

Miljøvenlige busser i Hovedstadsregionen

Bilag 2

Brintbusser i Hamborg og andre europæiske byer



Marts 2009

Udgivelsesdato : 18. marts 2009
Projekt : 30.8300.01
Udarbejdet : Silke Alsen
Kontrolleret : Simon Dreyer, Thomas Capral Henriksen
Godkendt : Johnny Iversen

INDHOLDSFORTEGNELSE		SIDE
1	INDLEDNING	3
1.1	Baggrund	3
1.2	Indhold og afgrænsninger	3
2	BRINTBUSSE	3
2.1	Demonstrationsprojekter for brintbusser	3
2.2	Teknisk beskrivelse af brintbusser	5
2.2.1	Typer af brintbusser	5
2.2.2	Brintbusser i Hamborg	8
2.2.3	Brintbusser: Europæiske resultater	9
2.3	Logistik inden anvendelse af brint (busser)	11
2.4	Økonomi	13
2.4.1	Investeringsomkostninger	13
2.4.2	Driftsomkostninger	13
3	BRINTANKSTATIONER	13
3.1	Tankstationen i Hamborg	13
3.2	Tankstationer i andre europæiske projekter	15
3.3	Infrastruktur og logistik inden anvendelse af brint (tankstationer)	17
3.4	Økonomi	17
3.4.1	Investeringsomkostninger	17
3.4.2	Driftsomkostninger	17
4	FREMTIDIG TEKNISK UDVIKLING OG ANBEFALINGER	18
4.1	Teknisk udvikling	18
4.2	Anbefalinger	18

1 INDLEDNING

1.1 Baggrund

Grontmij | Carl Bro A/S har for trafikkselskabet Movia udarbejdet en redegørelse vedrørende teknologiske optioner for miljøvenlige busser i Hovedstadsregionen.

Opgaven omfatter blandt andet også en redegørelse vedrørende brintbusser og erfaringer fra den praktiske anvendelse af disse i europæiske demonstrationsprojekter. Grontmij | Carl Bro A/S har udarbejdet denne rapport baseret på det svenske Grontmij AB's projekterfaringer fra et vigtigt EU-projekt og Grontmij | Carl Bro A/S' egne eksisterende kontakter til Hamborgs brintbusprojekt og andre sammenhænge omkring brint- og brændselscelleteknologien. I redegørelsen indgår offentliggjort projektmateriale, praktiske erfaringer og interviews med relevante aktører.

1.2 Indhold og afgrænsninger

Rapporten behandler følgende spørgsmål:

Brintbusser

- Europæiske projektsammenhænge med relevant erfaringsopsamling omkring brintbuskørsel.
- Teknisk beskrivelse af brintbustyper.
- Investeringsomkostninger ifm. busser (anskaffelse og drift).
- Beskrivelse af infrastrukturbehov inden og under brintbusdriften (ud over tankstationer).

Brinttankstationer

- Beskrivelse af infrastruktur og logistik tilknyttet optankningen.
- Investeringsomkostninger ifm. tankstationer (anskaffelse og drift).

Der vurderes

- Teknologiens udvikling og dens udfordringer.
- Teknologiens modenhed.
- Om teknologien er klar til at blive anvendt i Hovedstadsregionen.

I det følgende beskrives praktiske erfaringer med brintbusserne, efterfulgt af et afsnit om tankstationer.

2 BRINTBUSSE

2.1 Demonstrationsprojekter for brintbusser

Der findes i dag en række brintbusprojekter rundt omkring i verden. Især projekterne i USA, Japan og Europa sætter efterhånden standarder og viser vejen.

USA

Siden 2003 er et stort forsknings- og udviklingsprojekt 'CONTROLLED HYDROGEN FLEET AND INFRASTRUCTURE DEMONSTRATION AND VALIDATION PROJEKT' blevet gennemført i USA af det amerikanske energiministerium sammen med en række industrielle partnere. Ud af de 59 tilhørende køretøjer er 30 produceret af Daimler AG.

Japan

I 2003 initierede en række japanske køretøjsproducenter et stort udviklingsprojekt 'JAPAN HYDROGEN & FUEL CELL DEMONSTRATION PROJECT (JHFC)' med 59 køretøjer. Som vestlige partnere er igen Daimler AG og General Motors involveret.

EU-projekt HyFleet CUTE

I Europa er aktørerne især samlet omkring EU-projektet HyFleet CUTE.

Daimler AG var de første, som for alvor begyndte med deres brændselscelle-program i Europa i 2001. De første 3 CITARO brintbusser blev introduceret i Madrid. Kort derefter blev der også introduceret 3 busser i hhv. Amsterdam, Barcelona, Hamborg, London, Luxemburg, Porto, Reykjavik, Stockholm og Stuttgart. Disse byer sluttede sig sammen under det EU-finansierede CUTE-projekt – CLEAN URBAN TRANSPORT FOR EUROPE, med start i 2001. Efterfølgeren til dette projekt er fra 2006 til 2009 HyFleet-Cute-projektet, hvori byerne – undtagen Stockholm, Porto og Stuttgart – fortsætter samarbejdet.

CITARO brintbusserne blev desuden også introduceret i Perth, Australien i 2004 og i Beijing, Kina i 2005 i anledning af de Olympiske Lege.

CUTE- og HyFleetCUTE-projekterne har efterhånden opnået følgende:

- I alt 33 busser i 10 byer med 11 tankstationer, 6 med brintproduktion på stedet
- Drift: 2 mio. km
- 140.000 servicetimer
- 7 mio. passagerer
- Driftssikkerhed: 90 – 95 %
- Produktion af 220 ton brint
- Erstatning for 650.000 liter diesel¹

HyFleet CUTE-projektet har siden igangsættelsen i 2001 efterhånden skabt bred viden og erfaring igennem demonstrationsprojekterne. Dermed er projektet den vigtigste kilde til oplysninger om brintbusdriften i Europa.

Direkte weblinks til projektet er:

www.hh2wasserstoff.de
www.global-hydrogen-bus-platform.com
www.cleanenergypartnership.de

Analysen af brint og brændselscelleteknologien generelt gennemføres i projektet Roads2Hy.com:
www.roads2hy.com

¹ Opnået marts 2008: CUTE-projektet (2003 - 2006) + HyFleetCUTE (2006 - 2009)

2.2 Teknisk beskrivelse af brintbusser

Brintbusser har typisk samme kørselsegenskaber som traditionelle busser, med den forskel at kørslen er så godt som stødfri, lydløs og uden vibrationer, som kendes fra forbrændingsmotorer.

2.2.1 Typer af brintbusser

Der findes i dag hovedsagelig tre bustyper på det europæiske marked, som drives helt eller delvis med brint:

Type 1: Brændselscellebusser - Brændselscellebusser producerer ikke anden emission end rent vand.

Type 2: ICE-busser (Internal Combustion Engine) - I køretøjer med en ICE-motor forbrændes brinten i en omstruktureret forbrændingsmotor.

Type 3: Hybridbusser – Hybridbusser integrerer el og brint som drivmiddel. Der findes forskellige teknologier til det.

I det følgende eksemplificeres teknologierne ved visning af 4 aktuelle brintbusser:

1. Daimler EVOBUS CITARO – Hamborg (HyFleet CUTE)	
<i>Producent:</i>	<i>Daimler AG EvoBus, Mannheim</i>
<i>Navn:</i>	<i>CITARO Fuel Cell Bus</i>
<i>Serie:</i>	<i>37 busser</i>
<i>Produktionstidsrum:</i>	<i>2002 – 2006</i>
<i>Prototype:</i>	<i>NEBUS (New Electric Bus) 1997 (Ballard)</i>
<i>Aksler:</i>	<i>2</i>
<i>Siddepladser:</i>	<i>60 - 70</i>
<i>Vægt (t):</i>	<i>14</i>
<i>Længde (mm):</i>	<i>11.950</i>
<i>Bredde (mm):</i>	<i>2.550</i>
<i>Højde (mm):</i>	<i>3.688</i>
<i>Elektromotor:</i>	<i>600 Volt, 225 kW driftspræstation</i>
<i>Brændselscelle-stacks:</i>	<i>PEM Celler, 250 kW, Typ Mark 900 Ballard-PEM</i>
<i>Trykgasbeholder:</i>	<i>9 tryk-cylinder med hver > 40 kg H₂. Kapacitet total: 1.845 l</i>
<i>Tryk:</i>	<i>350 bar</i>
<i>Brinttank:</i>	<i>9 tanke, maks. 44 kg (1.845 liter)</i>
<i>Kørselsdistance:</i>	<i>ca. 200 km</i>
<i>Hastighed:</i>	<i>maks. 80 km/h</i>
<i>Brintforbrug pr. 100 km:</i>	<i>24 kg</i>
<i>Dvs. brintforbrug pr. bus pr. dag: 45 - 50 kg til 200-250 km</i>	

Indtil videre har HyFleet Cute-projektet bygget på Daimler EVOBUS CITARO i de nævnte byer. Bustypen er dog ikke længere opdateret. Den anses for at være allerførste tilpasningsfase for brintbusser, fordi en traditionel bus er blevet udstyret med brændselsceller, brinttank og el-tank i stedet for diesel-motoren. Meningen er at videreudvikle bussen med el-bil komponenter. Daimler producerer ikke længere Citaro Evobusser.

► **Facit:** Bussen viser forholdsvis gode tekniske resultater, men har højt brintforbrug. Integration af opdaterede brændselscelletyper såvel som kobling til mere effektive el-komponenter er nødvendig.

2. Daimler CITARO G BlueTec® Hybrid bus – under udvikling

<i>Producent:</i>	<i>Daimler EVOBUS</i>
<i>Navn:</i>	<i>CITARO G Bluetec®-Hybrid</i>
<i>Serie:</i>	<i>planlagt produktion i 5er pakker efter behov</i>
<i>Produktionstidsrum:</i>	<i>p.t. – skal stå færdig i 2010</i>
<i>Prototype:</i>	<i>Daimler Evobus Citaro + Daimler El-bus serie</i>
<i>Aksler:</i>	<i>3/2</i>
<i>Siddepladser:</i>	<i>45</i>
<i>Vægt (t):</i>	<i>28</i>
<i>Længde (mm):</i>	<i>17.940</i>
<i>Bredde (mm):</i>	<i>2.550</i>
<i>Højde (mm):</i>	<i>3.325</i>
<i>Batteri:</i>	<i>Liquid-cooled lithium-ion, maks. 170 kW,</i>
<i>Dieselmotor:</i>	<i>Blue Tec ® OM 924 LA, 160 (218) kW (bhp)</i>
<i>Cylinder: 4 / in-line vertikal</i>	
<i>Kørsels motorer:</i>	<i>4x weeh hub motorer, 320 k2 (total)</i>
<i>Brændselscelle-stacks:</i>	<i>updated technology of 2011</i>

Brint-hybridbusser anses som næste generation brintbusser: Bussen er elektrificeret i meget højere grad og ligner mest el-bil koncepter. Bussen indeholder en elektromotor, et kraftigt batteri og et drift management system, som styrer samdriften. Busserne er allerede i dag planlagt til begge systemer – diesel og brint.

Komponenternes hybridegenskaber bygger på intern styring af genindvinding af den brugte energi: Genopladning af batteriet sker igennem bussens bremseproces. Dermed formindskes bussens energibehov med 20 %. Dieselgeneratoren – og senere hen brændselscellerne – kommer ind uregelmæssigt, når batteriet går ned.

Busserne forventes at have en vægt på 1 ton mindre end Evobus CITARO og viser derfor en relevant formindskelse af driftsmiddelforbrug.

I en første fase, som varer indtil 2010, går Daimler Citaro G BlueTec® Hybridbusser i serieproduktion med en dieselgenerator. Daimler forventer at levere de første 5 busser af denne type til Hamborg i slutningen af 2010.

I anden fase fra 2011 erstattes selve dieselenheden med brændselsceller. De for tiden stadig høje priser for brændselsceller er årsagen til den senere integration af brændselsceller i bussen. Indtil 2011 forventes et relevant prisfald.

Hamburg undersøger p.t., hvilken bustype de skal vælge: Daimler Hybridbusser eller UTC Van Hool busser.

► **Facit:** Daimlers hybridbus er p.t. i udviklingsfasen. Det tekniske fremskridt inkl. fokus på elmodul viser allerede gode resultater. Brændselscelleintegrationen planlægges for 2011, når priserne for enhederne er faldet.

3. UTC VanHool - Hybrid bus (Antwerpen, Californien)

<i>Producent:</i>	<i>Van Hool</i>
<i>Navn:</i>	<i>NewA330 Fuel Cell</i>
<i>Serie:</i>	<i>6 busser</i>
<i>Produktionstidsrum:</i>	<i>2005 – 2007</i>
<i>Prototype:</i>	<i>Daimler Evobus Citaro + Daimler El bus serie</i>
<i>Aksler:</i>	<i>2</i>
<i>Siddepladser:</i>	<i>51</i>
<i>Længde (mm):</i>	<i>11.995</i>
<i>Bredde (mm):</i>	<i>2.550</i>
<i>Højde (mm):</i>	<i>3.340</i>
<i>Elektromotor:</i>	<i>2 x 85 kW Siemens motor</i>
<i>Brændselscelle-stacks:</i>	<i>PEM FC af UTC Power, 120 kW NiMK</i>
<i>Batteri:</i>	<i>(Zebra) 95 kW</i>

UTC-VanHool er et US-belgisk produkt og er p.t. i drift i Californien og Belgien / Antwerpen. Denne hybridbustype er p.t. den største konkurrent til Daimlers Citaro G BlueTec® hybridbus. Den teknologiske opbygning af bussen ligner i høj grad Daimlers koncept. EVOBUS som producent er dog ikke klar på samme måde som Daimler til en egen el-bus serie. Ud over integrationen af brændselscelleteknologien står denne hybridbus-produktion dermed over for flere tekniske udfordringer i forhold til el-komponenterne end Daimler.

► **Facit:** Bussen viser ligesom Daimlers produkt lavt energiforbrug og dermed lave driftsomkostninger. EVOBUS-virksomheden har dog ikke lige så store erfaringer med serieproduktionen af el-busser som Daimler.

4. MAN H2-ICE Bus (Berlin)

<i>Producent:</i>	<i>MAN</i>
<i>Navn:</i>	<i>MAN H2-ICE</i>
<i>Serie:</i>	<i>14 busser i Berlin</i>
<i>Produktionstidsrum:</i>	<i>2004 - 2008</i>
<i>Prototype:</i>	<i>80</i>
<i>Aksler:</i>	<i>2</i>
<i>Siddepladser:</i>	<i>83 (inkl. stående)</i>
<i>Vægt (t):</i>	<i>18</i>
<i>Længde (mm):</i>	<i>12.000</i>
<i>Bredde (mm):</i>	<i>2.500</i>
<i>Højde (mm):</i>	<i>3.370</i>
<i>Elektromotor:</i>	<i>Typ A) 'Naturally aspired' motor (H 2876 UH01), kompression 8,5:1. Maks. effektivitet 30 % Typ B) Turbo-charged motor (H 2876 LUH01), kompression 12:1. Maks. effektivitet 40 %</i>
<i>Brinttank:</i>	<i>10 pressure cylinders of 50 kg H2 (gas)</i>
<i>Tryk:</i>	<i>350 bar</i>
<i>Kørselsdistance:</i>	<i>ca. 220 km</i>
<i>Hastighed:</i>	<i>maks. 80 km/h</i>
<i>Brint forbrug pr. 100 km:</i>	<i>12 kg</i>

MAN's H2-ICE busser er ved at blive testet i Berlin.

ICE-motorer producerer energi ved at forbrænde brint i en tilpasset forbrændingsmotor. Sammenlignet med traditionelle brændsler udsender brintforbrændingen ingen drivhusgasser til atmosfæren.

På grund af de relativt høje temperaturer ved brintforbrændingen opstår der dog nitrogenoxid (NO_x) emissioner (0,2 g/kWh). Selvom motoren ikke udleder drivhusgasser, bliver brintens miljøvenlighed i denne type bus alligevel nedprioriteret, da affaldsproduktet ikke er rent vand. Desuden er omkostningerne til brintproduktionen for høje, til at brint kan være kommercielt konkurrencedygtigt ift. traditionelle drivmidler.

Den følgende tabel viser MAN's H2 ICE bussers forbrændingsgasemissioner i HyFleet CUTE-projektet ².

NO_x	0,2 g/kWh
HC	0,04 g/kWh
PM	0,005 g/kWh
CO	Below measurable limits

Kilde: Roads2HyCom Hydrogen and Fuel Cell Wiki, www.roads2hy.com, 2009

Byen Köln bestilte 20 ICE busser i 2007. MAN stoppede dog leveringen, fordi de udvikler et nyt buskoncept: Brintforbrændingsmotor ICE kobles med energiforsyning via batteri for alle energikrævende komponenter (fx klimatisering). Kritikken forbundet med det er, at busserne forventes at blive meget tunge med større brintforbrug end hybridbusserne.

Hamborg vil ikke bruge denne bustype på grund af dens traditionelle basis i forbrændingsteknologien, som ikke kan anses for CO_2 -neutral.

► **Facit:** Bussen viser lave energiforbrugs- og driftsomkostninger, dog mindre gode miljøværdier pga. forbrændingsprocessen (NO_x).

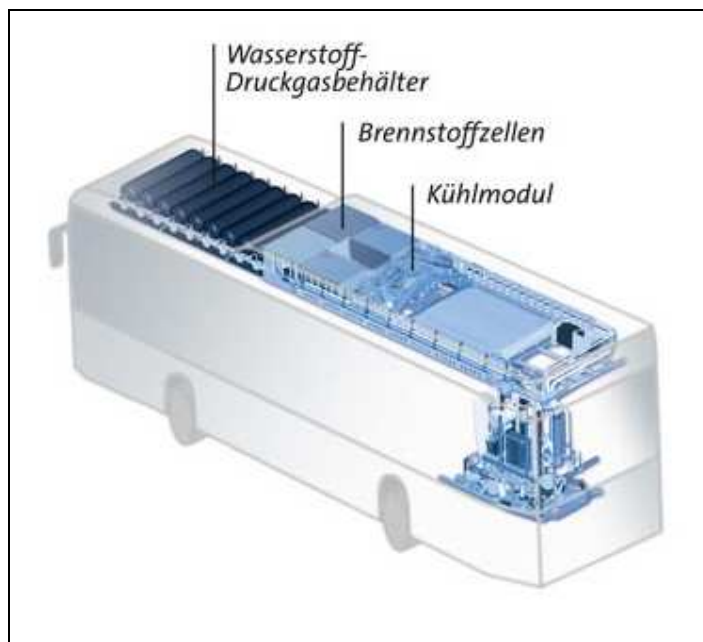
2.2.2 Brintbusser i Hamborg

I Hamborg valgte man i CUTE-projektfasen sammen med de fleste andre projektbyer brændselscelleteknologien i Daimlers CITARO EVOBUS.

Brændselscellen arbejder helt lydløst over passagerernes hoveder. Bussen har et højere tag, hvor de såkaldte 'stacks', dvs. brændselsceller er samlet i bundter. Sammen med cylindrene kan de sammenlignes med en sædvanlig forbrændingsmotor, dog baseret på andet drivmiddel. Brændselscelletypen Mark 900 er produceret i Canada af producenten Ballard.

² Målt efter EUs ESC 13-stage test

Samtidig med brændselscellerne er også brinttank såvel som flere bi-aggregater som pumper, filter og kølingsenheder placeret i bussens tag. Adgangen til vedligeholdelsen anses på denne måde som ideel.



Kilde: www.hh2wasserstoff.de, 2009

I løbet af HyFleet CUTE-projektet installeredes som videreudvikling en el-motor med 200 kW præstation i CITARO bussen. Den sædvanlige 6-gear-automatik, kardanakselen og bagakselen er kendt fra mange seriebusser og har flere fordele: Kort introduktionstid for chaufførerne, ligeså smidig og nem brug i linjetrafikken som busser med dieselmotorer, sammenlignelighed af brintbusser med sædvanlige bustyper i praksistests.

Som allerede nævnt ovenfor planlægger Hamborg i en næste fase at udvide demonstrationsprojektet med hybridbusser.

2.2.3 Brintbusser: Europæiske resultater

EUs Roads2Hy.com-projekt gennemførte i 2007 / 2008 en omfattende analyse af brint- og brændselsceller i bustransporten og især fra CUTE-projektet. Her vises de mest relevante resultater af analysen.³

Driftsikkerheden af brintbusserne i CUTE-projektet har mellem 2003 og 2007 vist et gennemsnit på 81,6 %⁴.

³ EU project *Roads2HyCom*, Review of technical, socio-economic and safety findings from fuel cell vehicle demonstration activities, Sept. 2007

www.ricardo.com/roads2hycom/r2h_Downloads/Roads2HyCom%20R2H6031PU%20-%20Review%20of%20Fuel%20Cell%20Vehicle%20Demonstration%20Activities.pdf

Den vigtigste grund til svigt var kontaminering af brinten med olie eller kulpartikler fra kompressoren.

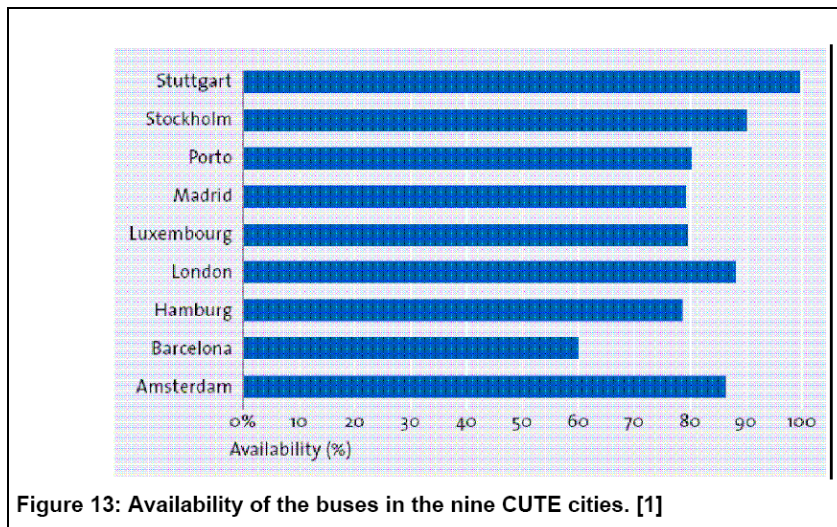


Figure 13: Availability of the buses in the nine CUTE cities. [1]

Kilde: EU projekt Roads2HyCom, 2007

Pålideligheden af nøglekomponenter som brændselscellernes pakkemoduler ('stack') og den elektriske drift var klart over forventning. Pakkemodulernes levetid var mere end 4.000 timer uden at vise større degradation. Til gengæld gav styringssystemerne til højspænding flere steder anledning til teknisk optimering og videreudvikling.

Drivmiddelforbruget er stærkt afhængigt af temperatur og landskabets udformning. Der viste sig større forbrug ved temperaturer under 0°C og over 18°C pga. behovet for temperaturregulering i kabinen – opvarmning om vinteren og køling om sommeren. Bremseenergien i CUTE-projektets busser blev ikke genbrugt, men det var i stedet nødvendigt ekstraenergiforbrug for at bremse busser ned ad bakker / bjerge.

⁴ Definitionen for driftsikkerhed = antal dage i drift per måned vist som procent af det totale antal driftsdage i måneden.

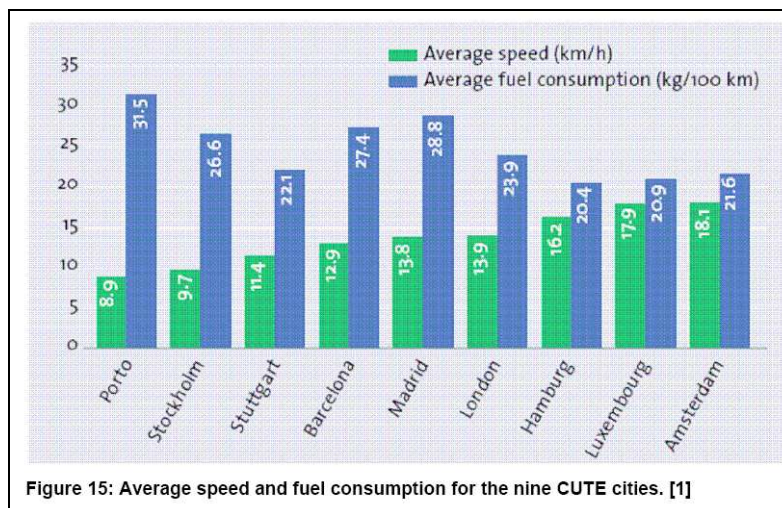


Figure 15: Average speed and fuel consumption for the nine CUTE cities. [1]

Kilde: EU projekt Roads2HyCom, 2007

Ekstreme klimatiske forhold i de meget forskellige projektbyer førte ikke til tekniske forstyrrelser i den daglige busdrift. Busserne var pålidelige og sikre både under daglige temperaturer på 39°C og ned til -16°C, samtidi g med luftfugtigheder fra 13 % op til 100 %.

Generelt ses høj sammenlignelighed mht. brintbusdriften mellem Hamborg og København i forhold til landskabsformen, klima og lovbestemmelser.

2.3 Logistik inden anvendelse af brint (busser)

Den nævnte analyse af europæiske brintbusflåder har vist et behov for yderligere vurdering også ud over det tekniske:

Flådeoperatører melder meget positivt tilbage om køretøjernes daglige drift. Busoperatørerne var generelt tilfredse med infrastrukturinstallationernes præstation.

Dårlige vurderinger skyldes mest forskellige procentdele i den daglige driftssikkerhed. Busoperatører, som havde tidligere erfaringer med naturgas-drevne (CNG) køretøjer og optankningsinfrastruktur, tilkendegav, at der ikke er fundamentale forskelle mellem CNG og brintinfrastruktur.

Fra operatørernes side gøres der dog opmærksom på vigtigheden af uddannelse og træning for fuldt ud at opnå kundernes accept. Dette vedrører ansvarlig omgang med brint pga. dens særpræg mht. højspændingsinstallation, udfordringer omkring gastrykket og den generelle eksplosionsfare.

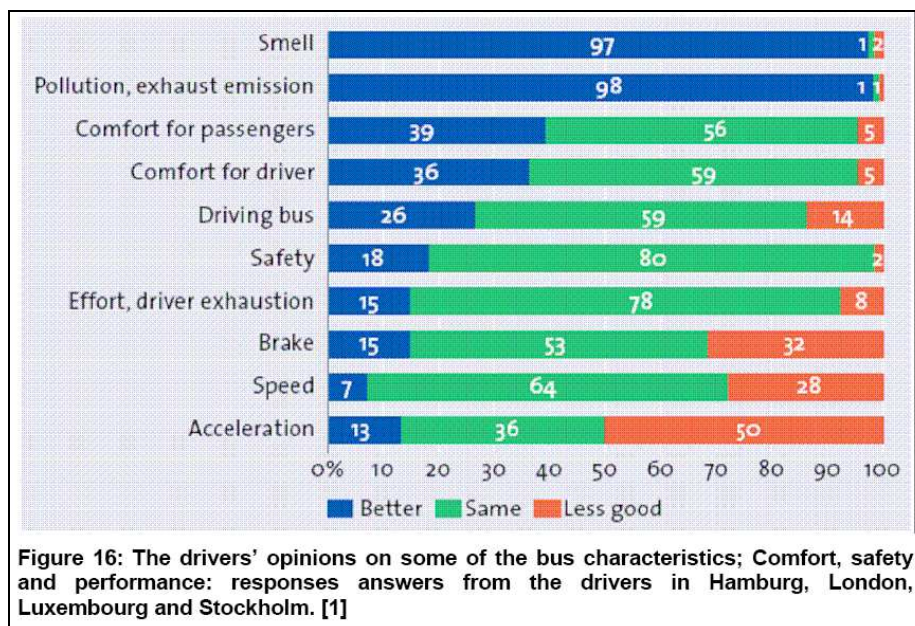
Uddannelsesenheder i Hamborg indeholder både teoretisk og praktisk undervisning. Undervisningsmateriale blev udviklet i CUTE-projektet af de canadiske og tyske teknologiproducenter (Ballard, Daimler AG) og oversat til deltagernes europæiske modersmål.

I Hamborg fik chaufførerne ekstra træning, fordi personalet her selv optanker bussen.

De teoretiske uddannelsesmoduler for chauffører, tankstationens infrastrukturteknikere såvel som for brintbus- og elektrolysatorteknikere omfatter: Brændselscelleteknologi, kendetegn ved brintgassen, brintbus, sikkerhed, tilfælde af ild, kollision, foranstaltninger under nødstilfælde. Praktiske enheder for chauffører omfatter: Kørsels- og vedligeholdelsespraktik, fejlmeldinger, parkering og slukning, optankning.

Sammenfattende henviser de projektansvarlige i Hamborg til, at undervisningsbehovet ikke skal undervurderes, især mht. højspændingsinstallation, udfordringer omkring gstrykket og eksplosionsfare.

Chaufførerne var gennemgående tilfredse med brintbussernes køreevne og roste komforten og sikkerheden ved kørslen. Et detaljeret chauffør-studie i Hamborg, London, Stockholm og Luxembourg har udnævnt brintbusserne til at være lige så gode eller bedre end traditionelle busser. Traditionelle busser viser dog bedre acceleration. Det hænger sammen med brintbussernes ekstra vægt. Som følge af denne positive holdning over for brændselscelleteknologien i busserne er chaufførerne de fleste steder de vigtigste 'ambassadører' for teknologien ift. passagererne.



Kilde: EU projekt Roads2HyCom, www.roads2hy.com, 2007

Tankstationer med særlig infrastruktur- og logistikbehov behandles i det efterfølgende kapitel.

2.4 Økonomi

2.4.1 Investeringsomkostninger

CUTE-delprojektet 'HH2' i Hamborg blev støttet mellem 2001–2003 med 6 mio. Euro. Fordelingen af midlerne mellem parterne ser således ud:

- 40 % finansieres med EU-midler.
- 50 % af HOCHBAHN, Vattenfall og BP.
- 10 % er overtaget af forbundsstatens økonomiministerium.

2/3 af midlerne bruges til busserne, 1/3 ca. til brintproduktionsanlæggene.

I 2001 aftalte CUTE-projektet særpriser med busproducenten Daimler-Evobus: En bus kostede ca. 1,35 mio. Euro. Samtlige reservedele såvel som vedligeholdelsespersonale (2 teknikere pr. by) var inkluderet.

I dag fremstilles selve bustypen ikke længere, fordi der på brintbusmarkedet overgår til hybridkonceptet.

2.4.2 Driftsomkostninger

I Hamborg ligger driftsomkostningerne samlet set for bus- og tankstationsdriften på ca. 120.000 Euro om året.

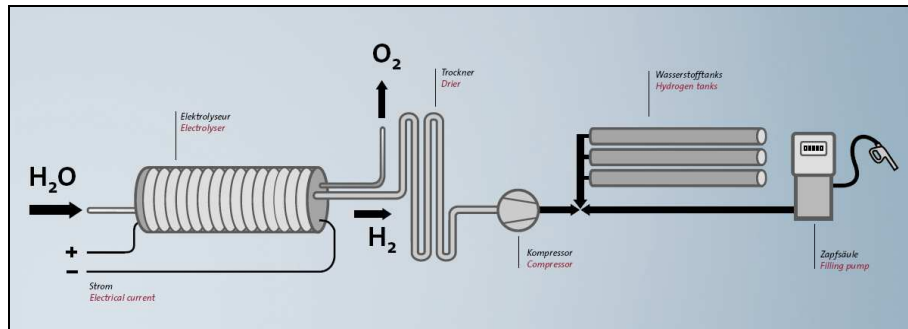
3 BRINTANKSTATIONER

Overordnede spørgsmål, som stilles mht. brinttankstationer, har især at gøre med den mest miljøvenlige mulighed for at producere / levere brint. Mulighederne spreder sig fra leverance af brint fra en ekstern producent, hvor det skal afklares, hvilken energiform der bruges til brintproduktionen, til brintproduktion på stedet ved tankstationen. For at leve op til miljøkravene skal der lægges vægt på, at brinten produceres af vedvarende energikilder.

Med baggrund i den nationale lovgivning omkring sikkerhedskrav er en generel forudsætning for driften af tankstationen stadig, at den ligger på privat grund og dermed ikke giver adgang for tredjepart – f.eks. privat bilkørsel – til at bruge tankstationen.

3.1 Tankstationen i Hamborg

Med baggrund i CUTE-projektet blev den første brinttankstation i Hamborg opført på området ved Hochbahn AGs centrale busparkering i Hamborg Hummelsbüttel. Tankstationen omfatter en elektrolysator, en tørreenhed, en kompressor, brinttanke og en dispenser.



Fra brintproduktion til optankningen.

Kilde: www.hh2wasserstoff.de, 2009

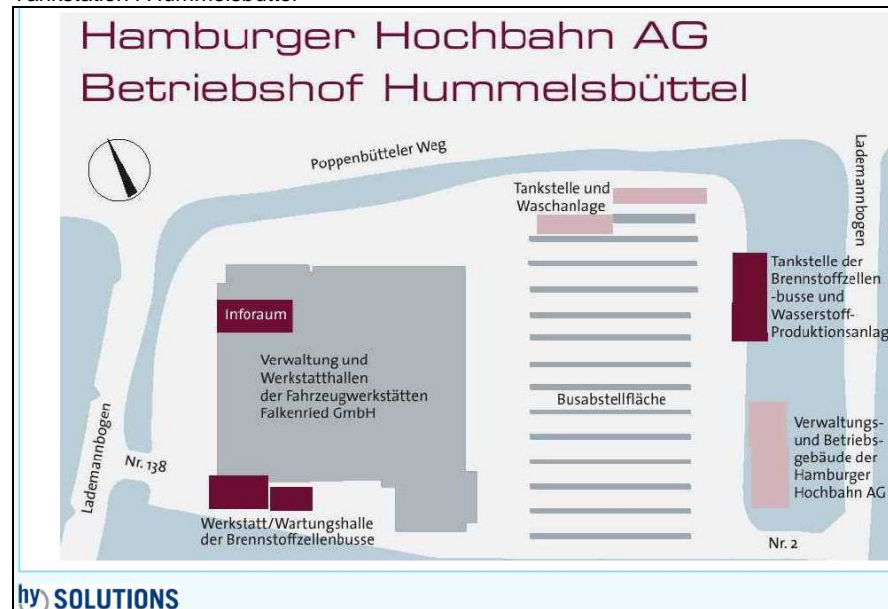
Stationen ligger på privat grund uden adgang for offentligheden. Lovmæssigt var det af betydning, at den lagrede brintmængde ikke var særlig stor. Som teststed behøvedes ikke en operationel tilladelse fra myndighederne til installationen.

Brinten produceres på stedet igennem elektrolyse. Den lagres i tanke ved 450 bar. Ud over brintforsyningen til busser giver tankstationen efterhånden også mulighed for at optanke biler igennem en ny dispenser.

Optankningstiden ligger i dag på ca. 10-15 minutter pr. bus, som optankes med 40 kg brint ved 350 bar. HyFleet CUTE-analyser har tidligere sat 15 minutter for optankning som minimumskrav for at kunne forsyne større busflåder. Det opfyldes dermed.

Brintforsyning via ekstern leverance organiseres kun, når tankstationen i nogle enkelte tilfælde ikke kan producere brint selv. Strømmen, der ellers bliver brugt til brintproduktion på stedet, købes igennem det tyske certificeringsmarked for grøn strøm, som bygger på sol, vand og vindenergi. Projektpartnere anser det som garanti for, at busdriften er CO₂-neutral. Der skal dog gøres opmærksom på kritikken ang. gennemskueligheden af grøn-strøm-certifikater.

Tankstation i Hummelsbüttel



Kilde:

www.hh2wasserstoff.de, 2009

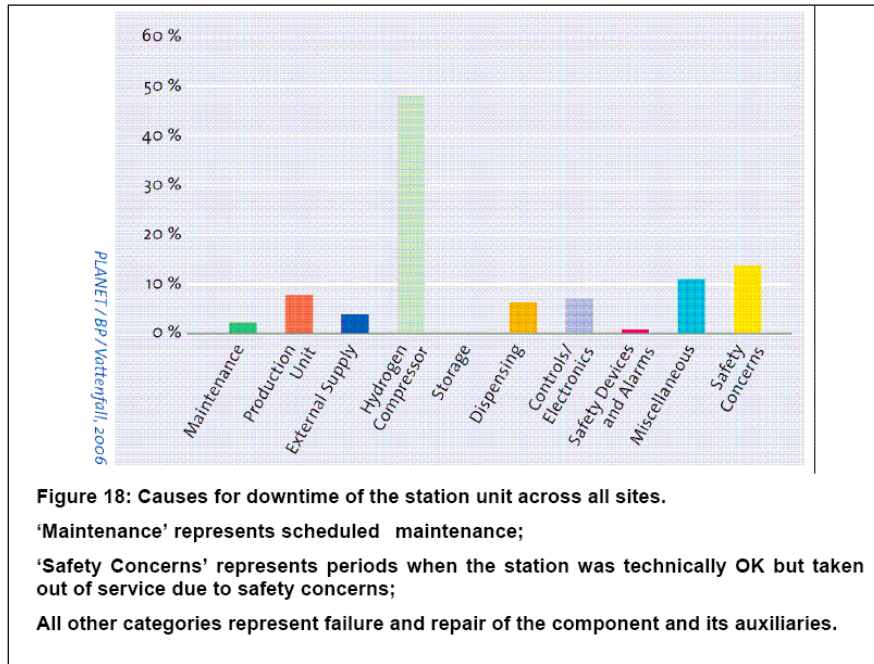
Projektpartnere i Hamborg planlægger for tiden en ny brinttankstation i Hafencity Hamborg, det prestigefyldte nybyggeri tæt ved den indre by. Her skal optankningen være mulig på 350 og 700 bar.

3.2 Tankstationer i andre europæiske projekter

Den nævnte Roads2Hy.com-analyse af brint i transportsektoren har ud over brintbusserne vurderet tankstationerne i CUTE-projektet og komponenternes driftsegenskaber. Nogle punkter fremhæves her:

Opnåelige distancer ift. optankning har givet de største problemer i projekterne. Det kan dog afhjælpes med optankningsteknologien på 700 bar tryk. Dermed lever f.eks. Hamborg-projektet med den planlagte Hafencity-tankstation snart op til denne forbedring.

I løbet af de forskellige demonstrationsprojekter opstod der desuden en del problemer med kompressorteknologien og brintkontaminering som vist i den følgende grafik.



Tabel: Årsager til driftsforstyrrelser på tankstationerne i CUTE-projektet.
 Kilde: EU Roads2Hy.com Projekt, www.roads2hy.com, 2007

Nedenstående tabel viser udformningen af CUTE-tankstationerne mht. f.eks. brintproduktion, teknologiproducenter, kompressorteknologi og optankningstider.

	Hydrogen production path	Technology turn-key supplier	Compressor rated capacity in Nm ³ /h	Compressor type	Compressor manufacturer	Storage size in kg hydrogen	Refuelling type	Dispenser supplier	Max. filling time in min	Interval between 2 buses in min
Amsterdam	electrolysis	Hoek Loos	hydraulic	300	Linde	490	overflow + booster	Linde	15	0
Barcelona	electrolysis	Linde	hydraulic	300	Linde	170	overflow + booster	Linde	20	before 3 rd bus: 60 (or slower refuelling of 3 rd bus)
Hamburg	electrolysis	Norsk Hydro Electrolysers	diaphragm	62	Hofer	400	overflow	Brochier	< 10	0 ²⁾
London	external ¹⁾	BOC	cryogenic pump	900	ACD Cryo	3,200	vapourisation of pressurised LH ₂	Fueling Technologie Inc.	30	0
Luxembourg	external	Air Liquide	diaphragm	60	Burton Corblin	500	overflow	Air Liquide	10	0
Madrid	steam reformer + external	Air Liquide	diaphragm (two)	50 and 2,400	PDC Machines Inc.	360	booster	Air Liquide	10-15	0
Porto	external	Linde	hydraulic	300	Linde	172	overflow + booster	Linde	12-15	before 3 rd bus: 20 (or slower refuelling of 3 rd bus)
Stockholm	electrolysis	Hydrogenics Systems	1 membrane, 1 hydraulic	525	PDC and HydroPac	95	overflow + booster	Fueling Technologie Inc.	20-35	0 ³⁾
Stuttgart	steam reformer	Mahler IGS	hydraulic (two)	100 and 5,380	Idro Meccanica	282	overflow + booster	Brochier	< 15	0

¹⁾ London: details for storage of liquid hydrogen given, as in operation from May 2005 in Hornchurch.
²⁾ Hamburg: up to 120 min when taking in maximum capacity.
³⁾ Stockholm: interval between second and third bus 8 hours due to limited storage size.

Tabel: Udformning af CUTE tankstationer.
 Kilde: EU Roads2Hy.com Projekt, www.roads2hy.com, 2007

I dag har flere komponenter allerede gennemgået en opdateringsproces, som endnu ikke er beskrevet i en samlet analyse.

Samlet set har dog alle projekter vist positive resultater i busdriften, som gik over forventning. Den overbevisende levetid og pålidelighed af brintflåderne har ført til forlængelser af de fleste demonstrationsprojekter.

Projektaktiviteterne anses indtil videre dog stadig som demonstrationsprojekter i en fase inden kommerialisering.

3.3 Infrastruktur og logistik inden anvendelse af brint (tankstationer)

I forhold til infrastrukturen og logistikken på tankstationerne tages Hamborgs brint-tankstation som eksempel:

Værkstedbygningen for 14 busser er adskilt fra optankningsinstallationen. Bygningen måler 110 m² med en lofthøjde af 6 m. Efter tysk lov kræver bygningen ikke nogen særlige tilladelser.

Det anses dog som yderst vigtigt at opnå et basisniveau af standardisering for brint-optankningsfaciliteter. Dette skulle mindske investeringsomkostningerne, øge effektiviteten igennem reducerede operative omkostninger og fremme den overordnede præstation.

Området i Hummelsbüttel er dermed et test-sted for fremtidige sikkerhedsstandarder for brintdistribution i det offentlige rum. Hamborgs brinttankstation råder over følgende tekniske sikkerhedsinstallationer:

- Brintdetektorer (0,8 Vol.% H₂).
- Optisk og akustisk advarselssystem.
- I nødstilfælde central systemslukning af alle elektriske installationer.
- Ventilationssystem.
- Udsugningsrør (tilsluttet til bussen i mindre end 4 minutter).
- Eksplosionssikker belysning.

3.4 Økonomi

3.4.1 Investeringsomkostninger

I Hamborg vurderer man, at omkostningerne ifm. en ny brinttankstation ligger på ca. 1,6 mio. Euro. Denne anlægsstørrelse forsynede i 2001 tre brændselscellebusser.

3.4.2 Driftsomkostninger

I Hamborg ligger driftsomkostningerne samlet set for bus- og tankstationsdriften på ca. 120.000 Euro om året.

4 FREMTIDIG TEKNISK UDVIKLING OG ANBEFALINGER

4.1 Teknisk udvikling

Brint- og brændselscelleteknologien i transportsammenhæng er stadig i udviklingsfasen. Det fremtidige udviklingsbehov ligger i følgende komponenter:

- Forbedring af frafaldsprocenten af brintbusserne
- Forbedret optankningsteknologi, endnu større opfyldningshastighed
- Videreudvikling af brændselscelleteknologien – mindre forbrug, større distancer
- Forbedring af kompressor-teknologien
- Undgåelse af brintkontaminering
- Formindskelse af CO₂-emissioner under brintproduktion
- Videreudvikling af teknologien omkring hybridbusser
- Forbedring af innovative drift management systemer til bussens energistyring
- Standardiseringer frem til ny lovgivning omkring brint- og brændselscelleteknologien hen mod højere driftssikkerhed, bedre adgang til reservedele, lavere anskaffelsesomkostninger
- Videreudvikling af uddannelsesmoduler for chauffører og teknikere

4.2 Anbefalinger

- ▶ Offentlig projektf finansiering.

Finansiering og partnerskab: Mulighed for at bruge demonstrationsmidler fra det nyligt åbnede *EU Fuel Cell and Hydrogen Joint Technology Initiative (JTI)*.

- ▶ Integration i eksisterende europæiske projektsammenhænge.

Internationale partnerskaber som HyFleet CUTE-projektet bliver vurderet meget positivt af projektpartnerne. Samarbejdet tilbyder gode rammer for datatilgang og afstemning med eksisterende teknologier. Hamborg nævner især det at få gavn af det faglige udbytte under projektmøderne i partnerbyerne to gange om året.

Internationalt samarbejde – især med de erfarne byer – anses som et vigtigt grundlag for succes af en ny brintinstallation for køretøjer.

Fælles offentligt indkøb af busser og dermed reduktion af anskaffelsesomkostninger anses desuden som økonomisk incitament for internationalt samarbejde.

- ▶ Indfase brændselscelleteknologien i de kommende år.

Ligesom f.eks. Daimler viser med den nye hybridbustype, ville det være en mulighed at afvente brintteknologiens større teknologiske modenhed igennem bustyper, der indfaser brændselscelleteknologien på et senere tidspunkt. Det kan igen betyde billigere anskaffelses- og driftsomkostninger.