

## Elektrische voertuigen in VS volop in ontwikkeling

**Citation for published version (APA):**

Dongen, van, L. A. M. (1980). Elektrische voertuigen in VS volop in ontwikkeling. *De Ingenieur*, 92(45), 12-15, 17.

**Document status and date:**

Gepubliceerd: 01/01/1980

**Document Version:**

Uitgevers PDF, ook bekend als Version of Record

**Please check the document version of this publication:**

- A submitted manuscript is the version of the article upon submission and before peer-review. There can be important differences between the submitted version and the official published version of record. People interested in the research are advised to contact the author for the final version of the publication, or visit the DOI to the publisher's website.
- The final author version and the galley proof are versions of the publication after peer review.
- The final published version features the final layout of the paper including the volume, issue and page numbers.

[Link to publication](#)

**General rights**

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal.

If the publication is distributed under the terms of Article 25fa of the Dutch Copyright Act, indicated by the "Taverne" license above, please follow below link for the End User Agreement:

[www.tue.nl/taverne](http://www.tue.nl/taverne)

**Take down policy**

If you believe that this document breaches copyright please contact us at:

[openaccess@tue.nl](mailto:openaccess@tue.nl)

providing details and we will investigate your claim.

# Elektrische voertuigen in VS volop in ontwikkeling

12

**De problemen m.b.t. de energievoorziening en de toenemende milieuverontreiniging richten steeds meer de aandacht op elektrische voertuigen. Dit ondanks het feit, dat de elektrische auto op dit ogenblik nog een aantal nadelen heeft, zoals aanpassing van de infrastructuur, een geringe actieradius, hoog gewicht en hoge aanschaffingskosten. De ontwikkeling van elektrische auto's werd in 1976 in de Verenigde Staten gestimuleerd door de Electric and Hybrid Vehicle Demonstration Act. In dit artikel zullen naar aanleiding van The Third International Electric Vehicle Exposition and Conference te St. Louis de Amerikaanse ontwikkelingen op het gebied van elektrische voertuigen worden besproken.**

**Ir. L. A. M. van Dongen\***

De bezwaren tegen het energiegebruik van de huidige voertuigen worden gevormd door zowel de omvang van het energiegebruik als het gebruik van hoogwaardige brandstof, een raffinageproduct van de aardolie, die weliswaar in grote, maar toch eindige hoeveelheden op aarde voorkomt. Enkele kengetallen met betrekking tot het oliegebruik in de VS zijn als volgt:

- Van de meer dan 18 miljoen vaten olie, die iedere dag worden gebruikt, gaat 54% naar het transport van mensen en goederen.
- De VS importeren meer dan de helft van de te gebruiken olie, hetgeen in 1977 een bedrag van 84 miljoen gulden vertegenwoordigde.
- Minder dan 17% van alle energie wordt opgewekt door verbranding van olie. Voor de rest wordt gebruik gemaakt van steenkool, waterkracht, windkracht, zonnestraling en nucleaire energie.
- Tussen 1973 en 1979 stegen de benzineprijzen in de VS van f 0,20 tot f 0,58 per liter.
- Het gemiddelde brandstofverbruik van de Amerikaanse auto's bedroeg in 1977 1 liter op 5,9 kilometer.

\* Ir. L. A. M. van Dongen is werkzaam bij de Sectie Vervoerstechniek van de Afdeling der Werktuigbouwkunde aan de TH Eindhoven. De studiereis, die de auteur recentelijk naar de VS maakte, werd mogelijk gemaakt door een bijdrage uit het Fijnje van Salverdafonds, een reis- en studiefonds dat door het KIVI wordt beheerd.

• Als geen olie meer zou worden geïmporteerd en het energieverbruik niet zou stijgen dan heeft men nog oliereserves om gedurende ongeveer 20 jaar in de behoeften te voorzien.

• In tegenstelling tot de beperkte oliereserves is een zodanige hoeveelheid steenkool aanwezig dat – zelfs als het energieverbruik jaarlijks met 3% groeit – gedurende 120 jaar in alle energiebehoeften kan worden voorzien.

Door het hoge brandstofverbruik van de Amerikaanse auto's en de twee periodes van ernstige benzineschaarste – het Arabische olie-embargo van 1975 en de Iraanse revolutie van 1979 – is de invoer van kleine auto's vorig jaar met 24% toegenomen. Hetgeen tot gevolg heeft dat de werkloosheid in de automobiellindustrie groeit. De stijgende olieprijs en de toegenomen import van buitenlandse auto's zijn hoofdzakelijk van het geweldige tekort op de handelsbalans. Daarom wordt er via de nieuwe wetgeving naar gestreefd om binnen tien jaar het oliegebruik van de openbare nutsbedrijven te halveren, hetzij door over te gaan op andere brandstof, hetzij door besparingen. Voor een minder kieskeurig brandstofgebruik wordt de elektrische aandrijving van voertuigen als een voor de hand liggende oplossing beschouwd. Voor de opwekking van elektriciteit wordt namelijk al een grote verscheidenheid aan primaire energiesoorten gebruikt. Als alle auto's, vrachtwagens en bussen in de VS elektrisch zouden worden aangedreven, dan zou het totale oliegebruik voor transport (inclusief lucht- en railtransport) tot 25% van het huidige gereduceerd worden.

De elektriciteitscentrales draaien in het algemeen 's nachts in deellast, zodat het dan goed mogelijk is om de accu's op te laden, zonder dat de centrales overbelast worden. De belasting van de centrales wordt daardoor constanter, hetgeen het rendement van de elektriciteitsopwekking gunstig beïnvloedt. Een vergelijkend onderzoek aan bestelwagens met een laadvermogen van 800 kilogram heeft uitgewezen, dat elektrische bestelwagens onder dezelfde belastingcondities – ondanks hun hogere eigengewicht – niet méér primaire energie nodig hebben dan vergelijkbare voertuigen met een verbrandingsmotor. Alleen bij licht transport heeft het grote gewicht van de accu's een nadelige invloed. Als in de toekomst accu's met een grotere energiedichtheid gebruikt kunnen worden, zal het gebruik van primaire energie door elektrische voertuigen zover kunnen dalen, dat het zelfs lager wordt, dan het verbruik van dieselveertuigen in stadsverkeer. Figuur 1 geeft voor een benzine-auto en een elektrisch voertuig een indruk van het totale rendement.

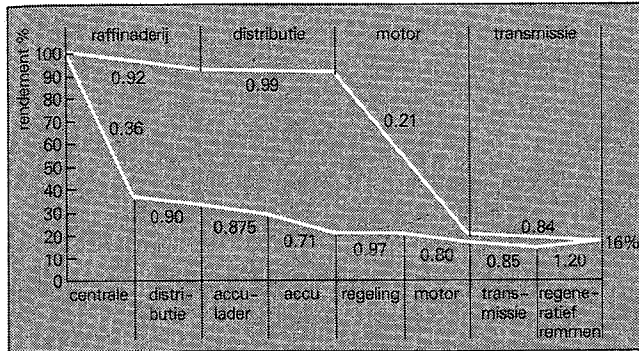
Ook economische factoren zullen een rol spelen bij de invoering van de elektrische auto. Bij het huidige verschil in prijs tussen elektriciteit en benzine lijkt de elektrische auto aantrekkelijk en, indien enige zekerheid zou bestaan dat het prijsverschil zich in de toekomst zal handhaven, dan zou dit een belangrijke stimulans zijn voor de invoering van deze auto. In de nabije toekomst zal de elektrische auto uitsluitend in het urbane en suburbane verkeer ingevoerd kunnen worden.

Als men de voordelen wat betreft milieuvriendelijkheid wenst uit te buiten, vindt men in eerste instantie een gebruiksgedebied bij die voertuigen, die dagelijks het meest intensief worden gebruikt. Het onderzoek, de ontwikkeling en produktie van elektrische voertuigen kreeg in 1976

demonstraties moeten worden geleverd, zijn juist deze systemen geselecteerd vanwege de te verwachten verbeteringen in deze periode en vanwege de mogelijkheid om deze accu's in de vereiste hoeveelheden te produceren. Acht accufabrikanten worden door DoE financieel on-

ding) en een levensduur van 300 cycli. De theoretische energiedichtheid van de loodaccu bedraagt ongeveer 167 Wh/kg. Door maatregelen, zoals een betere benutting van de actieve massa en lichter materiaal voor de bak, verwacht men in de toekomst een waarde van 50 Wh/kg te

kg), maar dit type accu verdraagt geen diepe ontladingsen. De huidige cellen gaan slechts 100 cycli mee, terwijl aanzienlijk meer dan 400 cycli een vereiste is voor de toepasbaarheid in demonstratievoertuigen. Bij het opladen van de accu treedt tijdens de zinkafscheiding dendrietvor-



Figuur 1: rendementsverloop voor benzinevoertuigen en elektrische voertuigen

een extra stimulans door de Electric and Hybrid Vehicle Demonstration Act: het Department of Energy (DoE) zal gedurende een periode van vijf jaar 160 miljoen dollar besteden aan de ontwikkeling en stimulering van het elektrisch wegtransport. In de VS zijn reeds 2000 elektrische voertuigen in gebruik. De grootste gebruiker van elektrische voertuigen is de postdienst, die in november 1980 nog eens 375 nieuwe voertuigen in gebruik zal nemen. DoE verwacht dat gedurende de jaren 80 het aantal elektrische voertuigen op de Amerikaanse wegen sterk zal toenemen.

## Batterijen

Batterijen, die in de nabije toekomst voor gebruik in elektrische voertuigen in aanmerking zullen komen, zijn: nikkel-zink, nikkel-ijzer en loodaccu's. Omdat tot aan 1984 10 000 voertuigen voor

dersteund. ESB en Globe Union werken aan loodaccu's, ESB, Gould, ERC en Yardney aan Ni-Zn-accu's en Westinghouse en Eagle Picher doen onderzoek aan Ni-Fe-accu's. Ook het onderzoek aan accu's met hoge energiedichtheden voor de verre toekomst (NaS en ZnCl) wordt door DoE gesubsidieerd. Vanwege technische problemen werden deze accu's nog niet op grote schaal geproduceerd. Argonne National Laboratory coördineert het accu-onderzoek en onderwerpt de door de diverse fabrikanten ontwikkelde accu's aan een vergelijkend onderzoek. Buiten het nationaal programma om werken Ford en General Motors eveneens aan accu's.

De loodaccu is nog steeds de meest geschikte en direct beschikbare batterij voor elektrische voertuigen. Thans zijn batterijen beschikbaar met een energiedichtheid van 30 à 40 Wh/kg (2-urige ontlad-

ing) en een levensduur van 300 cycli. De theoretische energiedichtheid van de loodaccu bedraagt ongeveer 167 Wh/kg. Door maatregelen, zoals een betere benutting van de actieve massa en lichter materiaal voor de bak, verwacht men in de toekomst een waarde van 50 Wh/kg te kunnen bereiken. Door automatische navulsystemen en katalysatoren, die het ontstane gas weer omzetten in water, wordt het onderhoud beperkt. De totale hoeveelheid energie, die een loodaccu kan leveren, is afhankelijk van de wijze waarop de batterij wordt ontladen. De beschikbare lading en dus ook de energiedichtheid nemen af met hogere stroomsterkte. De oorzaak hiervan ligt in het chemisch proces in de poreuze massa van de platen. Dichtgroeien van de poriën belemmert de diffusie naar het binnenste deel van de plaat. Hoge snelheden en grote versnellingen zullen de actieradius van een voertuig dus beperken. De actieradius van de huidige testvoertuigen variëren van 50 tot 120 kilometer. De verwachte ontwikkelingen voor de loodaccu treft men aan in tabel 1.

De nikkel-zink-accu heeft wat betreft energiedichtheid de beste prestaties (60 Wh/

kg), maar dit type accu verdraagt geen diepe ontladingsen. De huidige cellen gaan slechts 100 cycli mee, terwijl aanzienlijk meer dan 400 cycli een vereiste is voor de toepasbaarheid in demonstratievoertuigen. Bij het opladen van de accu treedt tijdens de zinkafscheiding dendrietvor-

ming op, die door separatoren beperkt blijft. ESB heeft dit probleem opgelost door de negatieve plaat van de accu tijdens het opladen met een lage frequentie (15 Hz) te laten vibreren. Behalve aan een verbetering van de levensduur wordt ook gewerkt aan verhoging van de energie- en vermogensdichtheid en aan vermindering van de produktiekosten. Yardney heeft aangetoond, dat de actieradius van een Sebring-Vanguard Citycar, uitgerust met loodaccu's verdubbeld kan worden door gebruik te maken van Ni-Zn-accu's. De produktiekosten (bij massaproductie) van een Ni-Zn-accu bedragen momenteel echter 550 dollar/kWh tegen 100 dollar kWh voor een loodaccu.

	loodaccu		nikkel-ijzer		nikkel-zink	
	1980	1984	1980	1984	1980	1984
energie-dichtheid (Wh/kg) specifiek	42	50	54	60	64	70
vermogen (20 s) (W/kg) (½ uur)	90	100	110	120	140	140
levensduur (cycli)	300	750	1500	2000	200	500
prijs (\$/kWh)	100	60	500	300	500	250

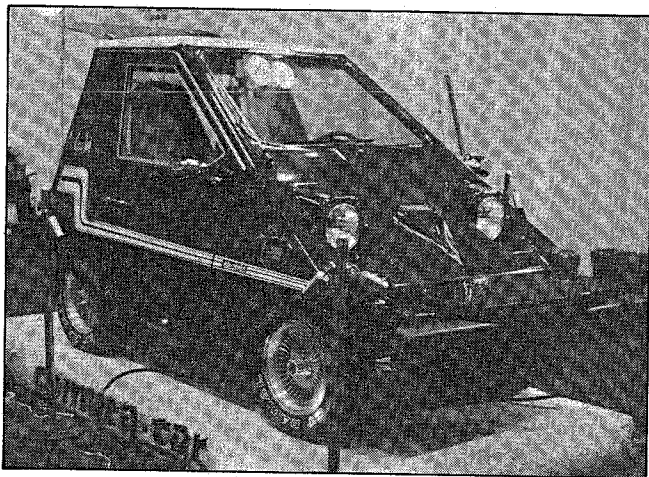
Tabel 1: verwachte ontwikkelingen voor de meest belovende accu

zondering. Het vermogen bij hoge stroomsterkte is echter laag en voor een Ni-Fe-accu moet op het ogenblik een prijs van 900 dollar/kWh worden betaald. Eagle Picher is zojuist begonnen met de beproeving van een Ni-Fe-accupakket (125 volt) in een Volkswagen-transporter en

en de statorstroom aan elkaar gelijk zijn. Bij de onafhankelijk bekrachtigde gelijkstroommotor kunnen de ankerstroom en de veldstroom onafhankelijk van elkaar worden geregeld, zodat de bedrijfspunten gemakkelijk zijn in te stellen. De ankerstroom van deze motor kan in

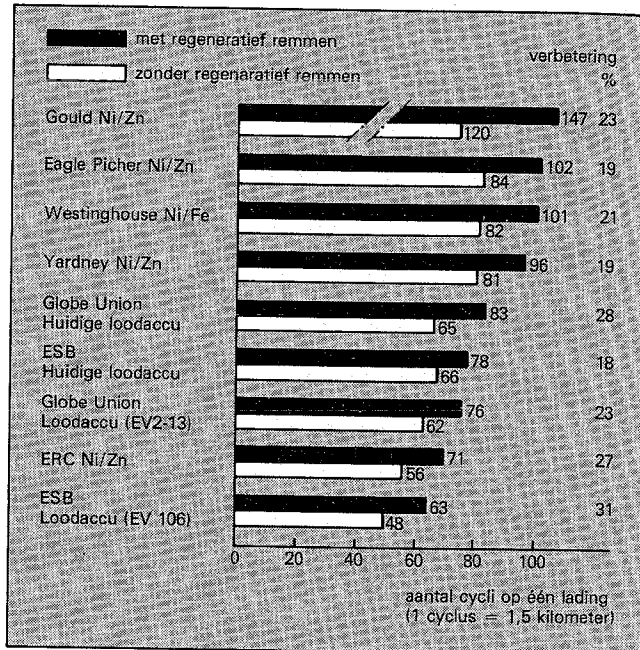
car II heeft een traploos variabele snelheidsregeling, doordat in het motorcircuit gebruik wordt gemaakt van een chopper. De maximale frequentie van de gebruikte thyristor bedraagt 1000 Hz. Doordat de energiestroom naar de motor traploos kan worden geregeld, kan het

bruikt om het veld van de onafhankelijk bekrachtigde motor te versterken. De motor werkt dan als generator en er wordt energie teruggevond naar de accu. Argonne National Laboratory heeft de invloed van regeneratief remmen op de actieradius bestudeerd voor loodaccu's, Ni-



Figuur 2: de Sebring-Vanguard City-car

Figuur 3: de invloed van regeneratief remmen op de actieradius (Uit: Hornstra, F.e.a., 'Results of simulated driving profiles', EV Expo 80, St. Louis)



de eerste testen hebben, vergeleken met de standaard gemonteerde loodaccu's, een verbetering van de actieradius met 50% opgeleverd. Het rendement van het Ni-Fe-systeem is lager dan dat van loodaccu's, terwijl bovendien bij het opladen van de batterij veel waterstof ontstaat. Om deze gasontwikkeling tegen te gaan wordt bij het opladen het elektrolyt gekoeld en het accupakket geventileerd om explosiegevaar te vermijden.

### Aandrijving

Voor elektrische wegtractie worden tot heden vanwege de aanwezige gelijkstroombron, de grote systeembetrouwbaarheid en de aanschaffkosten vrijwel uitsluitend gelijkstroommotoren gebruikt. Bij de vroeger vaak gebruikte seriemotor heeft een variatie van het koppel ook een variatie van het toerental tot gevolg, omdat de ankerstroom

afhankelijkheid van de last tot zijn maximale waarde vergroot worden zonder een sterke variatie van het toerental. Snelheidsregeling van eenvoudige elektrische voertuigen wordt vaak gerealiseerd door de klemspanning van de motor in een aantal stappen te variëren via opdeling van het accupakket en serie-/parallelschakeling van deze delen door middel van schakelaars. Als het aantal spanningstrappen klein is, dan verandert de aandrijfkraft bij het schakelen sprongsgewijze. Om dit probleem te verminderen kan tijdelijk een voorschakelweerstand in serie met het anker van de motor worden geschakeld. In deze voorschakelweerstand gaat echter voor aandrijving bestemde energie verloren door omzetting in warmte. De Sebring-Vanguard City-car (figuur 2) maakt gebruik van een regeling in 3 trappen.

De recent ontworpen City-

voertuig zonder hinderlijke schokken tot aan hoge snelheden optrekken. Tot nu toe worden voornamelijk choppers met thyristoren als schakелеlementen gebruikt, omdat transistoren niet in staat zijn de hoge stromen, die bij elektrische voertuigen gebruikelijk zijn te geleiden. General Electric is bezig met de ontwikkeling van vermogenstransistoren voor snelheidsregeling van elektrische voertuigen. Een voordeel van het gebruik van transistoren is het feit, dat ze goedkoper zijn en dat de geleiding en blokkering eenvoudiger te beheersen zijn dan die van een thyristor.

Een andere interessant punt wat betreft de aandrijving van elektrische voertuigen is het remmen. Alle elektrische voertuigen zijn uitgerust met mechanische remmen, terwijl de moderne voertuigen ook elektrisch kunnen remmen. Tijdens het remmen wordt de veldchopper ge-

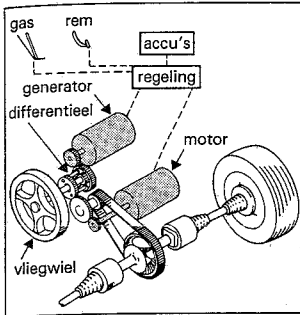
Zn-accu's en Ni-Fe-accu's. Bij de testen wordt uitgegaan van de SAE J227 D ritcyclus. Uit deze ritcyclus werd een belastingspatroon voor de accu's afgeleid en metingen hebben aangetoond, dat duidelijke vergrotingen van de actieradius (20-30%) mogelijk zijn met regeneratief remmen (figuur 3).

### Elektrische voertuigen

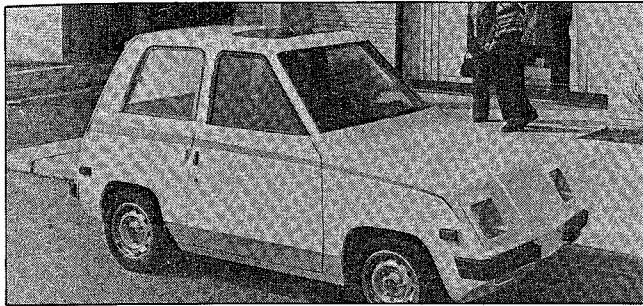
DoE heeft een contract van 6 miljoen dollar met de ontwikkelingsafdeling van General Electric Company voor de ontwikkeling en bouw van twee experimentele elektrische voertuigen. De voertuigen worden voorzien van 18 Globe Union loodaccu's en van volledig elektronisch geregelde gelijkstroommotor, die via een vaste reductie de voorwielen aandrijft. Van deze voertuigen wordt een topsnelheid van 90 km/h en een actieradius van 120 kilometer in stadsverkeer ver-

wacht. Opdat de kosten van het voertuig (ETV 1) vergeleken kunnen worden met die van conventionele voertuigen, heeft DoE de ontwerpers opgedragen om het voertuig zodanig te construeren, dat massaproductie mogelijk is. Van deze voertuigen zijn weinig testgegevens, omdat ze

beterde versies, die momenteel in ontwikkeling zijn. Garrett AIRsearch heeft, daartoe gesubsidieerd door DoE, een voertuig geconstrueerd met een bijzondere elektrische aandrijving. Tijdens stadsritten heeft een voertuig hoge piekvermogens nodig voor acceleratie, terwijl het



◀ **Figuur 4: vliegwielaandrijving van Garrett AIRsearch**



**Figuur 5: de Copper Electric Runabout**

recent aan DoE zijn afgeleverd. General Electric Company, Chrysler Corporation, Triad Services en ESB hebben gezamenlijk een voertuig gebouwd, waarin 18 loodaccu's (6 volt) op een slede in een centrale accukoker zijn aangebracht. De 18 kW-gelijkstroommotor die volledig elektronisch wordt geregeld, drijft via een vaste overbrenging de voorwielen aan. Een dergelijke plaatsing van de aandrijfcomponenten garandeert een uitstekende gewichtsverdeling in het voertuig en een snelle uitwisseling van het accupakket is mogelijk.

Testen hebben aangetoond, dat het 1500 kg wegende voertuig een actieradius heeft van 120 km bij een constante snelheid van 65 km/h en een topsnelheid van 97 km/h is geen probleem. Deze Centennial Electric is zodanig ontworpen, dat de aandrijfcomponenten eenvoudig kunnen worden vervangen door ver-

gemiddelde afgenomen vermogen veel lager is. Een voertuig van 1200 kg heeft voor snelheden van 40 tot 50 km/h gemiddeld ongeveer 5 kW nodig, maar 25 kW voor acceleratie is geen uitzondering. Het Garrett-aandrijfsysteem maakt gebruik van een vliegwiel, dat de hoge vermogens levert voor acceleratie en energie opslaat tijdens het remmen, zodat het centraal in in het voertuig aangebrachte accupakket (18 accu's van 6 volt) alleen het gemiddelde vermogen hoeft te leveren. De combinatie van energierecuperatie en gunstige accubelasting levert een actieradius op van 152 kilometer voor ritcyclus SAE J227 D. Het aandrijfsysteem dat de achterwielen aandrijft, bestaat uit een vliegwiel, tractiemotor, generator en transmissie (figuur 4). De tractiemotor en de generator zijn identiek onafhankelijk bekrachtigde gelijkstroommachines, die speciaal voor gebruik in elektri-

sche voertuigen ontwikkeld zijn. De assen van vliegwiel, generator en motor zijn via een planetair tandwielstelsel gekoppeld en vormen zo een continu variabele transmissie. De energiestroom van en naar het vliegwiel wordt geregeld door de generator, want de verandering van het vliegwieltoerental is afhankelijk van het koppel, dat de generator aan het ringwiel afgeeft.

De grootte en richting van de vermogensstroom in de transmissie wordt bepaald door de regellogica, afhankelijk van de wensen van de chauffeur. De gehele regeling vindt plaats door van de twee gelijkstroommachines de veldstroom te variëren. Om vermogen voor acceleratie ter beschikking te krijgen wordt het magnetische veld van de generator versterkt, waardoor het ringwiel langzamer gaat draaien. Daardoor wordt het vliegwiel vertraagd en wordt het gevraagde extra vermogen afgegeven. De kinetische energie van het voertuig wordt bij het remmen gedeeltelijk teruggenomen door de richting van de energiestroom om te keren. De tractiemotor, die werkt als generator, verschaft elektrisch het remvermogen en de generator, die nu als motor werkt, gebruikt het elektrisch vermogen om het ringwiel te versnellen. Daardoor wordt energie in het versnellende vliegwiel opgeslagen. Door deze aandrijving voldoet het voertuig uitstekend in het stadsverkeer en door de gunstige belasting kan een lange levensduur van de accu verwacht worden.

De ervaring, die Copper Development Association de laatste jaren heeft opgedaan door diverse elektrische voertuigen te bouwen, is geheel terug te vinden in de nieuwe Electric Runabout (figuur 5). Deze Runabout is een ruime, uitstekend te manoeuvreren 4-persoonsauto. De body van het voertuig is gemaakt van met glasvezel versterkt polyester. Centraal in het ruggegraatchassis bevindt zich een snel uitwisselbaar accupakket van 12 loodaccu's (6 volt) met een geza-

menlijk gewicht van 373 kg. De volledig elektronisch geregelde onafhankelijk bekrachtigde gelijkstroommotor, die via een vaste reductie de voorwielen aandrijft, versnelt ondanks het lage maximum vermogen van 11 kW het lichte voertuigje van 0 tot 50 km/h in 8,6 seconden. Door het lage gewicht van 980 kg is een grote actieradius in het stadsverkeer haalbaar. Jet Industries is een belangrijke producent van elektrische voertuigen, die bestaande personenauto's voorziet van een accupakket en een serie-gelijkstroommotor koppelt aan de standaard aanwezige versnellingsbak. De Electrica 007 is een 4-persoonsauto, die een actieradius heeft van 80 km. Verder heeft men bij Jet Industries nog keuze uit drie bestelwagens en twee pick-ups, waarvoor onder andere de US Postal Service belangstelling heeft. US Electric Corporation bouwt elektrische versies van Renault 5 en Fiat Ritmo. Aan de bestaande versnellingsbak wordt in beide gevallen een 48 volt-gelijkstroommotor gebouwd, boven deze motor worden 4 accu's gemonteerd en in de bagageruimte worden de overige 4 accu's geplaatst.

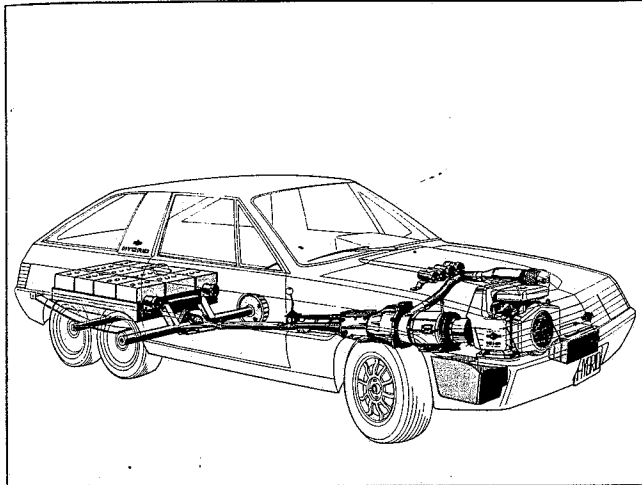
Electric Auto Corporation heeft een typisch Amerikaans model ontwikkeld, Silver Volt. Dit is een 5-persoons combinatie-auto met een 80 kW-serie motor en een automatische versnellingsbak.

Om op de SAE J227 A cyclus een actieradius van 100 kilometer te realiseren heeft het 5,2 meter lange en 2600 kilogram wegende voertuig 818 kg aan accu's nodig. De Silver Volt heeft een door een benzinemotor aangedreven generator (10 kW) aan boord om in geval van nood de actieradius te vergroten. In de folder rekent men het 'brandstofverbruik' voor: bij een actieradius van 128-160 kilometer is 1,4 dollar aan elektriciteit nodig. Bij de huidige benzineprijzen krijgt men dus een equivalent van 29,7 kilometer per liter, 'which is not bad for a five-seater luxury car'.

## Hybride voertuigen

Elektromotoren en verbrandingsmotoren kunnen in hybride voertuigen op verschillende manieren gekoppeld worden. Bij een serie-hybride systeem wordt het afgegeven vermogen van de verbrandingsmotor door een genera-

eert samen met een aantal andere firma's uit de VS, West-Duitsland en Japan voor DoE twee hybride personenwagens, die naar verwachting 40% minder benzine zullen gebruiken. Beide voertuigen worden aangedreven door een 30 kW-elektromotor en een 60 kW-benzinemotor. De



Figuur 6: Briggs and Stratton's hybride elektrische auto

tor omgezet in elektrisch vermogen, dat via een elektromotor en een aandrijflijn het voertuig voortbeweegt de motor werkt onder constante belasting, hetgeen het brandstofverbruik ten goede komt. Het overschot aan opgewekt elektrisch vermogen wordt gebruikt om de accu's op te laden en een eventueel tekort wordt door de accu geleverd. In een andere configuratie zijn de verbrandingsmotor en de elektromotor parallel geschakeld en maakt men gebruik van elektrische aandrijving in urbaan en suburbaan verkeer, terwijl de verbrandingsmotor voor hogere snelheden op de autoweg ingeschakeld wordt.

Het hybride aandrijfsysteem is aantrekkelijk voor grotere voertuigen zoals stadsbussen, vanwege de ritkarakteristieken en – in verband met de plaatsing van een accupakket – de afmetingen. De hybride voertuigen bevinden zich nog in de experimentele fase en zullen over drie jaar voor de demonstraties van DoE beschikbaar zijn. De volgende voertuigen worden momenteel ontwikkeld:

- General Electric constru-

elektromotor zal voornamelijk bij snelheden tot 50 km/h worden gebruikt. De benzinemotor zal gebruikt worden bij hogere snelheden en in situaties, waarin zowel de elektromotor als de verbrandingsmotor nodig zijn (inhaalmanoeuvres), zal de belasting automatisch worden verdeeld.

- Een ander experimenteel hybride voertuig is reeds ontwikkeld door Briggs and Stratton (figuur 6). De chauffeur kan de actieradius bepalen: 48 à 96 kilometer tussen twee acculaadstations of 450 kilometer tussen twee benzinestations. Als elektrische aandrijving wordt gebruik gemaakt van een 6kW-seriegeleijk-stroommotor en van 12 loodaccu's van 6 V, die als twee pakketten van 36 V in het voertuig zijn aangebracht. De verbrandingsmotor is een luchtgekoelde 13kW-benzinemotor, die door Briggs and Stratton zelf ontwikkeld is. De elektromotor drijft via een handgeschakelde versnellingsbak het voertuig aan en de verbrandingsmotor kan met behulp van een automatische koppeling bijgeschakeld worden.

- Voor DoE's Division of Energy Storage Systems en het Department of Transportation wordt een stadsbus ontwikkeld met een vliegwiel-elektrische aandrijving. Het aandrijfsysteem bestaat uit een 1360 kg wegend vliegwiel, dat een maximum toerental heeft van 10 000 omw/min. Het vliegwiel kan in 90 seconden door laadstations op toeren worden gebracht. Een motor-generator op de vliegwielas zorgt voor de overbrenging van het vermogen. Transportation System Division van General Electric heeft hiervoor 10 miljoen gulden subsidie ontvangen.

## Conclusie

Evenals in Europa en Japan, waar ook gewerkt wordt aan elektrische personenauto's, bestelwagens en stadsbussen, neemt in de VS de belangstelling voor elektrische voertuigen steeds toe. Voor bepaalde toepassingen is reeds gebleken dat de bedrijfskosten aantrekkelijk zijn. Het kernprobleem blijft echter het ontwikkelen van een batterij, die minder weegt, een hoge energie- en vermogensdichtheid heeft en een lange levensduur. De nikkel-zink en nikkel-ijzer-accu's lijken mogelijke opvolgers van de loodaccu te worden. Men kan op drie fronten ontwikkelingen aan elektrische voertuigen onderscheiden:

- de firma's proberen voor de potentiële gebruikers met beschikbare technologieën een goedkoop elektrisch voertuig te bouwen door ofwel een eenvoudig voertuig te construeren – Sebring Vanguard – ofwel een standaard voertuig van een elektrische aandrijving te voorzien – Lillo, Jet Industries en American Motors, die voor de US Postal Service elektrische jeeps bouwen
- industrieën, zoals Briggs and Stratton en Electric Auto Corporation, proberen met het bekende Amerikaanse show-element aan te tonen, dat de door hen ontwikkelde voertuigen de toekomst willen gaan beheersen.

- General Electric, Chrysler, Garrett en Copper Development Association hebben met de doordacht geconstrueerde voertuigen aangetoond, dat een geïntegreerd elektrisch voertuig te fabriceren is op basis van geavanceerde, nog niet commercieel aanvaarde technologieën.

## THE-auto

Op de TH Eindhoven wordt door de Interafdelingswerkgroep Elektrische Auto een elektrische stadsauto ontwikkeld. In dit project wordt samengewerkt door de Afdeling Scheikundige Technologie, Elektrotechniek en Werktuigbouwkunde. De werkgroep heeft zich o.a. tot doel gesteld diverse aandrijfconcepten in eenzelfde voertuig te construeren en te beproeven. De gedachten gaan daarbij uit naar:

- een aandrijflijn met getrapte spanningssturing in het ankercircuit, elektronische veldstroomregeling en een automatische versnellingsbak zonder koppelvormer i.v.m. het energieverbruik
- een aandrijflijn met volledige elektronische motorregeling en eventueel een versnellingsbak
- een aandrijflijn met alleen elektronische veldstroomregeling en een continu variabele transmissie.

Als basis is gekozen voor de Volkswagen Golf, die geheel zal worden omgebouwd mede omdat het accupakket gemakkelijk uitschuifbaar achter uit de auto moet kunnen worden gehaald. Hiertoe is een ruimte gemaakt in het midden van de auto. De Golf is gekozen omdat de inwendige ruimte die beschikbaar is voor zowel het accupakket als personen bij deze auto voldoende is. Ook heeft de Golf een laag eigen gewicht, terwijl het draagvermogen relatief hoog is. Om plaats te creëren voor het accupakket moet de achteras worden aangepast. Bij de Golf is dit gemakkelijk te realiseren.

Verwacht wordt dat de elektrische auto van de TH Eindhoven voor het eind van 1981 bedrijfsgeraad zal zijn. ■