

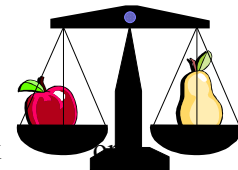
OV bussen op alternatieve brandstof Een stand van zaken door Henk Verbeek 5/1/2007

Diesel is al jarenlang het bloed in de vaten van het O.V. De noodzaak tot O.V.-gebruik neemt aldoor toe en daarmee tevens de olieafhankelijkheid. Gezien de wending in onze EU politiek naar de toepassing van meer olieonafhankelijke transportbrandstoffen, gepaard aan verbetering luchtkwaliteit verdient een beschouwing van de mogelijkheden van *alternatieve brandstoffen* serieuze aandacht.

- *Waterstof*: veelbelovende ontwikkelingen, emissieneutraal mits duurzaam geproduceerd, uitdagingen liggen er op technisch gebied, zoals actieradius, de economie en infrastructuur. Markt introductie verwacht over één of twee decaden.
- *Biobrandstoffen*: Eenvoudig bij te mengen, vereist infrastructuur, legt accent op CO2 recycling. Verhoogt brandstofkosten. NOx neemt toe. Nabehandelingstechnieken zijn vereist voor significante verbetering. Biodiesel wordt als regel als B20 gebruikt; 80% is gewone dieselolie.
- *LPG*: Is minder CO2 vriendelijk dan diesel, heeft uitgebreide infrastructuur, minder geschikt voor zwaar verkeer vanwege mengverhouding propaan/butaan. Goede milieuvriendelijke brandstof. Wordt aangemaakt in het olieraffinageproces.
- *Flexfuel*: Mengsel van ethanol en benzine. Bv. E85 bestaat nog voor 15% uit fossiele brandstof. Vereist infrastructuur.
- *Hybride*: Combinatie Electra met 2^{de} brandstof; kan diesel, benzine, LPG of aardgas zijn. Elektromotoren kennen hoge rendementen; dus heel doeltreffend in gebieden waarin lage versnellingen wordt gereden. Ter plaatse van E-aandrijving geldt zero-emission. Hybride diesel bespaart vanwege het betere rendement 20% t.o.v. B20 biodiesel.
- *Aardgas*: wordt zowel in gasvorm CNG als vloeistofvorm LNG toegepast, maakt leeuwendeel uit van de alternatieven. Is economisch rendabel. Voorraden dubbel zo groot als aardolie en komt uit andere landen als de olie. Vereist meer infrastructuur en kan gezien worden als voorbereiding op waterstof.
- *Biogas*: In gezuiverde vorm de schoonste brandstof vanwege de zeer lage emissies zoals van aardgas, met het voordeel van CO2 neutraliteit. Ook economisch rendabel in vergelijking met dieseltechnologie. Dit vereist landbouwareaal, maar 3 x minder dan nodig voor biodiesel voor dezelfde energieproductie.

Status Quo Aardgasbussen

Vanwege het feit dat aardgas als alternatieve brandstof voor de korte en midden termijn het meest opportuun is (88% in VS) zullen we hierbij uitvoeriger stilstaan. Praktijkervaringen zijn wereldwijd verzameld, zodat trends m.b.t. economie en technologie kunnen worden aangegeven en zonodig worden meegenomen in afwegingen m.b.t. aanschaf en gebruik van bussen op alternatieve brandstof. Het is bij een vergelijking van belang om appels met appels te blijven vergelijken, dat betekent een dieselbus met dezelfde *capaciteit, motorvermogen, belading, traject, chauffeur en (milieu)prestatie* afzetten tegen zijn aardgasconfrère. Doorgaans wordt de EEV aardgasbus qua economie afgezet tegen het bestaande diesel park op EURO III.



- *Economie*: Er zijn drie trends zichtbaar:
 1. Dieselolie wordt steeds duurder en investeringen en onderhoud aan nabehandelingstechnieken; filters katalysatoren, ad blue etc., worden steeds hoger, in Duitsland spreekt men van dezelfde orde van grootte als de extrakosten voor de aardgasinstallatie. US rapporteert de verwachting dat de lifecyclekosten van aardgasbussen lager zullen gaan uitvallen als van de

moderne dieselbussen. Moderne dieselbussen zijn uitgerust met oxydatiecats die NO omzetten in NO₂ en CO en HC's verder oxideren, DPF's diesel particulate filters met regenererende werking waarbij duurere zwavelvrije diesel vereist wordt, EGR exhaust gas regeneration verlaagt de temperatuur en vermindert NO_x waarbij de DPF een eventuele roettoename afvangt en SCR selective catalytic reduction waarmee N₂ en O₂ wordt gemaakt door toevoeging van afgestane doses ureum.

2. Het schaafeffect bij aardgasbussen veroorzaakt juist prijsdalingen en de prijs van aardgas is doorgaans (veel) lager dan de dieselolie prijs. Hier is duidelijk sprake van een terugverdiensituatie wat ook meestal als voorwaarde blijkt te worden gesteld in tegenstelling tot andere alternatieven waar een kostenverhoging niet als beperkende voorwaarde wordt gezien. Malmö, Lille, Frankfurt zijn enkele voorbeelden waar de km kosten lager zijn geworden. Uit Amerikaanse rapportering blijkt een 12 meter CNG bus \$ 23.000 meer te kosten dan een diesel bus en \$ 90.000 minder dan een hybride bus. Verwachting is dat de verschillen met diesel kleiner zullen worden of zelfs geheel verdwijnen.

Opm. In deze landen is de aardgasprijs t.o.v. de diesel zelfs ongunstiger als in Nederland.

3. Aardgas wordt erkend als de brandstof die qua transitie de weg naar waterstof effent, terwijl toegepast in hybride combinatie de weg naar volledige elektronische besturing wordt geopend. Hier lijkt de hybride aardgas aandrijving het meest opportuun in het opzicht van duurzaam, security of supply en als opmaat voor de brandstofcelbus. Economisch heeft de aardgasbus een voorsprong op de hybride uitvoering vanwege de lagere investeringen.

- *Technologie:* Aardgas is vandaag de dag leverbaar als EEV wat verder gaat dan de EURO V norm die in 2008 van kracht gaat worden. Sommige dieselbussen kunnen met bijzondere voorzieningen ook als EEV worden geleverd. Het verschil is o.m. dat bv. de EEV uitvoering van MAN in CNG een 17x lagere uitstoot in NO_x, heeft dan de diesel equivalent.

Doorgaans wordt aangenomen dat alleen $\lambda = 1$ verbrandingsmotoren op aardgas EEV kunnen bereiken, Mercedes bereikt EEV met een lean burn motor in de Eonic met $\lambda = 1,3!$

1. *Actieradius* Aardgasbussen rijden 300 mijl (470 km) tussen twee tankbeurten wat als regel ruim voldoende is voor de dagelijkse route van stadsbussen. Regiobussen rijden 20% zuiniger en navenant verder. In het algemeen geldt dat grotere actieradius altijd verkregen kan worden met een groter opslagvolume aan te brengen, maar goed moet worden afgewogen of een bereik wat niet of zelden voorkomt standaard uitgelegd moet worden in opslagvolume. Het is verstandig voor evt. piekroutes een beperkt aantal bussen met extra tanks uit te rusten. Het dode gewicht kost extra brandstof in de orde van 4% per ton. Dat wil ook zeggen dat een 70% gewichtsbesparing door koolstofvezel tanks toe te passen zeker tot 3% - 6% besparing in brandstof kan worden bereikt. De tankplaatsing op het dak leidt niet tot overmatige hoogte of instabiliteit omdat de airco de max. hoogte bepaalt en het zwaartepunt van low floor bussen voldoende laag blijft. Vergelijk dit ook met dubbeldekkers.
2. *Betrouwbaarheid* Amerikaans onderzoek wijst uit dat de uitval tijdens het werk is 2,14 per 100.000 mijl voor diesel en 2,15 voor de CNG bussen. De motor "overhaul" frequentie doet niet onder voor diesel en ligt op 300.000 mijlen.
3. *Onderhoud en Werkplaats* Uit de literatuur blijkt een grote variatie in onderhoudskosten zowel duurder als goedkoper dan voor dieselbussen. Van

belang is het onderhoud te laten verrichten door deskundig (extern) personeel. Te besparen valt op olieverversing. Bougies hoeven nauwelijks een kostenpost te zijn (ReinUnie). Het aanpassen van een garage of werkplaats aan de PGS 26 (CPR17-2) hangt samen met de omvang en soort lokatie. Het aanpassen van de werkplaats van de gemeentereiniging van Haarlem kostte in 1999 HfL 2966. Natuurlijke ventilatie en het plaatsen van methaandetectors kan vaak al voldoende zijn.

4. *Tankfaciliteit* Investerings voor tankstations variëren van € 2.000 tot € 1,5 miljoen. Variërend in capaciteit van 2,7 tot 2000 m³/hr. Stations worden goedkoper per m³ naarmate ze groter worden. Vuistregel is dat een station van 2000 m³/hr een investering van 500 Euro/m³ vraagt en één van 1000 m³/hr 550 Euro/m³. Er zijn echter vele variabelen zoals de terreinkosten, kosten van aansluiting ed. Wat echter buitengewoon belangrijk is dat het station goed wordt afgestemd op de behoefte. Een onderbezet station maakt dit nodeloos veel duurder. Belangrijk is verder de keuze slow-, quickfill of een combinatie en het gebruik van nachtstroom. Een vloot van 50 bussen overnacht vullen vraagt om een compressor capaciteit van 2500 m³/hr zonder buffer dan wel quickfill van 1000 m³/hr met een buffer van 20m³ onder 300 bar. De laatste optie is weliswaar goedkoper maar gebruikt veel dagstroom. In beide gevallen kan tussendoor worden getankt (derden?). Tanktijden van 3 tot 5 minuten of binnen de cleaningtijd zijn goed realiseerbaar en kunnen naar wens worden geïmplementeerd. Nagedacht moet worden over de hoge kosten van bemetering wanneer aan derden wordt geleverd. (IGU studie 2000). Een andere vraag is of de buseigenaar verstandig is zelf te investeren in het station. Een private onderneming met een meerjaren afname garantie en deskundig onderhoudspersoneel verlost de busondernemer van deze activiteit die niet tot zijn kerntaken behoort. Voor hem is dan slechts de CNG prijs van belang. De kosten en de exploitatie van het station vallen binnen het bestek van de private ondernemer die vanuit z'n eigen ketengedachte andere (inkoop)voordelen en afschrijvingstermijnen kan realiseren.
5. *Locatiekeuze* voor aardgas kent de minste beperkingen en LPG de meeste i.v.m. de externe veiligheidsafstanden; aardgas kan binnen de bebouwde kom en zelfs inpandig worden toegepast!

Emissies

Hoewel bussen maar een beperkt deel van het dieselverkeer vormen, ligt het zwaartepunt van de uitstoot in de bevolkingscentra waar de impact op de gezondheid het grootst is. Vandaag de dag wordt vaak alleen het accent gelegd op overlast van uitstoot van de z.g. geregelde emissies en dat zijn er voor *dieselvoertuigen* slechts 4:

1. **NO_x** stikstofoxiden komen voor 2/3 uit het verkeer en worden het meest uitgestoten door dieselvoertuigen. Vanwege de omzetting in de moderne katalysator wordt het meeste NO₂/km zelfs op de autowegen gemaakt vanwege de bedrijfswarme motor. NO₂ is zowel schadelijk voor het milieu (verzuring) als voor de gezondheid.
2. **CO** is een gevaarlijk giftig gas maar de geringe relevantie vanuit het verkeer maakt verdere beschouwing overbodig.
3. **Roet** wordt ook het meest door dieselvoertuigen uitgestoten, het schaadt de gezondheid en is aanleiding voor smogvorming. Roetfilters kunnen onder voorwaarden enige verbetering opleveren. Deeltjes onder 2,5µm zijn het meest schadelijk voor de gezondheid (carcinogeen, hart- en longproblemen)
4. **HC** koolwaterstoffen zijn doorgaans schadelijk voor gezondheid met uitzondering van methaan, wat een broeikasgas is.

Andere schadelijke stoffen verbonden aan diesel uitstoot vallen in Europa niet onder een reglement en kunnen nog onbeperkt worden uitgestoten, hoewel er over CO2 al jaren discussie loopt. Dat wil niet zeggen dat deze stoffen allemaal irrelevant zijn:

5. **Zwavel dioxide**, zure regen en schaadt longfunctie
6. **PAH's** vaak carcinogeen en/of mutageen voor alle levende organismen
7. **Lichte aldehyde's** zeer kankerverwekkend, Formaldehyde is een smogvormer in samenhang met NOx. Smog is o.m. schadelijk voor de luchtwegen en tast immuniteitssysteem aan van kinderen.
8. **N2O** lachgas is 300x sterker broeikasgas dan CO2. Diesel stoot weliswaar 15% minder CO2 uit dan benzine en 10% minder dan LPG, maar nog altijd 10% meer dan aardgas ondanks het lagere rendement van Ottomotoren vs. Diesel. Het aandeel N2O is hierbij van dezelfde grootte orde als de methaan uitstoot bij aardgas en afgewogen tegenover de CO2 verwaarloosbaar.
9. **CO2** is het belangrijkste broeikasgas. West Europa komt na de USA op de tweede plaats met 16%. Direct gevolgd door China 15% en Oost Europa 13%. De emissies uit het verkeer vertonen de grootste stijging. Verbeteren van het brandstofrendement en brandstofkeuze zijn de aangewezen middelen voor verbetering die, gezien de erkende menselijke invloed op het klimaat, geen uitstel verdienen. Hoewel de federale regering in de VS zich niet heeft aangesloten bij het Kyotoverdrag worden er reeds door afzonderlijke staten en gemeenten in de VS beperkende maatregelen genomen.
10. **Verkeersgeluid**: wordt in de staat New York ervaren als top 3 zorg voor gezondheid en leefcomfort. Dieselbussen maken lawaai bij stationair draaien, optrekken, afremmen en rijden. Alternatieve brandstoffen zoals aardgas en hybride produceren minder dan de helft.

Conclusies

- **Aardgas is in vele opzichten een brandstof voor de korte –en middenlange termijn voor het wegverkeer en bussen omdat:**
 1. Motoren enkele klassen schoner zijn dan dieselmotoren en dit in de toekomst zullen blijven
 2. Er voldaan wordt aan de gewenste security of supply
 3. Er minder geluid wordt geproduceerd
 4. Er een opstap ontstaat naar waterstof die als brandstof van de toekomst wordt gezien en waarvoor t.z.t. geringe infrastructurele veranderingen nodig zijn.
 5. Er ook voor ongeregelde emissies voordelen zijn al dan niet gecombineerd met oxycats.
 6. Het nu reeds economisch voordeliger is en dit in toenemende mate het geval zal worden.
 7. De betrouwbaarheid niet (meer) onder doet voor diesel voertuigen
 8. Het tanken meer opties biedt als met diesel: zonder tijdverlies overnacht binnen of buiten, dan wel snel in enkele minuten.
 9. De actieradius naar wens kan worden ingevuld met CNG opslag dan wel met LNG wat 3,5 x meer brengt.
- **Brede toetsing van ervaringen voor het trekken van conclusies kan uitmonden in een gezondere samenleving.**

Bronnen:

Erdgas als alternativer kraftstoff für den ÖPNV
Bus emission evaluation 2002 2004
Maintenance costs for NGV's in comparison w. convent.
Bus Futures 2005

Roland Bartosch
Nills Olof Nylund VTT
ENGVA
John Atkinson and David Port