              |           |         |            |                       |                 |
| transmissie         |             |              |           |         |            |                       |                 |
| regeneratief remmen |             |              |           |         |            |                       |                 |
| acceleratie         | [s]         | 6            | 12.7      | 18      | 7          |                       |                 |
| conditie            |             | 0 - 50       | 0 - 80    | 0 - 100 | 0 - 50     |                       |                 |
| maximum snelheid    | [km/h]      | 120          | 125       |         | 120        |                       |                 |
| conditie            |             |              |           |         |            |                       |                 |
| maximale helling    |             |              |           |         |            |                       |                 |
| actieradius         | [km]        | 240          | 265       | 155     | 80 - 200   | 65 - 160              | 40 - 80         |
| conditie            |             | stadsverkeer | snelweg   | FTP 75  | NiMH batt. | NiCd batt.            | Pb batt.        |
| energiegebruik      | [kWh/100km] | 8.5          |           |         | < 10       |                       |                 |
| brandstofverbruik   | [l/100km]   |              |           |         |            |                       |                 |
| conditie            |             |              |           |         |            |                       |                 |
| prijs               | [\$]        |              |           |         |            |                       |                 |
| prijs               | [gld]       |              |           |         |            |                       |                 |
| prijs               | [Sfr]       |              |           |         |            |                       |                 |
| opmerkingen         |             |              |           |         |            |                       |                 |

| EVs & HEVs          |                   | voertuig | Hotzenblitz           |                         | ESORO E301   |            | PIVCO CityBee           |
|---------------------|-------------------|----------|-----------------------|-------------------------|--------------|------------|-------------------------|
| voertuigtype        |                   |          | personenauto          |                         | personenauto |            | personenauto            |
| aandrijftijl        |                   |          | BEV                   |                         | BEV          |            | BEV                     |
| status              |                   |          | prototype             |                         | prototype    |            | pre-commercieel         |
| lengte              | [m]               |          | 2.700                 |                         | 3.070        |            |                         |
| breedte             | [m]               |          | 1.480                 |                         | 1.550        |            |                         |
| hoogte              | [m]               |          | 1.500                 |                         | 1.420        |            |                         |
| frontaal oppervlak  | [m <sup>2</sup> ] |          |                       |                         |              |            |                         |
| Cw coefficient      |                   |          |                       |                         |              |            |                         |
| rol-weerstand       |                   |          |                       |                         |              |            |                         |
| leeg gewicht        | [kg]              |          | 650                   | 830                     | 620          |            | 799                     |
| aantal zitplaatsen  |                   |          | 4                     |                         | 2            |            | 2                       |
| laadgewicht         | [kg]              |          | 400                   |                         |              |            |                         |
| carrosserie         |                   |          | alu frame + composite | staal frame + composite | lichtgewicht |            | alu frame + thermoplast |
| batterijtype        |                   |          | Pb-gel                |                         |              |            | Saft STM 1.60 NiCd      |
| batterijspanning    | [V]               |          | 168                   |                         |              |            | 120                     |
| batterijcapaciteit  | [Ah]              |          | 60                    |                         |              |            | 60                      |
| batterijcapaciteit  | [kWh]             |          | 10.08                 |                         |              |            | 7.2                     |
| batterijvermogen    | [kW]              |          |                       |                         |              |            |                         |
| batterijgewicht     | [kg]              |          |                       |                         |              |            | 198                     |
| motortype           |                   |          |                       |                         |              |            | AC asynchroon           |
| nominaal vermogen   | [kW]              |          |                       |                         |              |            |                         |
| piekvermogen        | [kW]              |          |                       |                         |              |            |                         |
| ICE-type            |                   |          |                       |                         |              |            |                         |
| cylinder-inhoud     | [l]               |          |                       |                         |              |            |                         |
| ICE-vermogen        | [kW]              |          |                       |                         |              |            |                         |
| toerental           | [rpm]             |          |                       |                         |              |            |                         |
| generatortype       |                   |          |                       |                         |              |            |                         |
| generatorvermogen   | [kW]              |          |                       |                         |              |            |                         |
| transmissie         |                   |          |                       |                         |              |            |                         |
| regeneratief remmen |                   |          |                       |                         | ja           |            |                         |
| acceleratie         | [s]               |          | 5.8                   |                         |              |            | 11                      |
| conditie            |                   |          | 0 - 60                |                         |              |            | 0 - 50                  |
| maximum snelheid    | [km/h]            |          | 120                   |                         | 120          |            | 77                      |
| conditie            |                   |          |                       |                         |              |            |                         |
| maximale helling    |                   |          | 18%                   |                         |              |            |                         |
| actieradius         | [km]              |          | 80                    |                         | 100 - 150    |            | 63                      |
| conditie            |                   |          |                       |                         |              |            | ECE R15-04              |
| energiegebruik      | [kWh/100km]       |          | 10 - 12               |                         | 4.5 - 7      | 10.3       | 13                      |
| brandstofverbruik   | [l/100km]         |          |                       |                         |              |            |                         |
| conditie            |                   |          |                       |                         |              | ECE (Biel) | 50 km/h                 |
| prijs               | [\$]              |          |                       |                         |              |            | 15400                   |
| prijs               | [gld]             |          |                       |                         |              |            |                         |
| prijs               | [\$tr]            |          |                       |                         |              |            |                         |
| opmerkingen         |                   |          |                       |                         |              |            |                         |

| EVs & HEVs          |             | voertuig | Horiacher / Pantila Coupe | Toyota RAV4 EV  |         | Honda EV        |  |
|---------------------|-------------|----------|---------------------------|-----------------|---------|-----------------|--|
| voertuigtype        |             |          | personenauto              | personenauto    |         | personenauto    |  |
| aandrijflijn        |             |          | BEV                       | BEV             |         | BEV             |  |
| status              |             |          | prototype                 | pre-commercieel |         | pre-commercieel |  |
| lengte              | [m]         |          | 4.140                     | 3.962           | 4.110   | 4.045           |  |
| breedte             | [m]         |          | 1.750                     | 1.702           | 1.690   | 1.750           |  |
| hoogte              | [m]         |          | 1.610                     | 1.677           | 1.620   | 1.630           |  |
| frontaal oppervlak  | [m^2]       |          |                           |                 |         |                 |  |
| Cw coefficient      |             |          |                           |                 |         |                 |  |
| rol-weerstand       |             |          |                           |                 |         |                 |  |
| leeg gewicht        | [kg]        |          | 1090                      | 1530            | 1464    | 1615            |  |
| aantal zitplaatsen  |             |          | 4                         | 4               |         | 4               |  |
| laadgewicht         | [kg]        |          | 320                       |                 |         |                 |  |
| carrosserie         |             |          | composite + frame         | conversie       |         | purpose design  |  |
| batterijtype        |             |          | NaNiCl                    | Matsushita NiMH |         | NiMH            |  |
| batterijspanning    | [V]         |          | 284                       | 288             |         | 288             |  |
| batterijcapaciteit  | [Ah]        |          | 90                        |                 |         | 285             |  |
| batterijcapaciteit  | [kWh]       |          | 25                        |                 |         |                 |  |
| batterijvermogen    | [kW]        |          |                           |                 |         |                 |  |
| batterijgewicht     | [kg]        |          | 320                       |                 |         |                 |  |
| motortype           |             |          | AC                        | PM              |         | DC brushless    |  |
| nominaal vermogen   | [kW]        |          |                           |                 |         |                 |  |
| piekvermogen        | [kW]        |          | 36                        | 45              |         | 49              |  |
| ICE-type            |             |          |                           |                 |         |                 |  |
| cilinder-inhoud     | [l]         |          |                           |                 |         |                 |  |
| ICE-vermogen        | [kW]        |          |                           |                 |         |                 |  |
| toerental           | [rpm]       |          |                           |                 |         |                 |  |
| generatortype       |             |          |                           |                 |         |                 |  |
| generatorvermogen   | [kW]        |          |                           |                 |         |                 |  |
| transmissie         |             |          | direct                    | single speed    |         |                 |  |
| regeneratief remmen |             |          |                           |                 |         | ja              |  |
| acceleratie         | [s]         |          | 7                         | 17.5            |         | 18.7            |  |
| conditie            |             |          | 0 - 50                    | 0 - 96          |         | 0 - 96          |  |
| maximum snelheid    | [km/h]      |          | 120                       | 127 begrensd    |         | 130             |  |
| conditie            |             |          |                           |                 |         |                 |  |
| maximale helling    |             |          |                           |                 |         |                 |  |
| actieradius         | [km]        |          | 140                       | 210             | 170     | 210 - 350       |  |
| conditie            |             |          | stadsverkeer              | stadsverkeer    | snelweg |                 |  |
| energiegebruik      | [kWh/100km] |          | 18                        |                 |         |                 |  |
| brandstofverbruik   | [l/100km]   |          |                           |                 |         |                 |  |
| conditie            |             |          |                           |                 |         |                 |  |
| prijs               | [\$]        |          |                           | 30000           |         |                 |  |
| prijs               | [gld]       |          |                           |                 |         |                 |  |
| prijs               | [\$tr]      |          |                           |                 |         |                 |  |
| opmerkingen         |             |          |                           |                 |         |                 |  |

| EVs & HEVs          |             | voertuig | Nissan Prairie Joy Electric | Fiat Downtown |        | Luciole (Daihatsu)     |              |
|---------------------|-------------|----------|-----------------------------|---------------|--------|------------------------|--------------|
| voertuigtype        |             |          | personenauto                | personenauto  |        | personenauto           |              |
| aandrijflijn        |             |          | BEV                         | BEV           |        | BEV                    |              |
| status              |             |          | pre-commercieel             | prototype     |        | prototype              |              |
| lengte              | [m]         |          | 5.545                       | 2.500         |        |                        |              |
| breedte             | [m]         |          | 1.690                       | 1.500         |        | smal !!                |              |
| hoogte              | [m]         |          | 1.695                       |               |        |                        |              |
| frontaal oppervlak  | [m^2]       |          |                             |               |        |                        |              |
| Cw coefficient      |             |          |                             |               |        |                        |              |
| rol-weerstand       |             |          |                             | 0,075         |        |                        |              |
| leeg gewicht        | [kg]        |          | 1690                        |               |        |                        |              |
| aantal zitplaatsen  |             |          |                             | 3             |        | 2 achter               | elkaar       |
| laadgewicht         | [kg]        |          |                             |               |        |                        |              |
| carrosserie         |             |          | conversie                   |               |        | kunststof              |              |
| batterijtype        |             |          | Li-ion                      | NaS           |        | Pb valve regulated     |              |
| batterijspanning    | [V]         |          |                             | 108           |        |                        |              |
| batterijcapaciteit  | [Ah]        |          |                             | 160           |        |                        |              |
| batterijcapaciteit  | [kWh]       |          |                             |               |        |                        |              |
| batterijvermogen    | [kW]        |          |                             | 18.6          |        |                        |              |
| batterijgewicht     | [kg]        |          | 300                         | 169           |        |                        |              |
| motortype           |             |          | PM synchroon                | 2x naaf       |        | brushless DC (2 stuks) |              |
| nominaal vermogen   | [kW]        |          |                             |               |        | 72                     |              |
| piekvermogen        | [kW]        |          | 62                          |               |        |                        |              |
| ICE-type            |             |          |                             |               |        |                        |              |
| cylinder-inhoud     | [l]         |          |                             |               |        |                        |              |
| ICE-vermogen        | [kW]        |          |                             |               |        |                        |              |
| toerental           | [rpm]       |          |                             |               |        |                        |              |
| generatortype       |             |          |                             |               |        |                        |              |
| generatorvermogen   | [kW]        |          |                             |               |        |                        |              |
| transmissie         |             |          |                             |               |        |                        |              |
| regeneratief remmen |             |          |                             |               |        | ja                     |              |
| acceleratie         | [s]         |          |                             |               |        |                        |              |
| conditie            |             |          |                             |               |        |                        |              |
| maximum sneiheid    | [km/h]      |          | 120                         | 100           |        | 130                    |              |
| conditie            |             |          |                             |               |        |                        |              |
| maximale helling    |             |          |                             |               |        |                        |              |
| actieradius         | [km]        |          | > 200                       | 190           | 300    | 140                    | 130          |
| conditie            |             |          |                             | stadsyclus    | 50km/u | bij 80 km/h            | stadsverkeer |
| energiegebruik      | [kWh/100km] |          |                             |               |        |                        |              |
| brandstofverbruik   | [l/100km]   |          |                             |               |        |                        |              |
| conditie            |             |          |                             |               |        |                        |              |
| prijs               | [\$]        |          |                             |               |        |                        |              |
| prijs               | [gld]       |          |                             |               |        |                        |              |
| prijs               | [Sfr]       |          |                             |               |        |                        |              |
| opmerkingen         |             |          |                             |               |        |                        |              |

| EVs & HEVs          | voertuig    | GM EV1                |                              |                  | Ethos 3 EV      |                            |
|---------------------|-------------|-----------------------|------------------------------|------------------|-----------------|----------------------------|
| voertuigtype        |             | personenauto          |                              |                  | personenauto    |                            |
| aandrijflijn        |             | BEV                   |                              |                  | BEV             |                            |
| status              |             | commercieel           |                              |                  | prototype       |                            |
| lengte              | [m]         | 4.309                 |                              |                  | 3.365           |                            |
| breedte             | [m]         | 1.766                 |                              |                  | 1.690           |                            |
| hoogte              | [m]         | 1.281                 |                              |                  | 1.470           |                            |
| frontaal oppervlak  | [m^2]       | 1.89                  |                              |                  |                 |                            |
| Cw coefficient      |             | 0.19                  |                              |                  | 0.31            | Cd*S = 0.66                |
| rol-weerstand       |             |                       |                              |                  |                 |                            |
| leeg gewicht        | [kg]        | 1350                  |                              |                  | 1406            | 1180 (design)              |
| aantal zitplaatsen  |             | 2                     |                              |                  |                 |                            |
| laadgewicht         | [kg]        | 200                   |                              |                  |                 |                            |
| carrosserie         |             | alu frame + kunststof |                              |                  | kunststof ?     |                            |
| batterijtype        |             | Pb valve regulated    |                              |                  | Ovonics NiMH    | 430 kg                     |
| batterijspanning    | [V]         | 312                   |                              |                  | 312             |                            |
| batterijcapaciteit  | [Ah]        | 53                    |                              |                  | 90              |                            |
| batterijcapaciteit  | [kWh]       | 16.5                  |                              |                  |                 | 70 Wh/kg                   |
| batterijvermogen    | [kW]        |                       |                              |                  |                 | 220 W/kg                   |
| batterijgewicht     | [kg]        | 533                   |                              |                  |                 |                            |
| motortype           |             | AC inductie 3 fase    |                              |                  | PM brushless DC |                            |
| nominaal vermogen   | [kW]        | 102                   |                              |                  | 32              |                            |
| piekvermogen        | [kW]        |                       |                              |                  | 53              |                            |
| ICE-type            |             |                       |                              |                  |                 |                            |
| cylinder-inhoud     | [l]         |                       |                              |                  |                 |                            |
| ICE-vermogen        | [kW]        |                       |                              |                  |                 |                            |
| toerental           | [rpm]       |                       |                              |                  |                 |                            |
| generatortype       |             |                       |                              |                  |                 |                            |
| generatorvermogen   | [kW]        |                       |                              |                  |                 |                            |
| transmissie         |             |                       |                              |                  | fixed ratio     |                            |
| regeneratief remmen |             | ja                    |                              |                  |                 |                            |
| acceleratie         | [s]         | 6.5                   | 9                            |                  | 11.2            | 3.2                        |
| conditie            |             | 0 - 80                | 0 - 100                      |                  | 0 - 96          | 0 - 48                     |
| maximum snelheid    | [km/h]      | 128                   |                              |                  | 126             |                            |
| conditie            |             |                       |                              |                  |                 |                            |
| maximale helling    |             | 53%                   |                              |                  | 21%             | 36%                        |
| actieradius         | [km]        | 110                   | 125                          | 145              | 240             | 205                        |
| conditie            |             | stadsverkeer          | SAE J1634                    | snelweg          | bij 72.4 km/h   | bij 80.5 km/h              |
| energiegebruik      | [kWh/100km] | 10                    | 18.6                         | 15.5             |                 |                            |
| brandstofverbruik   | [l/100km]   |                       |                              |                  |                 |                            |
| conditie            |             | SAE J1634             | EPA test city                | EPA test highway |                 |                            |
| prijs               | [\$]        | 33995                 | 30595                        |                  |                 |                            |
| prijs               | [gld]       |                       |                              |                  |                 |                            |
| prijs               | [Sfr]       |                       |                              |                  |                 |                            |
| opmerkingen         |             |                       | prijs met federal tax credit |                  | prototype       | Ovonics 70 Wh/kg, 220 W/kg |

| EVs & HEVs          |             | voertuig | Solectria Force Sedan | Solectria Force Sedan | Solectria Sunrise    |
|---------------------|-------------|----------|-----------------------|-----------------------|----------------------|
| voertuigtype        |             |          | personenauto          | personenauto          | personenauto         |
| aandrijflijn        |             |          | BEV                   | BEV                   | BEV                  |
| status              |             |          | commercieel           | commercieel           | prototype            |
| lengte              | [m]         |          | 4.166                 | 4.166                 |                      |
| breedte             | [m]         |          | 1.778                 | 1.778                 |                      |
| hoogte              | [m]         |          | 1.422                 | 1.422                 |                      |
| frontaal oppervlak  | [m^2]       |          |                       |                       |                      |
| Cw coefficient      |             |          |                       |                       |                      |
| rol-weerstand       |             |          |                       |                       |                      |
| leeg gewicht        | [kg]        |          | 1115                  | 1115                  |                      |
| aantal zitplaatsen  |             |          | 4                     | 4                     | 2                    |
| laadgewicht         | [kg]        |          |                       |                       |                      |
| carrosserie         |             |          | conversie             | conversie             | kunststof            |
| batterijtype        |             |          | Pb-zuur               | Ovonics NiMH          | Ovonics NiMH         |
| batterijspanning    | [V]         |          |                       |                       |                      |
| batterijcapaciteit  | [Ah]        |          |                       |                       |                      |
| batterijcapaciteit  | [kWh]       |          |                       |                       |                      |
| batterijvermogen    | [kW]        |          |                       |                       |                      |
| batterijgewicht     | [kg]        |          |                       |                       |                      |
| motortype           |             |          | AC induction          | AC induction          |                      |
| nominaal vermogen   | [kW]        |          |                       |                       |                      |
| piekvermogen        | [kW]        |          | 42                    | 42                    |                      |
| ICE-type            |             |          |                       |                       |                      |
| cylinder-inhoud     | [l]         |          |                       |                       |                      |
| ICE-vermogen        | [kW]        |          |                       |                       |                      |
| toerental           | [rpm]       |          |                       |                       |                      |
| generatortype       |             |          |                       |                       |                      |
| generatorvermogen   | [kW]        |          |                       |                       |                      |
| transmissie         |             |          |                       |                       |                      |
| regeneratief remmen |             |          |                       |                       |                      |
| acceleratie         | [s]         |          | 8                     | 18                    | 8                    |
| conditie            |             |          | 0 - 50                | 0 - 80                | 0 - 50               |
| maximum snelheid    | [km/h]      |          | 110                   | 110                   | 110                  |
| conditie            |             |          |                       |                       |                      |
| maximale helling    |             |          |                       |                       |                      |
| actieradius         | [km]        |          | 105                   | 170                   | 595                  |
| conditie            |             |          | bij 72 km/h           | bij 72 km/h           | American Tour de Sol |
| energiegebruik      | [kWh/100km] |          |                       |                       |                      |
| brandstofverbruik   | [l/100km]   |          |                       |                       |                      |
| conditie            |             |          |                       |                       |                      |
| prijs               | [\$]        |          | 24980                 |                       |                      |
| prijs               | [gld]       |          |                       |                       |                      |
| prijs               | [\$tr]      |          |                       |                       |                      |
| opmerkingen         |             |          |                       |                       |                      |

| EVs & HEVs          |                   | voertuig | BMW 316is    |         | Volvo ECC            |                 | Peugeot 406<br>Hybride V.E.R.T. 2 |
|---------------------|-------------------|----------|--------------|---------|----------------------|-----------------|-----------------------------------|
| voertuigtype        |                   |          | personenauto |         | personenauto         |                 | personenauto                      |
| aandrijflijn        |                   |          | serie HEV    |         | serie HEV            |                 | serie HEV                         |
| status              |                   |          | prototype    |         | prototype            | 1992            | prototype                         |
| lengte              | [m]               |          |              |         |                      |                 |                                   |
| breedte             | [m]               |          |              |         |                      |                 |                                   |
| hoogte              | [m]               |          |              |         |                      |                 |                                   |
| frontaal oppervlak  | [m <sup>2</sup> ] |          |              |         |                      |                 |                                   |
| Cw coefficient      |                   |          |              |         |                      |                 |                                   |
| rol-weerstand       |                   |          |              |         |                      |                 |                                   |
| leeg gewicht        | [kg]              |          | 1600         |         | 1580                 |                 |                                   |
| aantal zitplaatsen  |                   |          | 4            |         | 4                    |                 |                                   |
| laadgewicht         | [kg]              |          |              |         |                      |                 |                                   |
| carrosserie         |                   |          | conversie    |         |                      |                 | conversie                         |
| batterijtype        |                   |          | NaNiCl       |         | NiCd                 |                 |                                   |
| batterijspanning    | [V]               |          |              |         |                      |                 |                                   |
| batterijcapaciteit  | [Ah]              |          |              |         |                      |                 |                                   |
| batterijcapaciteit  | [kWh]             |          | 17.8         |         | 16.8                 |                 | 8.5                               |
| batterijvermogen    | [kW]              |          | 27           |         |                      |                 |                                   |
| batterijgewicht     | [kg]              |          | 200          |         | 350                  |                 |                                   |
| motortype           |                   |          | Piller       |         | AC                   |                 | DC                                |
| nominaal vermogen   | [kW]              |          |              |         | 50                   |                 |                                   |
| piekvermogen        | [kW]              |          | 64           |         | 70                   |                 | 45                                |
| ICE-type            |                   |          | otto         | benzine | gasturbine op diesel |                 | gas-turbine<br>diesel             |
| cylinder-inhoud     | [l]               |          |              |         |                      |                 |                                   |
| ICE-vermogen        | [kW]              |          | 37           |         | 40                   |                 | 37<br>290 g/kWh                   |
| toerental           | [rpm]             |          |              |         | 90000                |                 |                                   |
| generatortype       |                   |          |              |         |                      |                 |                                   |
| generatorvermogen   | [kW]              |          | 37           |         |                      |                 |                                   |
| transmissie         |                   |          |              |         | 2 versn. automaat    |                 |                                   |
| regeneratief remmen |                   |          |              |         | ja                   |                 |                                   |
| acceleratie         | [s]               |          |              |         |                      |                 |                                   |
| conditie            |                   |          |              |         |                      |                 |                                   |
| maximum snelheid    | [km/h]            |          | 130          |         | 175                  |                 |                                   |
| conditie            |                   |          |              |         |                      |                 |                                   |
| maximale helling    |                   |          |              |         |                      |                 |                                   |
| actieradius         | [km]              |          | 68           |         | 85                   | 146             |                                   |
| conditie            |                   |          | FTP 75       |         | ZEV stadsverkeer     | ZEV bij 50 km/h |                                   |
| energiegebruik      | [kWh/100km]       |          | 15.1         | 15.2    |                      |                 |                                   |
| brandstofverbruik   | [l/100km]         |          | 8.8          | 7.4     |                      |                 |                                   |
| conditie            |                   |          | FTP 75       | highway |                      |                 |                                   |
| prijs               | [\$]              |          |              |         |                      |                 |                                   |
| prijs               | [gld]             |          |              |         |                      |                 |                                   |
| prijs               | [Sfr]             |          |              |         |                      |                 |                                   |
| opmerkingen         |                   |          |              |         |                      |                 |                                   |

| EVs & HEVs          |                   | voertuig | Renault Next         | ESORO H301           |               |                |
|---------------------|-------------------|----------|----------------------|----------------------|---------------|----------------|
| voertuigtype        |                   |          | personenauto         | personenauto         |               |                |
| aandrijflijn        |                   |          | parallel HEV         | HEV parallel + serie |               |                |
| status              |                   |          | prototype            | prototype            |               |                |
| lengte              | [m]               |          | 4.000                | 3.000                |               |                |
| breedte             | [m]               |          | 1.750                | 1.500                |               |                |
| hoogte              | [m]               |          |                      | 1.430                |               |                |
| frontaal oppervlak  | [m <sup>2</sup> ] |          |                      | 1.8                  |               |                |
| Cw coefficient      |                   |          |                      | 0.24                 |               |                |
| rol-weerstand       |                   |          |                      | 0.08                 |               |                |
| leeg gewicht        | [kg]              |          | 910                  | 710                  |               |                |
| aantal zitplaatsen  |                   |          | 5                    | 4                    |               |                |
| laadgewicht         | [kg]              |          |                      |                      |               |                |
| carrosserie         |                   |          | aluminium + koolstof | lichtgewicht         |               |                |
| batterijtype        |                   |          |                      | NiCd                 |               |                |
| batterijspanning    | [V]               |          |                      | 180                  |               |                |
| batterijcapaciteit  | [Ah]              |          |                      |                      |               |                |
| batterijcapaciteit  | [kWh]             |          |                      | 9                    |               |                |
| batterijvermogen    | [kW]              |          |                      |                      |               |                |
| batterijgewicht     | [kg]              |          | 150                  | 230                  |               |                |
| motortype           |                   |          |                      | asynchroon           |               |                |
| nominaal vermogen   | [kW]              |          | 7                    |                      | 12            |                |
| piekvermogen        | [kW]              |          |                      | 34                   |               |                |
| ICE-type            |                   |          |                      | 2 cyl. boxer         |               |                |
| cylinder-inhoud     | [l]               |          | 0.75                 | 0.36                 |               |                |
| ICE-vermogen        | [kW]              |          | 35                   | 20                   | 255 g/kWh     | 275 g/kWh      |
| toerental           | [rpm]             |          |                      | 6000                 |               |                |
| generatortype       |                   |          |                      | geen                 |               |                |
| generatorvermogen   | [kW]              |          |                      |                      |               |                |
| transmissie         |                   |          |                      | vaste verhouding     |               |                |
| regeneratief remmen |                   |          | ja                   | ja                   |               |                |
| acceleratie         | [s]               |          |                      | 5                    | 9             |                |
| conditie            |                   |          |                      | 0 - 50               | 0 - 80        |                |
| maximum snelheid    | [km/h]            |          | 142                  | 167                  |               |                |
| conditie            |                   |          | ICE                  | ICE + elektr.        |               |                |
| maximale helling    |                   |          |                      |                      |               |                |
| actieradius         | [km]              |          |                      | 70 - 100             | 800           | 500            |
| conditie            |                   |          |                      | elektrisch           | hybr. 90 km/h | hybr. 120 km/h |
| energiegebruik      | [kWh/100km]       |          |                      | 14                   |               |                |
| brandstofverbruik   | [l/100km]         |          | 3.4                  |                      | 2.6           | 3.9            |
| conditie            |                   |          | MVEG                 | ECE elektrisch       | 90 km/h       | 120 km/h       |
| prijs               | [\$]              |          |                      |                      |               |                |
| prijs               | [gld]             |          |                      |                      |               |                |
| prijs               | [Sfr]             |          |                      |                      |               |                |
| opmerkingen         |                   |          |                      |                      |               |                |



| EVs & HEVs          |                   | voertuig | Siemens                          | Renault Espace Vert                |                   | Audi A4 DUO III           |            |
|---------------------|-------------------|----------|----------------------------------|------------------------------------|-------------------|---------------------------|------------|
| voertuigtype        |                   |          | personenauto                     | MPV                                |                   | personenauto              |            |
| aandrijflijn        |                   |          | HEV parallel                     | serie HEV                          |                   | HEV (ICE of EM)           |            |
| status              |                   |          | demonstrator                     | prototype                          |                   | pre-commercieel           |            |
| lengte              | [m]               |          |                                  |                                    |                   |                           |            |
| breedte             | [m]               |          |                                  |                                    |                   |                           |            |
| hoogte              | [m]               |          |                                  |                                    |                   |                           |            |
| frontaal oppervlak  | [m <sup>2</sup> ] |          |                                  |                                    |                   |                           |            |
| Cw coefficient      |                   |          |                                  |                                    |                   |                           |            |
| rol-weerstand       |                   |          |                                  |                                    |                   |                           |            |
| leeg gewicht        | [kg]              |          | 1480 - 1800                      | 1875                               |                   |                           |            |
| aantal zitplaatsen  |                   |          |                                  | 7                                  |                   |                           |            |
| laadgewicht         | [kg]              |          |                                  |                                    |                   |                           |            |
| carrosserie         |                   |          | ???                              | conversie                          |                   | conversie                 |            |
| batterijtype        |                   |          | NaS                              | NiCd                               |                   | Pb zuur                   |            |
| batterijspanning    | [V]               |          |                                  |                                    |                   | 264                       |            |
| batterijcapaciteit  | [Ah]              |          |                                  |                                    |                   | 10                        |            |
| batterijcapaciteit  | [kWh]             |          |                                  |                                    |                   |                           |            |
| batterijvermogen    | [kW]              |          | 20                               |                                    |                   |                           |            |
| batterijgewicht     | [kg]              |          |                                  |                                    |                   | 320                       |            |
| motortype           |                   |          | PM AC                            |                                    |                   | AC synchroon              |            |
| nominaal vermogen   | [kW]              |          | 31                               |                                    |                   | 21                        |            |
| piekvermogen        | [kW]              |          |                                  | 90                                 |                   |                           |            |
| ICE-type            |                   |          |                                  | turbine (diesel)                   |                   | 4cyl TDI diesel           |            |
| cilinder-inhoud     | [l]               |          |                                  |                                    |                   | 1.9                       |            |
| ICE-vermogen        | [kW]              |          | 85                               |                                    |                   | 66                        |            |
| toerental           | [rpm]             |          |                                  | 90000                              |                   |                           |            |
| generatortype       |                   |          |                                  | PM                                 |                   |                           |            |
| generatorvermogen   | [kW]              |          |                                  |                                    |                   |                           |            |
| transmissie         |                   |          | clutch, 5-speed                  |                                    |                   | 5 versn                   |            |
| regeneratief remmen |                   |          |                                  |                                    |                   | ja                        |            |
| acceleratie         | [s]               |          | 15                               | 12                                 | 15                | 10                        | 25         |
| conditie            |                   |          | 0 - 100 op ICE                   | 0 - 50 op e.m.                     | 0-100             | 0-50 elek                 | 0-100 elek |
| maximum snelheid    | [km/h]            |          | 160                              | 65                                 | 130               | 80                        |            |
| conditie            |                   |          | op ICE                           | op e.m.                            | alleen op turbine | op accu+turbine           | elek       |
| maximale helling    |                   |          |                                  |                                    |                   |                           |            |
| actieradius         | [km]              |          | 80                               |                                    | 500               | 50                        |            |
| conditie            |                   |          | elektrisch                       |                                    |                   | stad elek                 |            |
| energiegebruik      | [kWh/100km]       |          |                                  |                                    |                   |                           |            |
| brandstofverbruik   | [l/100km]         |          |                                  |                                    |                   |                           |            |
| conditie            |                   |          |                                  |                                    |                   |                           |            |
| prijs               | [\$]              |          |                                  |                                    |                   |                           |            |
| prijs               | [gld]             |          |                                  |                                    |                   | 85000                     |            |
| prijs               | [\$fr]            |          |                                  |                                    |                   |                           |            |
| opmerkingen         |                   |          | electromotor drijft achteras aan | ICE permanent op voor- en achteras |                   | externe laadmogelijk-heid |            |

| EVs & HEVs          | voertuig    | Mitsubishi HEV        |         | Dodge Intrepid  |  | Ford Synergy 2010      |  |
|---------------------|-------------|-----------------------|---------|-----------------|--|------------------------|--|
|                     |             | personenauto          | minivan | personenauto    |  | personenauto           |  |
| voertuigtype        |             | personenauto          | minivan | personenauto    |  | personenauto           |  |
| aandrijflijn        |             | HEV                   |         | serie HEV       |  | serie HEV              |  |
| status              |             | prototype             |         | prototype       |  | prototype              |  |
| lengte              | [m]         | 4.785                 |         | 4.953           |  |                        |  |
| breedte             | [m]         | 1.695                 |         | 1.930           |  |                        |  |
| hoogte              | [m]         | 1.595                 |         | 1.336           |  |                        |  |
| frontaal oppervlak  | [m^2]       |                       |         |                 |  | 2                      |  |
| Cw coefficient      |             |                       |         |                 |  | 0.2                    |  |
| rol-weerstand       |             |                       |         |                 |  |                        |  |
| leeg gewicht        | [kg]        |                       |         |                 |  |                        |  |
| aantal zitplaatsen  |             | 4                     |         |                 |  | 4                      |  |
| laadgewicht         | [kg]        |                       |         |                 |  |                        |  |
| carrosserie         |             | conversie             |         | aluminium       |  | aluminium + staal      |  |
| batterijtype        |             | Li-ion                |         | Pb-zuur         |  | vliegwiel              |  |
| batterijspanning    | [V]         | 336                   |         | 300             |  |                        |  |
| batterijcapaciteit  | [Ah]        |                       |         |                 |  |                        |  |
| batterijcapaciteit  | [kWh]       |                       |         |                 |  |                        |  |
| batterijvermogen    | [kW]        |                       |         | 100             |  |                        |  |
| batterijgewicht     | [kg]        |                       |         |                 |  |                        |  |
| motortype           |             | AC inductie (2 stuks) |         | Zytek (2 stuks) |  | PM (4 stuks) in wielen |  |
| nominaal vermogen   | [kW]        | 30                    |         |                 |  |                        |  |
| piekvermogen        | [kW]        | 60                    |         | 155             |  |                        |  |
| ICE-type            |             | otto                  | CNG     | turbo diesel    |  | DI diesel              |  |
| cylinder-inhoud     | [l]         | 1.64                  |         | 1.8             |  | 1                      |  |
| ICE-vermogen        | [kW]        | 20                    |         | 55              |  |                        |  |
| toerental           | [rpm]       |                       |         | 3600            |  |                        |  |
| generatortype       |             |                       |         |                 |  |                        |  |
| generatorvermogen   | [kW]        |                       |         |                 |  |                        |  |
| transmissie         |             |                       |         |                 |  |                        |  |
| regeneratief remmen |             |                       |         |                 |  |                        |  |
| acceleratie         | [s]         |                       |         |                 |  |                        |  |
| conditie            |             |                       |         |                 |  |                        |  |
| maximum snelheid    | [km/h]      | 150                   |         |                 |  |                        |  |
| conditie            |             |                       |         |                 |  |                        |  |
| maximale helling    |             |                       |         |                 |  |                        |  |
| actieradius         | [km]        | 600                   |         |                 |  |                        |  |
| conditie            |             | bij 40 km/h           |         |                 |  |                        |  |
| energiegebruik      | [kWh/100km] |                       |         |                 |  |                        |  |
| brandstofverbruik   | [l/100km]   |                       |         |                 |  |                        |  |
| conditie            |             |                       |         |                 |  |                        |  |
| prijs               | [\$]        |                       |         |                 |  |                        |  |
| prijs               | [gld]       |                       |         |                 |  |                        |  |
| prijs               | [Sfr]       |                       |         |                 |  |                        |  |
| opmerkingen         |             |                       |         |                 |  |                        |  |

| EVs & HEVs          |                   | voertuig | Volta       | Renault Express<br>Electrique |              | Citroen C15                    |  |
|---------------------|-------------------|----------|-------------|-------------------------------|--------------|--------------------------------|--|
| voertuigtype        |                   |          | bestelauto  | bestelauto                    |              | bestelauto                     |  |
| aandrijflijn        |                   |          | BEV         | BEV                           |              | BEV                            |  |
| status              |                   |          | commercieel | commercieel                   |              | commercieel                    |  |
| lengte              | [m]               |          | 3.300       | 4.060                         |              |                                |  |
| breedte             | [m]               |          | 1.500       | 1.600                         |              |                                |  |
| hoogte              | [m]               |          | 1.800       | 1.460                         |              |                                |  |
| frontaal oppervlak  | [m <sup>2</sup> ] |          |             |                               |              |                                |  |
| Cw coefficient      |                   |          |             |                               |              |                                |  |
| rol-weerstand       |                   |          |             |                               |              |                                |  |
| leeg gewicht        | [kg]              |          | 1220        | 1235                          |              | 1400                           |  |
| aantal zitplaatsen  |                   |          | 2           | 2                             |              | 2                              |  |
| laadgewicht         | [kg]              |          | 480         | 395                           |              |                                |  |
| carrosserie         |                   |          | kunststof   | conversie                     |              | conversie                      |  |
| batterijtype        |                   |          |             | NiCd                          |              | Sonnenschein<br>DryFit Pb-zuur |  |
| batterijspanning    | [V]               |          |             | 108                           |              | 96                             |  |
| batterijcapaciteit  | [Ah]              |          |             | 140                           |              | 160                            |  |
| batterijcapaciteit  | [kWh]             |          |             | 15.1                          |              | 15.4                           |  |
| batterijvermogen    | [kW]              |          |             |                               |              |                                |  |
| batterijgewicht     | [kg]              |          |             |                               |              | 504                            |  |
| motortype           |                   |          |             | DC separately<br>excited      |              | DC separately<br>excited       |  |
| nominaal vermogen   | [kW]              |          |             | 21                            |              |                                |  |
| piekvermogen        | [kW]              |          |             |                               |              |                                |  |
| ICE-type            |                   |          |             |                               |              |                                |  |
| cylinder-inhoud     | [l]               |          |             |                               |              |                                |  |
| ICE-vermogen        | [kW]              |          |             |                               |              |                                |  |
| toerental           | [rpm]             |          |             |                               |              |                                |  |
| generatortype       |                   |          |             |                               |              |                                |  |
| generatorvermogen   | [kW]              |          |             |                               |              |                                |  |
| transmissie         |                   |          |             |                               |              |                                |  |
| regeneratief remmen |                   |          |             | ja                            |              |                                |  |
| acceleratie         | [s]               |          |             | 11                            | 24           |                                |  |
| conditie            |                   |          |             | 0 - 50                        | 0 - 70       |                                |  |
| maximum snelheid    | [km/h]            |          | 80          | 85                            |              |                                |  |
| conditie            |                   |          |             |                               |              |                                |  |
| maximale helling    |                   |          |             |                               |              |                                |  |
| actieradius         | [km]              |          | 70 - 90     | 60                            | 80           | 40 - 70                        |  |
| conditie            |                   |          |             | hoge snelheid                 | stadsverkeer | normaal verkeer                |  |
| energiegebruik      | [kWh/100km]       |          |             | 24                            | 22 - 30      |                                |  |
| brandstofverbruik   | [l/100km]         |          |             |                               |              |                                |  |
| conditie            |                   |          |             | ECE (Biel)                    | praktijktest |                                |  |
| prijs               | [\$]              |          |             |                               |              |                                |  |
| prijs               | [gld]             |          |             |                               |              |                                |  |
| prijs               | [\$tr]            |          | 43750       | 46900                         |              |                                |  |
| opmerkingen         |                   |          |             |                               |              |                                |  |

| EVs & HEVs          |             | voertuig    | Eicat Cityvan 200 | Spijkstaal VW Caravelle | Mercedes Benz 308E |
|---------------------|-------------|-------------|-------------------|-------------------------|--------------------|
| voertuigtype        |             | bestelauto  |                   | personenbusje           | bestelauto         |
| aandrijflijn        |             | BEV         |                   | BEV                     | BEV                |
| status              |             | commercieel |                   | pre-commercieel         | commercieel        |
| lengte              | [m]         | 3.500       |                   |                         | 5.600              |
| breedte             | [m]         | 1.400       |                   |                         | 1.900              |
| hoogte              | [m]         | 1.900       |                   |                         | 2.300              |
| frontaal oppervlak  | [m^2]       |             |                   |                         |                    |
| Cw coefficient      |             |             |                   |                         |                    |
| rol-weerstand       |             |             |                   |                         |                    |
| leeg gewicht        | [kg]        | 1350        |                   |                         | 3080               |
| aantal zitplaatsen  |             | 2           |                   | 1 + 8                   | 2                  |
| laadgewicht         | [kg]        | 250         |                   |                         | 800                |
| carrosserie         |             | conversie   |                   | conversie               | conversie          |
| batterijtype        |             |             |                   | Saft STM NiCd           | Pb-gel ESF         |
| batterijspanning    | [V]         |             |                   | 192                     | 180                |
| batterijcapaciteit  | [Ah]        |             |                   | 180                     | 160                |
| batterijcapaciteit  | [kWh]       |             |                   |                         |                    |
| batterijvermogen    | [kW]        |             |                   |                         |                    |
| batterijgewicht     | [kg]        |             |                   |                         | 1050               |
| motortype           |             |             |                   | DC                      | AC asynchroon      |
| nominaal vermogen   | [kW]        |             |                   | 42                      | 44                 |
| piekvermogen        | [kW]        |             |                   | 60                      |                    |
| ICE-type            |             |             |                   |                         |                    |
| cilinder-inhoud     | [l]         |             |                   |                         |                    |
| ICE-vermogen        | [kW]        |             |                   |                         |                    |
| toerental           | [rpm]       |             |                   |                         |                    |
| generator type      |             |             |                   |                         |                    |
| generatorvermogen   | [kW]        |             |                   |                         |                    |
| transmissie         |             |             |                   |                         |                    |
| regeneratief remmen |             |             |                   | ja                      | ja                 |
| acceleratie         | [s]         |             |                   | 15                      |                    |
| conditie            |             |             |                   | 0 - 80                  |                    |
| maximum snelheid    | [km/h]      | 80          |                   | 100 - 120               | 75                 |
| conditie            |             |             |                   |                         | 80                 |
| maximale helling    |             |             |                   |                         | 25%                |
| actieradius         | [km]        | 70          |                   | 120                     | 100                |
| conditie            |             |             |                   | UDC + EUDC              | normaal gebruik    |
| energiegebruik      | [kWh/100km] |             |                   | 35 - 40                 | 45                 |
| brandstofverbruik   | [l/100km]   |             |                   |                         |                    |
| conditie            |             |             |                   |                         |                    |
| prijs               | [\$]        |             |                   |                         |                    |
| prijs               | [gld]       |             |                   |                         |                    |
| prijs               | [\$fr]      | 49000       |                   |                         | 90000              |
| opmerkingen         |             |             |                   |                         |                    |

| EVs & HEVs          | voertuig          | Mercedes Benz<br>308E |    | Mercedes Benz<br>VITO |              | Mercedes Benz<br>MB410 Electric fuel<br>Ltd. |  |
|---------------------|-------------------|-----------------------|----|-----------------------|--------------|----------------------------------------------|--|
| voertuigtype        |                   | bestelauto            |    | bestelauto            |              | bestelauto                                   |  |
| aandrijflijn        |                   | BEV                   |    | BEV                   |              | BEV                                          |  |
| status              |                   | commercieel           |    | commercieel           |              | prototype                                    |  |
| lengte              | [m]               | 5.600                 |    |                       |              | 5.885                                        |  |
| breedte             | [m]               | 1.900                 |    |                       |              | 2.031                                        |  |
| hoogte              | [m]               | 2.300                 |    |                       |              | 2.790                                        |  |
| frontaal oppervlak  | [m <sup>2</sup> ] |                       |    |                       |              |                                              |  |
| Cw coefficient      |                   |                       |    |                       |              |                                              |  |
| rol-weerstand       |                   |                       |    |                       |              |                                              |  |
| leeg gewicht        | [kg]              | 2430                  |    |                       |              | 2650                                         |  |
| aantal zitplaatsen  |                   | 2                     | 10 | 6 + 1                 |              | 2                                            |  |
| laadgewicht         | [kg]              | 1650                  |    | 500                   |              |                                              |  |
| carrosserie         |                   | conversie             |    | conversie             |              | conversie                                    |  |
| batterijtype        |                   | Zebra Z5              |    | NaNiCl                | Zebra Z5     | zink-lucht                                   |  |
| batterijspanning    | [V]               | 284                   |    | 284                   |              | 300                                          |  |
| batterijcapaciteit  | [Ah]              | 2 * 60                |    |                       |              | 252                                          |  |
| batterijcapaciteit  | [kWh]             |                       |    | 34                    |              |                                              |  |
| batterijvermogen    | [kW]              |                       |    |                       |              |                                              |  |
| batterijgewicht     | [kg]              | 400                   |    |                       |              |                                              |  |
| motortype           |                   | AC asynchroon         |    | AC asynchroon         | watergekoeld | 3 fase<br>asynchroon<br>inductie             |  |
| nominaal vermogen   | [kW]              | 44                    |    | 40                    |              |                                              |  |
| piekvermogen        | [kW]              |                       |    |                       |              |                                              |  |
| ICE-type            |                   |                       |    |                       |              |                                              |  |
| cylinder-inhoud     | [l]               |                       |    |                       |              |                                              |  |
| ICE-vermogen        | [kW]              |                       |    |                       |              |                                              |  |
| toerental           | [rpm]             |                       |    |                       |              |                                              |  |
| generatortype       |                   |                       |    |                       |              |                                              |  |
| generatorvermogen   | [kW]              |                       |    |                       |              |                                              |  |
| transmissie         |                   |                       |    | 5-speed               |              |                                              |  |
| regeneratief remmen |                   | ja                    |    |                       |              |                                              |  |
| acceleratie         | [s]               |                       |    |                       |              |                                              |  |
| conditie            |                   |                       |    |                       |              |                                              |  |
| maximum snelheid    | [km/h]            | 75                    | 80 | 120                   |              | 95                                           |  |
| conditie            |                   |                       |    |                       |              |                                              |  |
| maximale helling    |                   | 25%                   |    | 34%                   |              |                                              |  |
| actieradius         | [km]              | 75 - 100              |    | 110 - 150             |              | 375                                          |  |
| conditie            |                   |                       |    |                       |              |                                              |  |
| energiegebruik      | [kWh/100km]       | 45                    |    |                       |              |                                              |  |
| brandstofverbruik   | [l/100km]         |                       |    |                       |              |                                              |  |
| conditie            |                   |                       |    |                       |              |                                              |  |
| prijs               | [\$]              |                       |    |                       |              |                                              |  |
| prijs               | [gld]             |                       |    |                       |              |                                              |  |
| prijs               | [\$fr]            | 90000                 |    |                       |              |                                              |  |
| opmerkingen         |                   |                       |    |                       |              | mechanische<br>batterij-<br>verwisseling     |  |

| EVs & HEVs          | voertuig          | Chevrolet S10 Electric Pickup |  | Solectria E10 Electric Fleet Pickup |        | Ford Ranger EV            |             |
|---------------------|-------------------|-------------------------------|--|-------------------------------------|--------|---------------------------|-------------|
|                     |                   | bestelauto / pickup           |  | bestelauto / pickup                 |        | bestelauto / pickup       |             |
| voertuigtype        |                   |                               |  |                                     |        |                           |             |
| aandrijflijn        |                   | BEV                           |  | BEV                                 |        | BEV                       |             |
| status              |                   | commercieel begin 1997        |  | commercieel                         |        | commercieel 1998          |             |
| lengte              | [m]               |                               |  |                                     |        |                           |             |
| breedte             | [m]               |                               |  |                                     |        |                           |             |
| hoogte              | [m]               |                               |  |                                     |        |                           |             |
| frontaal oppervlak  | [m <sup>2</sup> ] |                               |  |                                     |        |                           |             |
| Cw coefficient      |                   |                               |  |                                     |        |                           |             |
| rol-weerstand       |                   |                               |  |                                     |        |                           |             |
| leeg gewicht        | [kg]              |                               |  | 1836                                |        |                           |             |
| aantal zitplaatsen  |                   | 2                             |  | 2                                   |        | 2                         |             |
| laadgewicht         | [kg]              | 385                           |  | 250                                 |        | 315                       |             |
| carrosserie         |                   | conversie                     |  | conversie Chevrolet pickup          |        | conversie                 |             |
| batterijtype        |                   | Pb-zuur                       |  | Pb-zuur                             |        | Pb-zuur sealed            |             |
| batterijspanning    | [V]               |                               |  |                                     |        | 312                       |             |
| batterijcapaciteit  | [Ah]              |                               |  |                                     |        |                           |             |
| batterijcapaciteit  | [kWh]             |                               |  |                                     |        | 23                        |             |
| batterijvermogen    | [kW]              |                               |  |                                     |        |                           |             |
| batterijgewicht     | [kg]              |                               |  |                                     |        |                           |             |
| motortype           |                   |                               |  | AC inductie (2 stuks)               |        | AC inductie 3 fase        |             |
| nominaal vermogen   | [kW]              |                               |  |                                     |        |                           |             |
| piekvermogen        | [kW]              |                               |  | 64                                  |        | 67                        |             |
| ICE-type            |                   |                               |  |                                     |        |                           |             |
| cilinder-inhoud     | [l]               |                               |  |                                     |        |                           |             |
| ICE-vermogen        | [kW]              |                               |  |                                     |        |                           |             |
| toerental           | [rpm]             |                               |  |                                     |        |                           |             |
| generatortype       |                   |                               |  |                                     |        |                           |             |
| generatorvermogen   | [kW]              |                               |  |                                     |        |                           |             |
| transmissie         |                   |                               |  | single speed                        |        | single speed              |             |
| regeneratief remmen |                   |                               |  | ja                                  |        | ja                        |             |
| acceleratie         | [s]               |                               |  | 7                                   | 15     | 12.5                      |             |
| conditie            |                   |                               |  | 0 - 50                              | 0 - 80 | 0 - 80                    |             |
| maximum snelheid    | [km/h]            | 110                           |  | 110                                 |        | 120                       |             |
| conditie            |                   |                               |  |                                     |        |                           |             |
| maximale helling    |                   |                               |  | 28%                                 |        |                           |             |
| actieradius         | [km]              | 60 - 95                       |  | 95                                  |        | 56                        | 93          |
| conditie            |                   |                               |  | 70 km/h                             |        | normaal gebruik, T = 32 F | FUDS cyclus |
| energiegebruik      | [kWh/100km]       |                               |  | 14.2                                |        |                           |             |
| brandstofverbruik   | [l/100km]         |                               |  |                                     |        |                           |             |
| conditie            |                   |                               |  | 70 km/h                             |        |                           |             |
| prijs               | [\$]              | 32795                         |  | 45000                               |        | < 35000                   |             |
| prijs               | [gld]             |                               |  |                                     |        |                           |             |
| prijs               | [Sfr]             |                               |  |                                     |        |                           |             |
| opmerkingen         |                   |                               |  |                                     |        |                           |             |

| EVs & HEVs          | voertuig          | Chrysler Minivan | Daimler-Benz<br>Necar II |     |  |
|---------------------|-------------------|------------------|--------------------------|-----|--|
| voertuigtype        |                   | minivan          | personenbusje            |     |  |
| aandrijflijn        |                   | BEV              | FCEV                     |     |  |
| status              |                   | commercieel      | prototype                |     |  |
| lengte              | [m]               |                  |                          |     |  |
| breedte             | [m]               |                  |                          |     |  |
| hoogte              | [m]               |                  |                          |     |  |
| frontaal oppervlak  | [m <sup>2</sup> ] |                  |                          |     |  |
| Cw coefficient      |                   |                  |                          |     |  |
| rol-weerstand       |                   |                  |                          |     |  |
| leeg gewicht        | [kg]              | 2310             | 2600 GVW                 |     |  |
| aantal zitplaatsen  |                   |                  |                          |     |  |
| laadgewicht         | [kg]              | 365              |                          |     |  |
| carrosserie         |                   | conversie        | conversie                |     |  |
| batterijtype        |                   | Pb sealed        |                          |     |  |
| batterijspanning    | [V]               | 324              |                          |     |  |
| batterijcapaciteit  | [Ah]              |                  |                          |     |  |
| batterijcapaciteit  | [kWh]             |                  |                          |     |  |
| batterijvermogen    | [kW]              |                  |                          |     |  |
| batterijgewicht     | [kg]              |                  |                          |     |  |
| motortype           |                   | AC inductie      |                          |     |  |
| nominaal vermogen   | [kW]              | 56               | 33                       |     |  |
| piekvermogen        | [kW]              | 75               |                          |     |  |
| ICE-type            |                   |                  | PEMFC op<br>waterstof    |     |  |
| cylinder-inhoud     | [l]               |                  |                          |     |  |
| ICE-vermogen        | [kW]              |                  | 50                       |     |  |
| toerental           | [rpm]             |                  |                          |     |  |
| generatortype       |                   |                  |                          |     |  |
| generatorvermogen   | [kW]              |                  |                          |     |  |
| transmissie         |                   | single speed     | 2 speed autom.           |     |  |
| regeneratief remmen |                   |                  |                          |     |  |
| acceleratie         | [s]               | 16               |                          |     |  |
| conditie            |                   | 0 - 96           |                          |     |  |
| maximum snelheid    | [km/h]            | 128              | 100                      | 110 |  |
| conditie            |                   |                  |                          |     |  |
| maximale helling    |                   |                  |                          |     |  |
| actieradius         | [km]              | 95               | 250                      |     |  |
| conditie            |                   |                  |                          |     |  |
| energiegebruik      | [kWh/100km]       |                  |                          |     |  |
| brandstofverbruik   | [l/100km]         |                  |                          |     |  |
| conditie            |                   |                  |                          |     |  |
| prijs               | [\$]              |                  |                          |     |  |
| prijs               | [gld]             |                  |                          |     |  |
| prijs               | [Sfr]             |                  |                          |     |  |
| opmerkingen         |                   |                  |                          |     |  |

| EVs & HEVs          |             | voertuig | Mercedes Benz O<br>100 E City      | Westinghouse Blue<br>Bird  | Spijksaal Ecobus |                           |
|---------------------|-------------|----------|------------------------------------|----------------------------|------------------|---------------------------|
| voertuigtype        |             |          | citybus                            | bus                        | citybus          |                           |
| aandrijflijn        |             |          | BEV                                | BEV                        | BEV              |                           |
| status              |             |          |                                    |                            |                  |                           |
| lengte              | [m]         |          | 6.335                              | 10.000                     | 6.700            |                           |
| breedte             | [m]         |          | 2.400                              | 2.440                      | 2.000            |                           |
| hoogte              | [m]         |          | 2.540                              | 3.250                      | 2.600            |                           |
| frontaal oppervlak  | [m^2]       |          |                                    |                            |                  |                           |
| Cw coefficient      |             |          |                                    |                            |                  |                           |
| rol-weerstand       |             |          |                                    |                            |                  |                           |
| leeg gewicht        | [kg]        |          |                                    | 13605                      | 4200             |                           |
| aantal zitplaatsen  |             |          | 14 + 1                             | 12 staan                   | 34               | 10                        |
| laadgewicht         | [kg]        |          |                                    |                            |                  | 25 staan                  |
| carrosserie         |             |          | sandwich<br>glasvezel<br>versterkt | ??                         | lichtmetaal +    | polyester                 |
| batterijtype        |             |          | NaNiCl                             | Pb absorbed<br>electrolyte | Pb-zuur          | batterij-<br>uitwisseling |
| batterijspanning    | [V]         |          | 284                                | 336                        | 96               |                           |
| batterijcapaciteit  | [Ah]        |          | 180                                |                            | 376              |                           |
| batterijcapaciteit  | [kWh]       |          |                                    |                            |                  |                           |
| batterijvermogen    | [kW]        |          |                                    |                            |                  |                           |
| batterijgewicht     | [kg]        |          | 600                                |                            | 1200             |                           |
| motortype           |             |          | PM synchroon (2<br>stuks)          | AC induction 3<br>fase     | asynchroon       |                           |
| nominaal vermogen   | [kW]        |          | 45                                 |                            | 25               |                           |
| piekvermogen        | [kW]        |          |                                    | 171                        |                  |                           |
| ICE-type            |             |          |                                    |                            |                  |                           |
| cylinder-inhoud     | [l]         |          |                                    |                            |                  |                           |
| ICE-vermogen        | [kW]        |          |                                    |                            |                  |                           |
| toerental           | [rpm]       |          |                                    |                            |                  |                           |
| generatortype       |             |          |                                    |                            |                  |                           |
| generatorvermogen   | [kW]        |          |                                    |                            |                  |                           |
| transmissie         |             |          |                                    |                            |                  |                           |
| regeneratief remmen |             |          | ja                                 |                            |                  |                           |
| acceleratie         | [s]         |          |                                    | 32                         | 10               |                           |
| conditie            |             |          |                                    | 0 - 90                     | 0 - 25           |                           |
| maximum snelheid    | [km/h]      |          | 60                                 | 90                         | 30               |                           |
| conditie            |             |          |                                    |                            |                  |                           |
| maximale helling    |             |          |                                    | 2%                         |                  |                           |
| actieradius         | [km]        |          | 60 - 80                            | 130                        | 60               |                           |
| conditie            |             |          |                                    | 60 km/h                    |                  |                           |
| energiegebruik      | [kWh/100km] |          | 100                                |                            |                  |                           |
| brandstofverbruik   | [l/100km]   |          |                                    |                            |                  |                           |
| conditie            |             |          |                                    |                            |                  |                           |
| prijs               | [\$]        |          |                                    |                            |                  |                           |
| prijs               | [gld]       |          |                                    |                            | 280000           |                           |
| prijs               | [\$tr]      |          |                                    |                            |                  |                           |
| opmerkingen         |             |          |                                    |                            |                  |                           |



| EVs & HEVs          | voertuig          | Larel City-Bus | IVECO Altra<br>hybride 6 m bus | IVECO Altra<br>hybride 12 m bus     |
|---------------------|-------------------|----------------|--------------------------------|-------------------------------------|
| voertuigtype        |                   | citybus        | bus                            | bus                                 |
| aandrijflijn        |                   | BEV            | serie HEV                      | serie HEV                           |
| status              |                   |                |                                |                                     |
| lengte              | [m]               | 6.600          | 6.000                          | 12.000                              |
| breedte             | [m]               | 2.200          | 2.100                          | 2.500                               |
| hoogte              | [m]               | 2.600          | 2.800                          | 3.038                               |
| frontaal oppervlak  | [m <sup>2</sup> ] |                |                                |                                     |
| Cw coefficient      |                   |                |                                |                                     |
| rol-weerstand       |                   |                |                                |                                     |
| leeg gewicht        | [kg]              | 2800           | 4220                           | 13300                               |
| aantal zitplaatsen  |                   | 20 (tot.)      | 20 zit. + staanpl.             | 90 zit. + staanpl.                  |
| laadgewicht         | [kg]              | 1400           | 1380                           | 5700                                |
| carrosserie         |                   | ??             | conversie                      | conversie                           |
| batterijtype        |                   |                | Pb-zuur                        | Pb-zuur                             |
| batterijspanning    | [V]               |                | 192                            | 596                                 |
| batterijcapaciteit  | [Ah]              |                | 100                            | 100                                 |
| batterijcapaciteit  | [kWh]             |                |                                |                                     |
| batterijvermogen    | [kW]              |                |                                |                                     |
| batterijgewicht     | [kg]              |                |                                |                                     |
| motortype           |                   |                | DC separate field              | AC asynchroon                       |
| nominaal vermogen   | [kW]              |                | 22                             | 110                                 |
| piekvermogen        | [kW]              |                | 43                             | 143                                 |
| ICE-type            |                   |                | otto met 3-weg<br>kat.         | IDI NA<br>diesel, CNG-<br>conversie |
| cilinder-inhoud     | [l]               |                | 0.999                          | 2.499                               |
| ICE-vermogen        | [kW]              |                | 14                             | 35                                  |
| toerental           | [rpm]             |                | 2700                           | 2600                                |
| generatortype       |                   |                | AC synchroon                   | AC synchroon                        |
| generatorvermogen   | [kW]              |                |                                |                                     |
| transmissie         |                   |                | single speed                   | single speed                        |
| regeneratief remmen |                   |                | ja                             | ja                                  |
| acceleratie         | [s]               |                |                                |                                     |
| conditie            |                   |                |                                |                                     |
| maximum snelheid    | [km/h]            | 70             | 59                             | 64                                  |
| conditie            |                   |                |                                |                                     |
| maximale helling    |                   |                |                                |                                     |
| actieradius         | [km]              | 80 - 100       |                                |                                     |
| conditie            |                   | lijndienst     |                                |                                     |
| energiegebruik      | [kWh/100km]       |                |                                |                                     |
| brandstofverbruik   | [l/100km]         |                |                                |                                     |
| conditie            |                   |                |                                |                                     |
| prijs               | [\$]              |                |                                |                                     |
| prijs               | [gld]             |                | 250000                         | 690000                              |
| prijs               | [\$fr]            | 350000         |                                |                                     |
| opmerkingen         |                   |                |                                |                                     |

| EVs & HEVs          | voertuig    | Neoplan 8012 DE        | Scania Citybus        | DAB Citybus series 15 type 1200C-221T |
|---------------------|-------------|------------------------|-----------------------|---------------------------------------|
| voertuigtype        |             | bus                    | citybus               | stadsbus                              |
| aandrijflijn        |             | HEV                    | serie HEV             | serie HEV                             |
| status              |             |                        |                       | pre-commercieel                       |
| lengte              | [m]         |                        |                       |                                       |
| breedte             | [m]         |                        |                       |                                       |
| hoogte              | [m]         |                        |                       |                                       |
| frontaal oppervlak  | [m^2]       |                        |                       |                                       |
| Cw coefficient      |             |                        |                       |                                       |
| rol-weerstand       |             |                        |                       |                                       |
| leeg gewicht        | [kg]        | 6500                   | 9300                  | 12500                                 |
| aantal zitplaatsen  |             |                        | zit + staan 53        | 35, 10 staan                          |
| laadgewicht         | [kg]        |                        | 4200                  | 5400                                  |
| carrosserie         |             |                        |                       |                                       |
| batterijtype        |             | ??                     | Pb-zuur               | NiCd SAFT STH800                      |
| batterijspanning    | [V]         |                        |                       | 350 - 400                             |
| batterijcapaciteit  | [Ah]        |                        |                       |                                       |
| batterijcapaciteit  | [kWh]       |                        | 33                    | 26                                    |
| batterijvermogen    | [kW]        |                        | 25                    |                                       |
| batterijgewicht     | [kg]        |                        | 978                   | 680                                   |
| motortype           |             | Magnet Motor (2 stuks) | AC inductie (2 stuks) | AC 3 fase (2 stuks)                   |
| nominaal vermogen   | [kW]        | 50                     | 105                   | 55                                    |
| piekvermogen        | [kW]        |                        |                       |                                       |
| ICE-type            |             | diesel Deutz BF6M 1012 | otto + kat            | otto-benzine                          |
| cylinder-inhoud     | [l]         |                        | 2                     | 2.3i 16                               |
| ICE-vermogen        | [kW]        | 125                    |                       | 60 - 70                               |
| toerental           | [rpm]       |                        |                       | 3800                                  |
| generatortype       |             |                        | DC                    |                                       |
| generatorvermogen   | [kW]        |                        |                       | 55 - 65                               |
| transmissie         |             |                        | vaste reductie        |                                       |
| regeneratief remmen |             |                        | ja                    | nee / ja                              |
| acceleratie         | [s]         |                        | 6                     | 14                                    |
| conditie            |             |                        | 0 - 30                | 0 - 50                                |
| maximum snelheid    | [km/h]      |                        | 65                    | 65                                    |
| conditie            |             |                        |                       |                                       |
| maximale helling    |             |                        |                       |                                       |
| actieradius         | [km]        |                        | 30                    | 300                                   |
| conditie            |             |                        | ZEV                   | hybride                               |
| energiegebruik      | [kWh/100km] |                        |                       |                                       |
| brandstofverbruik   | [l/100km]   |                        |                       |                                       |
| conditie            |             |                        |                       |                                       |
| prijs               | [\$]        |                        |                       |                                       |
| prijs               | [gld]       |                        |                       |                                       |
| prijs               | [Sfr]       |                        |                       |                                       |
| opmerkingen         |             |                        |                       |                                       |

| EVs & HEVs          | voertuig          | Iveco Fiat 471            |                     | General Electric                |  | MAN NL 202 DE               |  |
|---------------------|-------------------|---------------------------|---------------------|---------------------------------|--|-----------------------------|--|
|                     |                   |                           |                     |                                 |  |                             |  |
| voertuigtype        |                   | stadsbus                  |                     | stadsbus                        |  | stadsbus                    |  |
| aandrijflijn        |                   | dual mode                 | serie HEV + trolley | serie HEV                       |  | diesel-elektrisch           |  |
| status              |                   | prototype                 | 1991                | concept                         |  | pre-commercieel             |  |
| lengte              | [m]               |                           |                     |                                 |  |                             |  |
| breedte             | [m]               |                           |                     |                                 |  |                             |  |
| hoogte              | [m]               |                           |                     |                                 |  |                             |  |
| frontaal oppervlak  | [m <sup>2</sup> ] |                           |                     |                                 |  |                             |  |
| Cw coefficient      |                   |                           |                     |                                 |  |                             |  |
| rol-weerstand       |                   |                           |                     |                                 |  |                             |  |
| leeg gewicht        | [kg]              | 19000                     |                     | 15900                           |  |                             |  |
| aantal zitplaatsen  |                   | zit + staan 140           |                     |                                 |  | zit + staan 98              |  |
| laadgewicht         | [kg]              |                           |                     |                                 |  |                             |  |
| carrosserie         |                   |                           |                     |                                 |  |                             |  |
| batterijtype        |                   | NiCd                      |                     | NiCd SAFT STH-80                |  | geen                        |  |
| batterijspanning    | [V]               | 240                       |                     |                                 |  |                             |  |
| batterijcapaciteit  | [Ah]              |                           |                     |                                 |  |                             |  |
| batterijcapaciteit  | [kWh]             |                           |                     |                                 |  |                             |  |
| batterijvermogen    | [kW]              |                           |                     |                                 |  |                             |  |
| batterijgewicht     | [kg]              | 400                       |                     |                                 |  |                             |  |
| motortype           |                   | DC gescheiden bekrachtigd |                     | AC inductie naafmotor (4 stuks) |  | asynchroon 2 fase (2 stuks) |  |
| nominaal vermogen   | [kW]              | 90                        |                     | 75                              |  | 57                          |  |
| piekvermogen        | [kW]              |                           |                     |                                 |  |                             |  |
| ICE-type            |                   | diesel                    |                     | diesel Cummins                  |  | diesel                      |  |
| cilinder-inhoud     | [l]               |                           |                     |                                 |  |                             |  |
| ICE-vermogen        | [kW]              |                           |                     |                                 |  | 157                         |  |
| toerental           | [rpm]             |                           |                     |                                 |  |                             |  |
| generatortype       |                   |                           |                     | Onan                            |  | TFM (Voith)                 |  |
| generatorvermogen   | [kW]              |                           |                     | 100                             |  | 135                         |  |
| transmissie         |                   |                           |                     | single speed                    |  | dubbele naafreductie        |  |
| regeneratief remmen |                   |                           |                     | ja                              |  | nee                         |  |
| acceleratie         | [s]               | 1 m/s <sup>2</sup>        |                     | 1.5 m/s <sup>2</sup>            |  |                             |  |
| conditie            |                   |                           |                     |                                 |  |                             |  |
| maximum snelheid    | [km/h]            | 65                        |                     | 94                              |  | 70                          |  |
| conditie            |                   |                           |                     |                                 |  |                             |  |
| maximale helling    |                   |                           |                     |                                 |  |                             |  |
| actieradius         | [km]              |                           |                     |                                 |  |                             |  |
| conditie            |                   |                           |                     |                                 |  |                             |  |
| energiegebruik      | [kWh/100km]       |                           |                     |                                 |  |                             |  |
| brandstofverbruik   | [l/100km]         |                           |                     |                                 |  |                             |  |
| conditie            |                   |                           |                     |                                 |  |                             |  |
| prijs               | [\$]              |                           |                     |                                 |  |                             |  |
| prijs               | [gld]             |                           |                     |                                 |  |                             |  |
| prijs               | [Sfr]             |                           |                     |                                 |  |                             |  |
| opmerkingen         |                   |                           |                     |                                 |  |                             |  |

| EVs & HEVs          |                   | voertuig | Van Hool A 308 | Volvo ECB             |      | Volvo ECT                  |                       |
|---------------------|-------------------|----------|----------------|-----------------------|------|----------------------------|-----------------------|
| voertuigtype        |                   |          | stadsbus       | bus                   |      | truck                      |                       |
| aandrijflijn        |                   |          | serie HEV      | serie HEV             |      | serie HEV                  |                       |
| status              |                   |          | demonstratie   | prototype             | 1995 | prototype                  | 1995                  |
| lengte              | [m]               |          |                |                       |      |                            |                       |
| breedte             | [m]               |          |                |                       |      |                            |                       |
| hoogte              | [m]               |          |                |                       |      |                            |                       |
| frontaal oppervlak  | [m <sup>2</sup> ] |          |                |                       |      |                            |                       |
| Cw coefficient      |                   |          |                |                       |      |                            |                       |
| rol-weerstand       |                   |          |                |                       |      |                            |                       |
| leeg gewicht        | [kg]              |          |                | 15000                 |      | 15000                      |                       |
| aantal zitplaatsen  |                   |          | totaal 50      | 24 - 33, staan 45     |      |                            |                       |
| laadgewicht         | [kg]              |          |                |                       |      |                            |                       |
| carrosserie         |                   |          |                |                       |      |                            |                       |
| batterijtype        |                   |          | Pb-zuur        | NiMH (Varta)          |      | NiMH (Varta)               |                       |
| batterijspanning    | [V]               |          | 576            | 250                   |      | 400                        |                       |
| batterijcapaciteit  | [Ah]              |          | 70             | 180                   |      | 180                        |                       |
| batterijcapaciteit  | [kWh]             |          | 40             | 45                    |      | 72                         |                       |
| batterijvermogen    | [kW]              |          |                | 32                    |      |                            |                       |
| batterijgewicht     | [kg]              |          |                | 1000                  |      | 1800                       |                       |
| motortype           |                   |          | asynchroon     | Magnet Motor AC       |      | Magnet Motor AC            |                       |
| nominaal vermogen   | [kW]              |          | 53             | 94                    |      | 94                         |                       |
| piekvermogen        | [kW]              |          | 80             | 142                   |      | 142                        |                       |
| ICE-type            |                   |          | Euro 1 diesel  | gasturbine op ethanol |      | gasturbine op ethanol      | gasturbine op diesel  |
| cylinder-inhoud     | [l]               |          |                |                       |      |                            |                       |
| ICE-vermogen        | [kW]              |          | 101            | 110                   |      | 110                        |                       |
| toerental           | [rpm]             |          |                | 70000                 |      | 70000                      |                       |
| generatortype       |                   |          | synchroon      |                       |      |                            |                       |
| generatorvermogen   | [kW]              |          | 105            |                       |      |                            |                       |
| transmissie         |                   |          |                |                       |      |                            |                       |
| regeneratief remmen |                   |          |                | ja                    |      | ja                         |                       |
| acceleratie         | [s]               |          |                |                       |      |                            |                       |
| conditie            |                   |          |                |                       |      |                            |                       |
| maximum snelheid    | [km/h]            |          | 60             | 100                   |      | 80                         |                       |
| conditie            |                   |          |                |                       |      |                            |                       |
| maximale helling    |                   |          |                |                       |      |                            |                       |
| actieradius         | [km]              |          |                | 5                     |      | 25                         |                       |
| conditie            |                   |          |                | ZEV                   |      | ZEV                        |                       |
| energiegebruik      | [kWh/100km]       |          |                |                       |      | 0                          | 0                     |
| brandstofverbruik   | [l/100km]         |          |                |                       |      | 48                         | 2.6                   |
| conditie            |                   |          |                |                       |      |                            |                       |
| prijs               | [\$]              |          |                |                       |      |                            |                       |
| prijs               | [gld]             |          |                |                       |      |                            |                       |
| prijs               | [\$fr]            |          |                |                       |      |                            |                       |
| opmerkingen         |                   |          |                | totaal rendement 0.27 |      | kan ook 's nachts bijladen | totaal rendement 0.27 |

| EVs & HEVs          | voertuig          | Ballard / New Flyer H40LF | MAN G90 8.150 Hybride   | Mercedes 1117 Hybrid                                      |
|---------------------|-------------------|---------------------------|-------------------------|-----------------------------------------------------------|
| voertuigtype        |                   | stads-/streekbus          | distributie-truck       | distributie-truck                                         |
| aandrijflijn        |                   | brandstofcel direct drive | parallel HEV            | parallel HEV                                              |
| status              |                   | pre-commercieel           | prototype               | prototype                                                 |
| lengte              | [m]               |                           |                         |                                                           |
| breedte             | [m]               |                           |                         |                                                           |
| hoogte              | [m]               |                           |                         |                                                           |
| frontaal oppervlak  | [m <sup>2</sup> ] |                           |                         |                                                           |
| Cw coefficient      |                   |                           |                         |                                                           |
| rol-weerstand       |                   |                           |                         |                                                           |
| leeg gewicht        | [kg]              |                           | 6000                    |                                                           |
| aantal zitplaatsen  |                   | 60 pass.                  |                         |                                                           |
| laadgewicht         | [kg]              |                           |                         |                                                           |
| carrosserie         |                   |                           |                         |                                                           |
| batterijtype        |                   |                           | NiCd                    | lood-zuur                                                 |
| batterijspanning    | [V]               |                           | 80                      |                                                           |
| batterijcapaciteit  | [Ah]              |                           | 120                     |                                                           |
| batterijcapaciteit  | [kWh]             |                           |                         |                                                           |
| batterijvermogen    | [kW]              |                           |                         |                                                           |
| batterijgewicht     | [kg]              |                           | 250                     | 2000                                                      |
| motortype           |                   | borstelloos DC            | DC                      | AC asynchroon                                             |
| nominaal vermogen   | [kW]              | 160                       | 23                      | 46                                                        |
| piekvermogen        | [kW]              |                           |                         |                                                           |
| ICE-type            |                   | Ballard PEMFC             | Euro 2 DI diesel        | Euro 2 diesel OM 366 LA                                   |
| cylinder-inhoud     | [l]               |                           |                         |                                                           |
| ICE-vermogen        | [kW]              | 205                       | 114                     | 125                                                       |
| toerental           | [rpm]             |                           | 2700                    |                                                           |
| generatortype       |                   |                           |                         |                                                           |
| generatorvermogen   | [kW]              |                           |                         |                                                           |
| transmissie         |                   | fixed ratio               | 5 versn.                |                                                           |
| regeneratief remmen |                   |                           |                         |                                                           |
| acceleratie         | [s]               | 19                        |                         |                                                           |
| conditie            |                   | 0 - 50                    |                         |                                                           |
| maximum snelheid    | [km/h]            | 95                        | 35                      | 50                                                        |
| conditie            |                   |                           | elektrisch              | elektrisch                                                |
| maximale helling    |                   | 20%                       | 8%                      |                                                           |
| actieradius         | [km]              | 400                       | 25                      | 50                                                        |
| conditie            |                   |                           | elektrisch, 30 km/h     | elektrisch                                                |
| energiegebruik      | [kWh/100km]       |                           | 61.5                    |                                                           |
| brandstofverbruik   | [l/100km]         |                           |                         | 16                                                        |
| conditie            |                   |                           | stadsverkeer elektrisch | stadsverkeer diesel                                       |
| prijs               | [\$]              |                           |                         |                                                           |
| prijs               | [gld]             |                           |                         |                                                           |
| prijs               | [Sfr]             |                           |                         |                                                           |
| opmerkingen         |                   | brandstof compressed H2   |                         | EM direct gekoppeld aan ICE en als generator te gebruiken |

