

**Auto & Motor
TECHNIEK**

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

Schoner rijden op waterstof

Missie geslaagd!

Begin dit jaar eindigde in Amsterdam het experiment met drie brandstofcelbussen. In eerste instantie zouden de bussen twee jaar rijden, maar het project werd wegens succes tot twee keer toe verlengd. AMT tekende de technische praktijkervaringen op.

Het CUTE-project (Clean Urban Transport for Europe) startte in 2003. Negen Europese steden deden mee aan dit experiment, waar men de praktische haalbaarheid van waterstof als brandstof voor het openbaar vervoer onderzocht. En dan praten we over de gehele keten: de productie, opslag, het tanken en het rijden op deze brandstof. Doel was om gegevens te verzamelen om



Drie brandstofcelaangedreven Citaro's hebben vanaf 2003 een groot aantal passagiers op twee lijnen in Amsterdam Noord vervoerd. De 270.000 emissieloze kilometers werden redelijk probleemloos afgelegd. Ook in acht andere Europese steden vond een soortgelijk project plaats. Alles met als doel om zoveel mogelijk data te verzamelen voor doorontwikkeling van de waterstofbus.

'brandstofcelbussen' op lange termijn commercieel inzetbaar te maken. Daarbij is van belang te weten hoe deze technologie functioneert in verschillende klimatologische, sociale en sociaaleconomische omgevingen.

Alle data uit het CUTE-project werd verzameld om een blauwdruk te kunnen maken voor de volgende generatie brandstofcelbussen. Speerpunt komt te liggen op de efficiëntie van het energiegebruik. Verder wordt gekeken

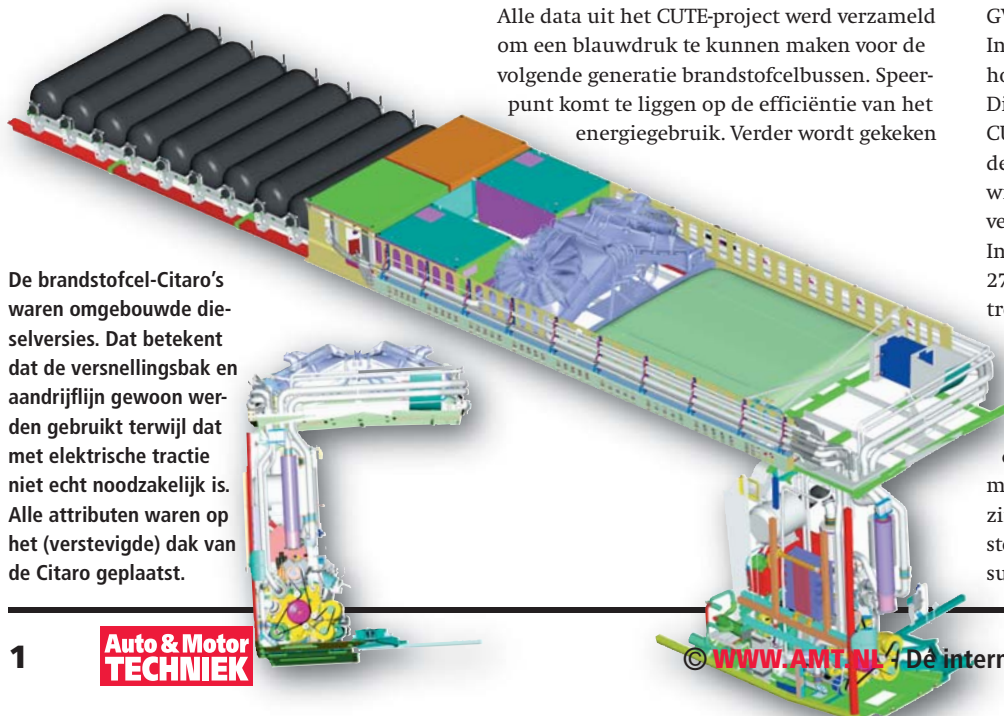
naar verbetering van de waterstofproductie en de waterstoftankinstallaties.

In de verlenging

De Citaro-bussen van Mercedes werden door het GVB ingezet op twee lijnen in Amsterdam Noord. In 2006 zou het project eindigen, maar er was behoefte aan meer gegevens over energiegebruik. Dit vervolgtraject ging onder de naam HyFleet: CUTE door het leven. In totaal deden zeven van de negen landen mee aan deze verlenging, terwijl er ook zes bussen in Australië en China bleven rijden.

In totaal hebben de 'Nederlandse' bussen 270.000 kilometer afgelegd. De inzet en betrouwbaarheid van de waterstofbussen was gelijk aan die van de dieselmotoren en dat is een hele prestatie!

Wel is duidelijk geworden dat er best nog wel het een en ander valt te verbeteren aan de techniek. Maar dat zal, gezien het experimentele karakter van het project, geen verbazing opwekken. De volgende generatie brandstofcelbussen moet 20% minder brandstof consumeren dan een vergelijkbare dieselbus.



De brandstofcel-Citaro's waren omgebouwde dieselvesies. Dat betekent dat de versnellingsbak en aandrijflijn gewoon werden gebruikt terwijl dat met elektrische tractie niet echt noodzakelijk is. Alle attributen waren op het (verstevigde) dak van de Citaro geplaatst.



Een punt van zorg zijn nog steeds de regelkleppen van de brandstoftanks. Als je negen tanks aan boord hebt, hoeft één haperende klep gelukkig niet meteen tot uitval te leiden.

Weinig problemen

Onze maatschappij is nog niet ingesteld om waterstof als brandstof te gebruiken. Een dergelijk project was dus zeer gewaagd, zeker omdat men de intentie had om de bussen gewoon mee te laten draaien in het dienstrooster. Wel stonden er constant drie dieselbussen paraat in de remise om hun taak bij uitval over te kunnen nemen. "Dat is heel weinig voorgekomen", constateert Frits van Drunen, projectleider van het CUTE-programma bij de GVB. "Eigenlijk hebben de waterstof-Citaro's boven verwachting gepresteerd. Natuurlijk waren er aanloopprobleempjes. Zo functioneerden de regelkleppen in het hogedrukgedeelte niet naar behoren. Ze bleven dicht staan, maar aangezien we negen tanks aan boord hadden was het niet zo problematisch als er eens één haperde. Dit in tegenstelling tot de Hy-truck (de waterstofdistributietruck die op de onlangs gehouden BedrijfsautoRAI furore maakte) die maar één tank heeft en waar een haperende klep meteen voor uitval van het voertuig zorgt."

Het project werd van meet af aan begeleid door twee monteurs, één van Ballard (de brandstofcelproducent) en één van Daimler. Ze hebben gelukkig weinig te doen gehad. Alle data werd dagelijks verzameld en verzonden naar de fabrikanen. Daar werd vervolgens bepaald wat er moest gebeuren. Zeker in het begin waren er nogal wat modificaties en probleempjes met verschillende sensoren die in de praktijk toch net iets anders bleken te functioneren dan in het laboratorium.

"Ook de onderdelenvoorziening was net na de start problematisch. In het begin gingen er nogal wat inverters kapot omdat de interne koe-

Amsterdam kiest voor waterstof

Amsterdam dankt haar naam aan het water, evenals haar bestaansrecht. In de toekomst zal water, als het aan de beleidsmakers ligt, een nieuwe betekenis krijgen voor de stad. De gemeente Amsterdam gaat ervan uit dat het gebruik van waterstof in combinatie met brandstofcellen en elektromotoren een belangrijke rol gaat

spelen in onze maatschappij. Men wil hierop anticiperen door samen met partners in de regio het transitietraject naar een waterstof-economie voortvarend op te pakken. Het hier behandelde project zal dan ook worden gecontinueerd en/of uitgebreid. Het gemeentelijk wagenpark, zoals vuilniswagens, zou ook moeten

worden voorzien van waterstoftractie evenals het distributievervoer in de stad. Ook het vervoer over het water moet 'aan' het waterstof. Veerboten, rondvaartboten en het overige personen- en goederenvervoer gaat emissieloos door de stad varen, als het aan de gemeente Amsterdam ligt. Vraag is hoe men aan de benodigde

waterstof moet komen. De installatie bij de GVB-garage in het stadsdeel Amsterdam Noord is nog operationeel, maar elektrolyse is eigenlijk niet de manier om waterstof op grote schaal te produceren. Daarvoor is industriële productie op basis van aardgas of steenkool de gekke weg. Men onderzoekt de mogelijkheden om een dergelijke centrale te bouwen in Westpoort bij de nieuwe biobrandstoffenfabriek of op locaties waar bijvoorbeeld kolenoverslag plaatsvindt.

De gemeente heeft zich hierbij de rol als aanjager toebedeeld. Amsterdam brengt de deelnemende partijen bij elkaar en neemt deel in meerdere waterstofprojecten.



Amsterdam gaat de komende jaren werk maken van waterstof. Al het met de gemeente gelieerd vervoer moet zoveel mogelijk emissieloos door de stad.

ling onvoldoende was. Dat bleek bij alle 36 deelnemende bussen het geval en dan wordt het moeilijk om à la minute een nieuwe te krijgen. Ook hebben we problemen gehad met de printplaten die bovenop de brandstofcellen zijn geplaatst met als doel de cellen te monitoren. Dat had voornamelijk te maken met het verschil in temperatuur aan de boven- en onderzijde van de plaat waardoor er spanning in het materiaal ontstond. Dat probleem was eenvoudig op te lossen door er een reservemodule op te zetten." De prestaties van elke cel werd afzonderlijk gecon-

troleerd. Zodra er één achterbleef werd deze direct vervangen door een nieuw exemplaar. Wel is de algemene opvatting dat de levensduur van de brandstofcellen omhoog moet.

Probleemloos tanken

Amsterdam heeft goed gescoord met de brandstofvoorziening, inclusief het tanken. Nogmaals, de gehele tankprocedure plus de productie van het waterstof moest vanaf nul worden opgebouwd. Amsterdam had gekozen voor elektrolyse. Hierbij splitst men met (groene) stroom water in zuurstof en waterstof. Het zuurstof verdwijnt in de buitenlucht, het waterstof wordt opgevangen, gecomprimeerd tot 275 bar en opgeslagen in tanks.

"Deze methode heeft probleemloos gefunctioneerd." Volgens Van Drunen komt deze manier van waterstofproductie alleen in beeld als je voldoende groene 'elektriciteit' over hebt. Is dat niet het geval dan kun je beter voor een andere manier van produceren kiezen.

Een aantal deelnemers aan het CUTE-programma had gekozen voor steamreforming om waterstof te produceren. Dat bleek niet in alle ge-



De brandstofcellen produceren behoorlijk wat warmte, die met wisselaars en ventilatoren op het dak wordt afgevoerd.

MILIEU

Praktijkervaringen met de Citaro brandstofcelbus

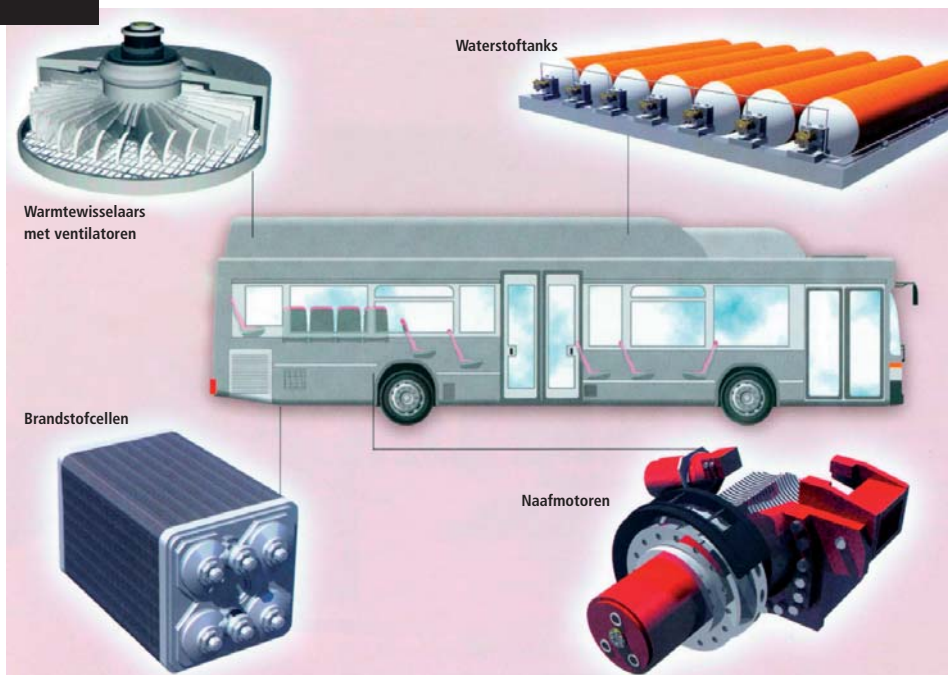
vallen succesvol. Zo heeft de installatie in Madrid nooit gewerkt en moest men het doen met in tanks aangevoerd waterstof. Ook de installatie in Stuttgart had problemen om voldoende waterstof te produceren.

De chauffeurs waren allen bijzonder te spreken over de waterstof-Citaro's. Op zich niet verwonderlijk omdat de bussen qua bediening weinig verschilden van de dieserversies. De reizigers waren vooral verrast door het lage geluidniveau in de bus, opmerkelijk is dat zij zachter gingen praten. Desondanks streeft men ernaar om de volgende generatie nog stiller te maken.

Dieselhybride als basis

De nieuwe serie Citaro-brandstofcelbussen zal gebaseerd zijn op de nieuwe dielelektrische hybridebus van Evobus, waarvan de eerste voorserie dit jaar de weg op gaat. Deze is voorzien van een Euro 5 BlueTec-dieselmotor in combinatie met seriële hybridetechnologie. Dit houdt in dat een dieselmotor een generator aandrijft die het Lithium-Ion-pakket op het dak voedt. De

Foto's: René van den Burg / Daimler



De nieuwe generatie dieselhybride-Citaro's zijn al voorbereid op brandstofcelaandrijving. Op de plek van de dieselmotor en de generator worden de brandstofcellen geplaatst. Het noodzakelijke waterstof ligt onder een druk van 300 bar opgeslagen in zeven tanks op het dak. In totaal heeft men zo 21 kg waterstof aan boord. De tractie wordt verzorgd door vier naafmotoren, de remenergie vloeit terug naar het Lithium-Ion-pakket op het dak. Gebleven zijn de grote warmtewisselaars met bijbehorende ventilatoren.

tractie (voor de gelede bus) wordt verzorgd door vier naafmotoren van ZF. Deze genereren gezamenlijk een vermogen van 320 kW. Hierdoor wordt het betrekkelijk eenvoudig de remenergie terug te laten vloeien in het batterijenpakket. In deze opzet ontbreekt de automatische versnellingsbak en de rest van de aandrijflijn. Deze dielelektrische hybridebussen zijn zodanig geconstrueerd dat de dieselmotor eenvoudig is te vervangen door brandstofcellen van de nieuwste generatie.

Voordeel van deze aanpak is dat men de brandstofcellen veel beter in het ideale werkgebied kan laten functioneren en niet hoeft te dimensioneren op de 'piekvermogenbehoefte' tijdens het accelereren. Dat verbetert de efficiency en de levensduurverwachting.

Condensatoren of batterijen

Of de nieuwe generatie waterstofbussen wordt uitgerust met een Lithium-Ion-batterijenpakket

Waterstof is nog steeds een onbekende brandstof. Alle deelnemers aan het CUTE-project moesten de gehele keten vanaf nul opzetten. Amsterdam had gekozen voor elektrolyse met op het GVB-terrein een eigen tankstation. Dat bleek een probleemloze keuze. Moet echter op grote schaal waterstof geproduceerd worden, dan lijkt steamreforming een betere keuze.



De dieselhybride-Citaro betreft een zogenaamde seriële hybride. De dieselmotor drijft de generator aan die vervolgens de vier naafmotoren aandrijft. De remenergie wordt teruggewonnen en opgeslagen in het Lithium-Ion-pakket op het dak.

of met ultra caps is nog de vraag. MAN heeft ook een waterstofbusproject lopen en zij gebruiken ultra caps in plaats van batterijen. Deze hebben het voordeel dat ze geschikt zijn om kortstondig hoge vermogens af te geven en ze zijn ongevoelig voor snel laden en ontladen. Eigenschappen die over het algemeen niet zo passen bij de gangbare batterijen. Daar komt bij dat ze een stuk lichter zijn.

Hans Doornbos