

Auto & Motor
TECHNIEK

© **WWW.AMT.NL** - Dé internetsite voor de Automotive Professional

GVB test waterstofbus in de praktijk

OV op z'n schoonst

Geen stank, geen lawaai maar voor de rest een gewone stadsbus. Een droom? Nee, in Amsterdam rijden sinds begin dit jaar in het kader van een Europees experiment drie stadsbussen met brandstofcellen aan boord. De reizigers vinden het prachtig, maar voordat de bussen echt volgens het dienstrooster rijden zal er nog veel water door de Rijn moeten stromen.

Onder de naam CUTE (Clean Urban Transport for Europe) testen openbaar vervoerbedrijven van negen Europese steden de komende twee jaar de inzet van een brandstofcelbus in de dagelijkse praktijk. Het GVB in Amsterdam is een van de deelnemers. Sinds december vorig jaar beschikt men over drie Citaro-bussen van DaimlerChrysler die zijn voorzien van deze

alternatieve aandrijflijn. Doel van deze groot-schalige praktijkproef is om kennis en ervaring op te doen met brandstofcellen en alles wat daarbij hoort. Want bij brandstofcellen komt meer kijken. Er moet een nieuwe infrastructuur worden georganiseerd, productie, transport en opslag zijn nu nog bijna blanco onderwerpen, hoe ze straks geïmplementeerd worden is mede

afhankelijk van de ervaringen die de verschillende deelnemers aan het CUTE-project opdoen. Voor het GVB is het min of meer logisch om aan een dergelijk project mee te doen. Het bedrijf ziet de noodzaak van schonere OV, zeker in een dicht bevolkt gebied als de Amsterdamse binnenstad. Zo deed men begin jaren negentig al onderzoek naar LPG en aardgas als brandstof voor de bussen. In de eindrapportage bleken de kosten van deze alternatieve brandstoffen hoger te liggen dan die van diesel en men koos voor de portemonnee en niet voor het milieu. Wel is op dit ogenblik de complete dieselvloot van het GVB uitgerust met de nieuwste generatie roetfilters en rijden de bussen op zwavelarme diesel. Ook aan proefnemingen rond de eerste generatie brandstofcellen in 1988/1989 heeft het bedrijf samen met de Lijn (het Brusselse GVB) meegewerkt. Dit betrof een oude gelede trolleybus uit Arnhem waarvan het binnenwerk bijna compleet was volgebouwd met techniek. De huidige PEM-cel was toen nog niet voorhanden, men gebruikte een keramische zure brandstofcel. Die had als nadeel dat de installatie veel volume innam, er was zelfs een aanhanger voor nodig. De waterstof werd vloeibaar meegenomen. Het ding heeft eenmaal gereden, zonder passagiers, op een groot garagerrein van de Lijn in Brussel en stierf daarna een stille dood.

Het dak op

Nu, vijftien jaar verder, is er grote vooruitgang geboekt. De drie Citaro-bussen zijn alleen met een kennersoog te onderscheiden van de dieselgestookte versies. En dat was ook precies de bedoeling, de brandstofcelbus moet, voor een eerlijk vergelijk, de concurrentie aankunnen met een conventionele versie. Of het nu gaat om het aantal passagiers, de inrichting, de plaats van de motor, de versnellingsbak of de bestuurdersplaats inclusief bediening, alles is 'zoals we gewend zijn'.

Sinds begin dit jaar rijden er in Amsterdam drie Citaro's van DaimlerChrysler die zijn voorzien van brandstofcellen. Uitermate schoon en stil, bijzonder populair bij het publiek maar nog niet betrouwbaar genoeg en voldoende uitontwikkeld voor een volle werkdag.





De temperatuur in de brandstofcel loopt op tot 75°C, grote ventilatoren op het dak helpen deze warmte afvoeren.



Aan de infrastructuur rondom de bestuurdersplaats is zo weinig mogelijk veranderd; accelereren, remmen, schakelen, alles is gelijk aan de diesel. Wel zijn er aan het instrumentenpaneel een aantal controlelampjes toegevoegd inclusief een scherm dat informeert over de huishouding van het brandstofcelsysteem.



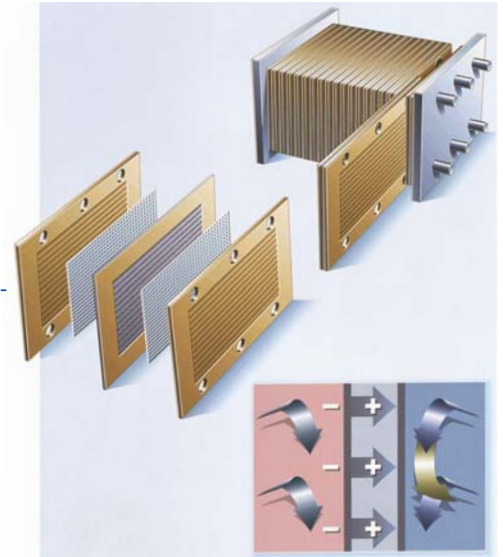
Tanken geschiedt voor iedere rit, de bussen worden dus leeg gestald. Het aansluiten van de slang heeft veel overeenkomsten met LPG. Alvorens te vullen leest het systeem eerst de data uit en controleert het de druk en temperatuur van de installatie.

Rijdende krachtcentrale

De Citaro's van het GVB zijn voorzien van de vierde generatie brandstofcel, ontwikkeld door de Canadese onderneming Ballard.

DaimlerChrysler participeert voor bijna 25% in dit bedrijf. De brandstofcellen van het type Mark 900 zijn aan elkaar gekoppeld tot zogenaamde stacks, vergelijkbaar met de verschillende cellen van een accu. De brandstofcellen op de bus leveren 200 kW. Het elektrisch vermogen wordt gebruikt om de elektromotor aan te drijven, deze drijft via de verder conventionele aandrijflijn (zesversnellingsbak, tussenas en differentieel) de wielen aan. In de brandstofcel vindt een omgekeerde elektrolyse plaats. Bij een chemische reactie verbinden

zich waterstof en zuurstof tot water, hierbij komen elektrische energie en warmte vrij. Een flinterdun, katalytisch Proton Exchange Membrane (PEM-membraan) scheidt de zuurstof en het waterstof en brengt een gecontroleerde reactie op gang. Waterstofatomen worden gesplitst in elektronen en protonen. Alleen de protonen kunnen door het membraan naar de andere kant van de cel. Daardoor ontstaat aan de anode een overschot aan elektrisch negatief geladen deeltjes, aan de kathode een overschot aan positieve lading. Een potentiaalverschil dus wat een elektrische spanning van 1,1 Volt oplevert. Verschillende units worden aan elkaar gekoppeld om een



De brandstofcel bestaat uit sets van geleidende platen die qua functie lijken op de polen van een accu. De PEM-laag ertussen zorgt voor een gecontroleerde reactie tussen waterstof en zuurstof.

acceptabel vermogen te realiseren. In de afgelopen jaren is het vermogen van de brandstofcel verveelvoudigd terwijl de afmeting hetzelfde is gebleven. Naast elektrisch vermogen produceert de installatie ook warmte, de temperatuur in de cel loopt op tot 75°C. Het grote probleem van de brandstofcel

is eigenlijk het vervoer en opslag van waterstof. Doordat het zo makkelijk reageert met zuurstof is het bijzonder brandbaar. En omdat het bij kamertemperatuur gasvormig is kun je het alleen maar onder hoge druk of bij zeer lage temperaturen bewaren om een beetje 'gewicht' te krijgen.

De waterstof Citaro's zijn iets hoger dan de diesels. Dat komt omdat de brandstofcelinstallatie op het dak is gebouwd. Die plek is niet alleen gekozen vanwege de goede toegankelijkheid bij onderhoud en reparatie, maar ook vanwege de veilige plaatsing van alle aggregaten. Denk aan de negen waterstoftanks, het brandstofcellenpakket, het koelsysteem en de airco-eenheid. Die extra hoogte heeft wel een nadeel: op een aantal lijnen met lage viaducten in de binnenstad kunnen de bussen niet worden ingezet. Trekken we achter de bus de motorkap open dan is de eerste indruk dat we te maken hebben met een conventionele dieselmotor. Het distributiedeel van de 'oude' motor heeft men intact gelaten, hierop zijn de hulpaggregaten zoals de airco- en luchtpomp en de dynamo gemonteerd. Niet de krukas maar een elektromotor drijft deze delen aan. De elektromotor van 380 VAC levert 200 kW en is met die waarde te vergelijken met de diesel.

Zoals eerder vermeld, heeft men ernaar ge-

streefd om de inrichting en bediening van de bus zoveel mogelijk hetzelfde te laten. De elektromotor drijft de automatische zesversnellingsbak aan, de aandrijflijn is zo gedimensioneerd dat de bus een top heeft van 85 km/h. De acceleratie is 10% sneller dan die van een diesel. Door de brandstofcelinstallatie bovenop de bus is niet alleen de hoogte toegenomen maar ook het gewicht. Dat maakte montage van een interactief dempersysteem noodzakelijk.

Speciale cursus

Ondanks het feit dat de bus bijna hetzelfde rijdt als een diesel komen niet alle chauffeurs in aanmerking om met de bus te sturen. Het GVB heeft een selectie gemaakt van chauffeurs die in aanmerking (wilden) komen om op de waterstofbus te rijden. De chauffeur krijgt een uitgebreide instructie over de techniek, bediening, storingsmeldingen en controle- en veiligheidssystemen. Speciale aandacht krijgt het tanken. In tegenstelling tot de diesel moet de chauffeur

zelf tanken. Dit gebeurt voor de aanvang van het dienstrooster, de bus wordt 's avonds met een lege tank gestald.

De werkdruk van de bus is 350 bar, tijdens het tanken stijgt de temperatuur. De limieten om te kunnen tanken zijn een temperatuur beneden de 85°C en een druk lager dan 438 bar. Na het tanken koelen de tanks af zodat bij omgevingstemperatuur de druk 350 bar bedraagt. De bus heeft dan 44 kg gecomprimeerd waterstof (het tankvolume bedraagt 1845 liter) in de negen tanks aan boord. Dit geeft een actieradius van circa 200 km (een diesel 600 km), de druk in de tanks loopt daarbij terug tot 50 bar. Om de actieradius te vergroten gaan er geluiden op om de werkdruk te verdubbelen naar 700 bar. Uiteraard ontwikkelt men hiervoor speciale zwaardere tanks.

Dagelijks contact

De bussen worden dagelijks uitgelezen, de data wordt verzonden naar Duitsland en Canada. De ingenieurs van DaimlerChrysler en Ballard, de feitelijke producent van de brandstofcel, sturen zo de monteurs in de werkplaats aan. Dat zijn

De waterstof-Citaro is eigenlijk een gewone dieselvans met op het (verstevigde) dak de brandstofcel inclusief toebehoren. In het motorcompartiment zit een deel van de regeltechniek en de elektromotor. Aggregaten die niets met het rijden te maken hebben zoals dynamo, lucht- en aircopomp worden door de elektromotor aangedreven.

Op het dak liggen negen waterstoftanks met een inhoud van 1845 liter hetgeen goed is voor 44 kg. De maximale druk in de tanks bedraagt 350 bar, er gaan stemmen op om de druk, nadat de tanks zijn vervangen door een zwaarder gedimensioneerd type, te verhogen tot 700 bar.



In het motorcompartiment bevinden zich de regelunit, de hulpaggregaten en de elektromotor met automatische zesversnellingsbak.

geen GVB'ers, in de Amsterdamse werkplaats is voor twee jaar een werknemer van Ballard en één van DaimlerChrysler gestationeerd om de bus draaiende te houden. Het klinkt wat negatief maar de techniek is nog zo experimenteel dat het onmogelijk is om 100% waarborg te hebben omtrent de inzet. Met name de (uitgebreide) veiligheidssystemen van de bus zorgen voor nogal wat uitval. Iedere functie wordt drie keer gecontroleerd voordat het systeem vrijgegeven wordt. Men neemt absoluut geen risico en in geval van twijfel gaat de



bus uit de dienstregeling en werken de specialisten de storingen op een professionele manier weg. Ook blijken sommige sensoren in de praktijk niet goed te functioneren terwijl er in de laboratoriumopstelling geen klachten waren. De sterk wisselende omgevingstemperatuur blijkt dan de boosdoener. Overigens zijn de GVB-monteurs niet bevoegd om aan de aandrijflijn van de bus te sleutelen, zelfs de beide specialisten beroeren geen sleutel voordat er uitvoerig contact is geweest met het 'thuisfront'.

De stalling en werkplaats zijn apart ingericht voor de waterstof-Citaro's. Ze hebben aan de buitenzijde van de stalling een eigen baan waar ze geparkeerd worden. De bussen worden zo gepositioneerd dat de tanks precies onder een luik uitkomen. Ingeval van lekkage detecteert een sensor het ontsnappende waterstof en stuurt het bedieningsmechanisme van de luiken aan. De bewaking krijgt eveneens een signaal dat er iets aan de hand is.

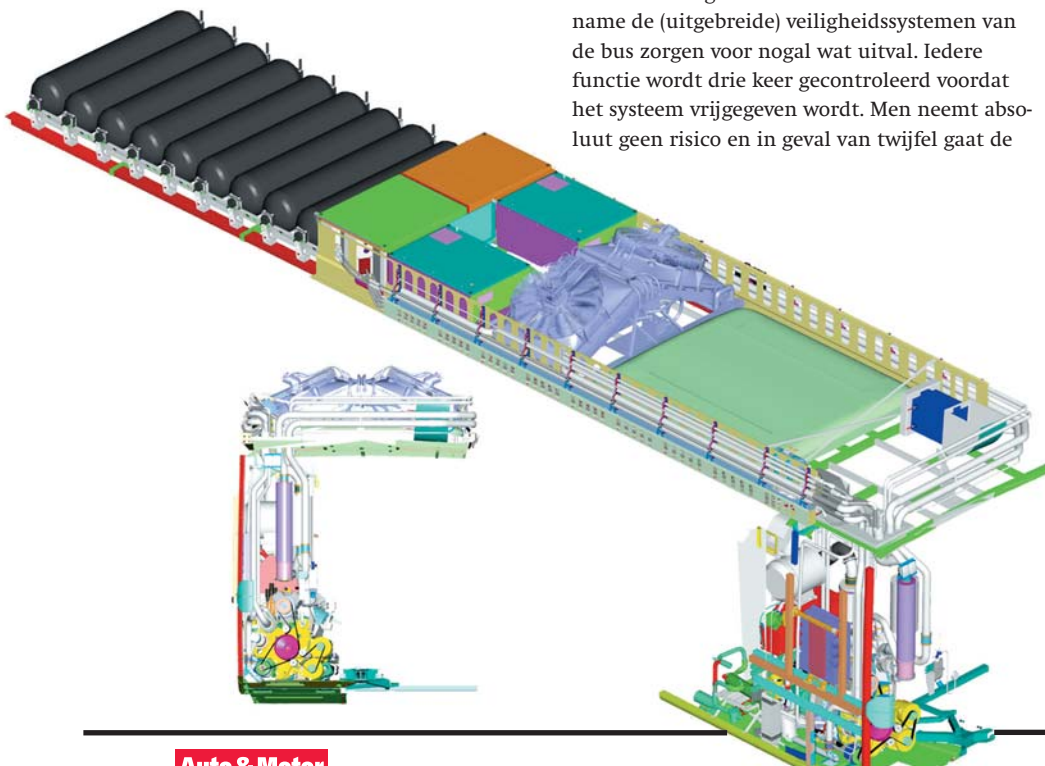
Een andere reden om aan de buitenmuur te parkeren is de mogelijkheid om de bussen aan te sluiten op een externe verwarmingsbron. De brandstofcel wordt tijdens stalling op temperatuur gehouden, dit heeft twee redenen. Allereerst kost het 's ochtends minder tijd om het voertuig gebruiksklaar te 'stomen'. De tweede reden is dat het brandzuivere water in de cel bij temperaturen rondom het nulpunt bevroert en dat betekent het einde van de techniek.

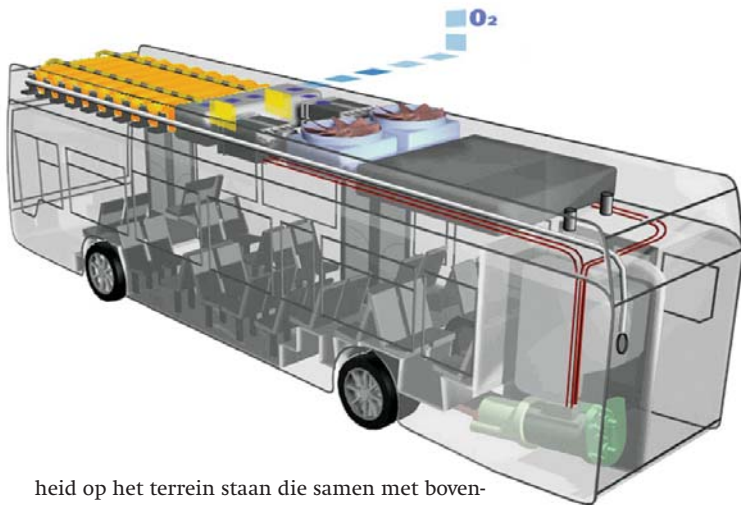
In de werkplaats is er ook een voorziening om boven de tanks eventueel ontsnappend waterstof af te zuigen. Verder wordt voor iedere werkplaatshandeling de bus uitvoerig geaard. Alle elektrische apparatuur in stalling en werkplaats zijn vonkvrij uitgevoerd.

Eigen tankstation

Afgezien van de techniek van de bus kent dit project nog een tweede uitdaging, de waterstofinfrastructuur. Met waterstoftankstations is in de praktijk nog weinig ervaring opgedaan. De deelnemende ondernemingen betreden een compleet nieuw gebied. In het GVB-project participeren Linde-Hoekloos, Shell Hydrogen, Nuon, Novem, Dienst milieu en bouwtoezicht Gemeente Amsterdam en EvoBus om op termijn tot een adequate waterstofvoorziening te komen.

Het GVB heeft een eigen waterstofproductie-een-





heid op het terrein staan die samen met bovengenoemde participanten is opgebouwd. Men heeft gekozen voor elektrolyse waarbij water onder invloed van (groene) elektrische stroom uiteenvalt in zuurstof en waterstof. De zuurstof verdwijnt in de buitenlucht, het waterstof wordt opgevangen en gecomprimeerd tot 275 bar en opgeslagen in tanks.

Tijdens het tanken betreft het tankstation het gasvormige waterstof uit deze tanks. Het tanken neemt ongeveer twaalf minuten in beslag. De nippel lijkt op die van LPG. Voordat het tankstation het waterstof vrijgeeft moet de chauffeur de bus eerst aarden en de datakabel aansluiten. Alle informatie van de bus wordt verzameld, opgeslagen en tijdens het tanken overgestuurd naar de betrokken participanten. Daarna controleert de computer van het tankstation de temperatuur en de druk van de waterstoftanks. Aan de hand van deze gegevens worden de tanks tot een vooraf berekende druk gevuld. Op dit moment werkt het complete proces naar behoren. Weliswaar vallen de bussen nog regelmatig uit om modificaties of reparaties door te voeren, maar tanken, rijden en de veiligheid bewaken lukt. DaimlerChrysler heeft als doelstelling geformuleerd dat de kostprijs van brandstofcellaandrijving op termijn in de buurt moet komen van de huidige gas- en dieselbussen en dat lukt alleen bij grote aantallen. De verwachting is dat de levenscycluskosten al vrij snel kunnen concurreren met die van een conventionele stadsbus. Dit door het ontbreken van mechanisch belaste delen. Dus wie weet blijft het niet bij experimenteren!

Schematische weergave van de waterstofbus. De technische installatie is heel doordacht gepositioneerd, zodat de praktische gebruiksmogelijkheden van een stadsbus in tact blijven.

Hans Doornbos

- De brandstofcellen worden gebundeld tot stacks. Iedere cel levert 1,1 Volt, in totaal is er 600 tot 900 Volt DC aan boord.

