

## **Schone en duurzame bussen in het openbaar vervoer: wat is de route?**

Ruud Verbeek, Richard Smokers, Gerrit Kadijk, Mark Bolech, Hans Driever  
Research Group Sustainable Transport and Logistics

**Datum**  
22 maart 2012

**Onze referentie**  
zonder nummer

**Blad**  
1/11

### **Inleiding**

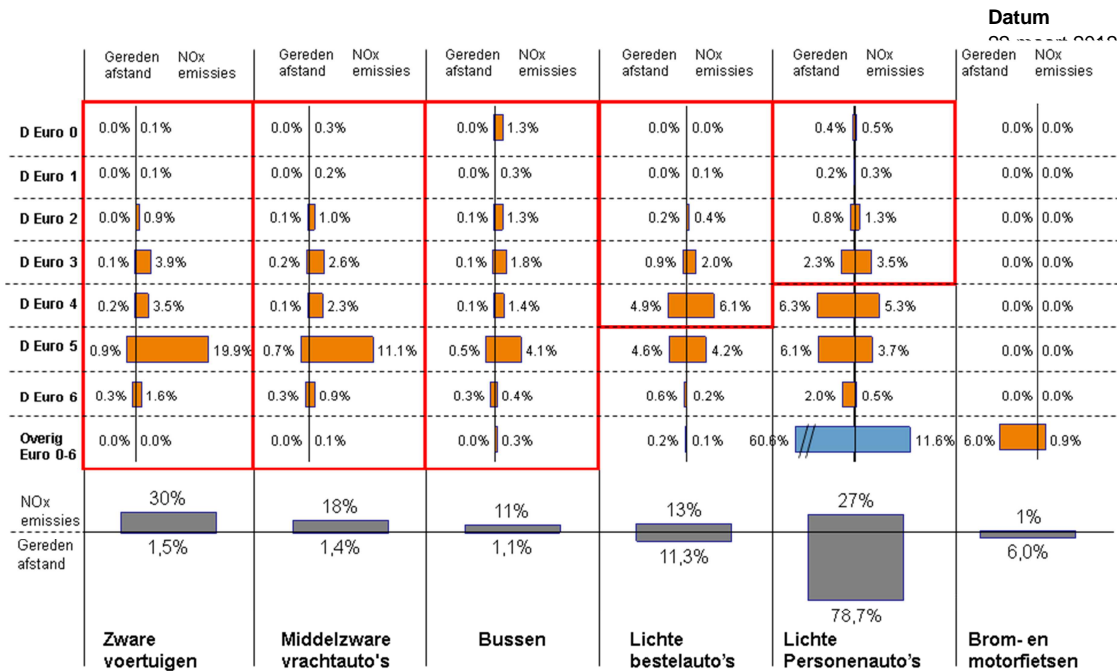
Bij het 'vergroenen' van ons mobiliteitssysteem is de OV-markt een voor de hand liggende doelgroep, al is het maar vanwege de mogelijkheid die overheden hebben om te sturen op de samenstelling van de voertuigvloot. Met treinen, metro's en trams is een groot deel van de OV-vloot geëlektrificeerd. Elektriciteit als energiedrager heeft aanzienlijke (potentiële) voordelen ten aanzien van energie efficiency, duurzaamheid en energiezekerheid in de toekomst. Bovendien is deze vorm van mobiliteit op lokaal niveau vrijwel vrij van vervuilende emissies. Omdat bussen van oudsher worden aangedreven door dieselmotoren, is er bij deze categorie wel sprake van vervuilende emissies, zoals fijn stof (PM<sub>10</sub>) en stikstofoxides (NO<sub>x</sub>). Er zijn gelukkig veel mogelijkheden om deze emissies verder terug te dringen en daarnaast de CO<sub>2</sub>-uitstoot aanzienlijk te reduceren.

De overheid, zowel op nationaal als op regionaal/stedelijk niveau, zoekt naar mogelijkheden om bussen schoner en zuiniger te maken, zoals onder meer blijkt uit diverse experimenten met alternatief aangedreven stads- en streekbussen. Het is van belang dat betrokken partijen over goede, objectieve en volledige informatie beschikken ten aanzien van de verschillende aandrijftechnologieën en hun voordelen en beperkingen. Deze informatie is nodig voor verantwoorde investeringsbeslissingen. Gezien de druk om kosten te besparen in het OV zullen de kosten van alternatieve technologieën (aanschaf en onderhoud), alsmede de mogelijke besparingen in brandstofkosten daarbij zwaar meewegen.

### **Luchtkwaliteit en klimaat: verschuiving van doelen**

Bussen in het OV hebben met in totaal 470 miljoen voertuigkilometers per jaar een beperkte bijdrage (0,4%) aan het totaal van in Nederland afgelegde voertuigkilometers in het wegverkeer (124 miljard kilometers). Qua vervuilende emissies kan de bijdrage op kritische stedelijke locaties echter groot zijn. Berekeningen van TNO laten zien dat in 2015 74% van in Nederlandse steden uitgestoten NO<sub>x</sub> zal worden veroorzaakt door 14% van de gereden kilometers. Het merendeel daarvan is afkomstig van goederenvervoer en bussen (zie figuur 1).

Op zogenaamde 'hot spots' waar veel verkeer rijdt, wordt ruim 30% van de lokale NO<sub>2</sub>-concentratie veroorzaakt door lokaal verkeer. Op plaatsen waar veel bussen rijden leveren zij een aanzienlijke bijdrage aan de lokaal vervuilende emissies. Denk daarbij bijvoorbeeld aan de Prins Hendrikkade in Amsterdam, waar dagelijks meer dan 3000 bussen passeren, of de Nobelstraat in Utrecht, met ongeveer 1500 bussen per dag. Inzet van elektrische bussen op deze locaties kan de NO<sub>2</sub>-concentratie met enkele µg/m<sup>3</sup> verlagen. Voor de Prins Hendrikkade is berekend dat vervanging van 40% van de (merendeels EEV) bussen die daar passeren, door elektrische bussen in 2015 een NO<sub>2</sub>-reductie van 3 µg/m<sup>3</sup> zou opleveren.



Figuur 1. In 2015 wordt 74% van in Nederlandse steden uitgestoten NO<sub>x</sub> veroorzaakt door 14% van de gereden kilometers. Het merendeel daarvan is afkomstig van goederenvervoer en bussen.

Door bronbeleid (Europese emissiewetgeving) nemen de vervuilende emissies van voertuigen in het algemeen af. Tevens worden andere maatregelen (denk bijvoorbeeld aan milieuzones) genomen die de lokale emissies verder terugdringen. Naar verwachting zullen de vervuilende emissies van wegverkeer op termijn van 5 á 10 jaar door het bronbeleid zodanig zijn afgenomen dat de nu geldende Europese luchtkwaliteitsnormen vrijwel overal in Nederland gehaald zullen worden.

Daarbij moet wel worden opgemerkt dat zeker voor PM<sub>10</sub> de normen zijn gebaseerd op wat haalbaar wordt geacht en geen grens zijn waaronder er geen schadelijke effecten meer optreden. Verdere reductie van de concentratie PM<sub>10</sub>, en met name de component verbrandingsemissies daarin, zal leiden tot verdere vermindering van de negatieve effecten op gezondheid en levensverwachting. Ook moet er rekening mee gehouden worden dat in de toekomst een groot deel van de PM<sub>10</sub> emissies van voertuigen, slijtage-emissies zijn van banden en remmen. Hiervoor wordt nog geen Europees bronbeleid ontwikkeld. Naar de schadelijkheid van slijtage-emissies is nog heel weinig onderzoek gedaan.

Op de langere termijn zal de reductie van de CO<sub>2</sub>-uitstoot om de klimaatverandering te beperken als dominante milieudoelstelling overblijven. Daarnaast blijft geluidsbeheersing een belangrijk aandachtspunt.

De CO<sub>2</sub>-uitstoot van OV bussen maakt met ruim 500.000 ton per jaar een kleine 2% uit van de totale CO<sub>2</sub>-uitstoot van het wegverkeer in Nederland. Hoewel dit slechts een klein percentage is, wordt ook hier nadrukkelijk gekeken naar reductiemogelijkheden, bijvoorbeeld als onderdeel van duurzaamheidsambities op lokaal niveau. Nieuwe technologieën bieden mogelijkheden om deze uitstoot drastisch te reduceren. Daarnaast is het van belang dat toepassing van duurzame

alternatieven in openbaar vervoer kan bijdragen aan versnelling van de transitie naar duurzame mobiliteit in bredere zin.

Overigens moet worden opgemerkt dat de CO<sub>2</sub> emissie per passagierkilometer van bussen in stadsgebruik al gauw fors lager is dan die van personenauto's [UITP 2011], hetgeen pleit voor een modal-shift tussen deze vervoerwijzen.

**Datum**

22 maart 2012

**Onze referentie**

zonder nummer

**Blad**

3/11

### ***Diesel: steeds schoner***

Van oudsher worden bussen aangedreven door dieselmotoren, een betrouwbare en relatief goedkope aandrijftechnologie. Onder druk van Europese wetgeving zijn dieselmotoren voor zware wegvoertuigen in de loop der jaren steeds schoner geworden en die ontwikkeling zet zich de komende jaren door. Maar ook van Euro V bussen zijn de emissies niet automatisch goed. Onderzoek van TNO naar de NO<sub>x</sub>-emissies in de praktijk van Euro V vrachtwagens en bussen liet zien dat de emissie van NO<sub>x</sub> in de stad sterk kan variëren, van heel goed tot nauwelijks beter dan van een Euro III voertuig. Het onderzoek liet in ieder geval zien dat een lage NO<sub>x</sub> uitstoot in de stad zeker goed mogelijk is. Voor de resterende periode van Euro V (tot 2013-2014) zou overwogen kunnen worden een soort praktijk-prestatiekeurmerk in te voeren. De testprocedure hiervoor zou een meting met een mobiel emissiemeetsysteem kunnen zijn dat gemonteerd wordt op de bus. Deze meetsystemen worden reeds in een aantal landen in Europa gebruikt en zijn gestandaardiseerd voor toepassing in aanvullende metingen ten behoeve van de typegoedkeuring. Ook vanuit grote steden uit andere landen (bijvoorbeeld Duitsland) wordt soms geëist dit type metingen uit te voeren.

Vanaf 2013, of mogelijk eerder onder invloed van stimuleringsprogramma's, kunnen we Euro VI bussen verwachten. Voor Euro VI zijn de emissie-eisen weer een stuk strenger geworden (factor 5 en 2 voor respectievelijk NO<sub>x</sub> en fijnstof) en is tevens de typekeuring testprocedure sterk verbeterd. Daardoor wordt verwacht dat de emissies niet alleen lager zijn, maar dat ook de spreiding tussen de voertuigen onderling kleiner wordt alsmede het verschil tussen emissies op de typekeuringstest en in de praktijk. Het blijft niettemin raadzaam dit te zijner tijd wel te controleren.

De uitstoot van fijnstof vanuit de motor is al een aantal jaren redelijk goed onder controle doordat een steeds groter aandeel van de bussen voorzien wordt van een gesloten roetfilter. Bij toepassing van zo'n filter zijn de fijnstofemissies vergelijkbaar met of beter dan die van een motor op aardgas. Bij deze voertuigen is zelfs de hoeveelheid fijnstof die vrijkomt door slijtage van banden en remmen een factor 4 tot 5 groter (in massa) dan de hoeveelheid fijnstof die uit de uitlaat komt. Waarschijnlijk is de schadelijkheid voor de gezondheid van het slijtage-fijnstof wat minder groot dan dat van de motor, maar eigenlijk is dat niet goed bekend en zou er meer onderzoek naar verricht moeten worden.

Verdere optimalisaties van de motor en de aandrijflijn van de dieselbus zijn mogelijk, waarmee de efficiency vergroot en het brandstofverbruik verlaagd worden. Hierbij moet gedacht worden aan verbetering van het motorrendement (onder meer door down-sizing), uitlaatgas-energieterugwinning, verbetering van de transmissie, e.d.

**Datum**

22 maart 2012

**Onze referentie**

zonder nummer

**Blad**

4/11

***Alternatieve brandstoffen: sommige nu implementeerbaar***

Alternatieve brandstoffen (ten opzichte van diesel) komen steeds meer in de belangstelling te staan. Met name aardgas (Compressed Natural Gas - CNG) of groen gas (bio-CNG) zijn populair bij bussen. Vooral op NO<sub>x</sub>-uitstoot scoort de aardgasbus vaak beter dan de dieselbus, alhoewel dit geen automatisme is. Aardgas motoren hebben een lager rendement dan dieselmotoren en daarmee een 15 tot 20% hoger energieverbruik. Bij aardgas is er geen netto CO<sub>2</sub>-voordeel. Het lagere rendement wordt gecompenseerd door een lagere C/H verhouding (koolstof/waterstof) van de brandstof zodat er per eenheid energie minder CO<sub>2</sub> en meer H<sub>2</sub>O vrijkomt dan bij verbranding van diesel. Door groen gas te gebruiken kan wel forse CO<sub>2</sub>-reductie worden geboekt (tot maximaal 80%).

Voor toepassing in dieselmotoren zijn er ook alternatieve vloeibare brandstoffen. Gas-To-Liquid diesel (GTL) is een fossiele brandstof die in opkomst is. Daarnaast zijn er de hernieuwbare vloeibare brandstoffen ('renewables'). Hydrotreated Vegetable Oil (HVO) en Biomass to Liquid (BTL) kunnen in hogere percentages bijgemengd worden dan de conventionele, door verestering uit plantenolie geproduceerde biodiesel (FAME). Met deze brandstoffen zullen de NO<sub>x</sub> en fijnstof emissies wat verminderden. Met HVO en BTL kan daarnaast een behoorlijke CO<sub>2</sub>-reductie gerealiseerd worden, echter sterk afhankelijk van de wijze van produceren en het gebruikte type biomassa. De beschikbaarheid van deze brandstoffen op grote schaal is echter onzeker, in combinatie met de vraag of deze brandstoffen niet beter elders ingezet kunnen worden (bijvoorbeeld in de lucht- en scheepvaart).

Uitgebreidere informatie over de diverse brandstoffen en hun toepasbaarheid is te vinden in de Factsheets Brandstoffen voor het wegverkeer [TNO/CE 2011, herziening 2012 in voorbereiding]

Het is nog niet goed bekend hoe straks met Euro VI de vergelijking tussen dieselbussen en bussen op andere brandstoffen zal uitvallen. Waarschijnlijk worden de verschillen in luchtverontreinigende emissies kleiner, omdat de absolute niveaus dalen en omdat de testprocedure minder ruimte laat voor verschillen in de praktijk. De well-to-wheel broeikasgasemissie van de brandstof, in combinatie met de prijs en onderhoudskosten van de motor, worden dan bepalend voor het al dan niet toepassen van een bepaalde brandstof.

***Hybride aandrijvingen: op korte termijn implementeerbaar***

Bij hybride aandrijvingen van bussen wordt de dieselmotor (of een ander type motor) gebruikt in combinatie met elektrische aandrijving. Juist op binnenstad trajecten, waar veel wordt gestopt, kan hybride techniek grote voordelen bieden: energetisch, qua vervuilende uitstoot en ook qua geluid. In het algemeen kan een fors lager energieverbruik – en navenante CO<sub>2</sub> emissiereductie - worden gerealiseerd (10 tot mogelijk 25%), met behoud van degelijkheid, lage onderhoudskosten en een goede inzetbaarheid.

Met name serie-hybride toepassingen, met batterijen en/of supercondensatoren ('supercaps') voor energie opslag, lenen zich voor deze toepassing. De aandrijving kan uitgevoerd worden met één of meerdere elektromotoren op het differentieel of met naafmotoren aan de wielen. Prototypes rijden nu in een aantal Nederlandse steden, doortontwikkeling is echter nodig voor een daadwerkelijk realisatie van genoemde besparing. Hierbij is een goede regelstrategie van de voertuigaandrijving en het energiemangement een belangrijke voorwaarde voor de prestaties.

**Datum**  
22 maart 2012

**Onze referentie**  
zonder nummer

**Blad**  
5/11

De kosten van hybride aandrijvingen zijn momenteel nog hoog door de relatief kleine markt. Er is al snel sprake van € 100.000 meerkosten ten opzichte van een overeenkomstige 'gewone' Euro V dieselbus, voor verlengde exemplaren nog meer. Mede hierom is het belangrijk dat hybride bussen worden ingezet op trajecten waar deze technologie ook echt voordelen biedt in termen van verbruiksreductie en dus besparing van brandstofkosten. Een 'technology assessment' per concessie kan hieraan bijdragen.

***Nieuwe, duurzamere aandrijvingsvormen: over 5-10 jaar implementeerbaar?***

Met nieuwe, duurzame aandrijvingsvormen komt een significante verlaging (tot 50%?) van het primaire energieverbruik ten opzichte van de huidige bus in beeld en wordt het mogelijk om een groter aandeel energie uit duurzame bronnen in te zetten. Afhankelijk van de wijze waarop de energie wordt opgewekt kan de bijbehorende CO<sub>2</sub>-uitstoot over de hele keten afnemen tot zeer lage waarden, in theorie tot 0 bij gebruik van volledig duurzaam geproduceerde elektriciteit (of waterstof). Kern hierbij is verdere elektrificatie van de voertuigaandrijving. Elektrische energie wordt geleverd vanuit het net of in het voertuig uit waterstof geproduceerd met behulp van brandstofcellen. Deze voertuigen hebben bovendien lokaal geen vervuilende motoremissies en ook de remstofemissies zijn mogelijk lager vanwege regeneratief remmen.

Een belangrijk voordeel van deze aandrijvingsvormen is dat zij in principe onafhankelijk (kunnen) zijn van fossiele brandstoffen. Dit is belangrijk voor de energiezekerheid van het vervoer in de toekomst. Tenslotte kunnen door het ontbreken van de dieselmotor de geluidsemissies omlaag gebracht worden, hetgeen bijdraagt aan de leefbaarheid in de steden.

Een al lang bestaande uitvoering is natuurlijk de trolleybus (Arnhem), een schone en stille oplossing met als belangrijk voordeel ten opzichte van hybride bussen het lage gewicht (door het ontbreken van accu's en dieselmotor). Bovendien blijkt deze technologie in de praktijk zeer degelijk, gezien de lange levensduur van de bussen. Nadeel vormen echter de afhankelijkheid van de dure infrastructuur (bovenleiding) en daarmee ook de beperking van de flexibiliteit.

Vrij rijdende elektrische bussen hebben het nadeel dat zware en dure batterijpakketten nodig zijn vanwege de grote voertuigmassa. Dit betekent dat deze technologie in de praktijk tot nu toe - op beperkte schaal - alleen bij kleine typen wordt toegepast. Als een van de eerste brengt het Chinese bedrijf BYD een grotere volledig elektrische bus op de markt, de eBUS-12. Deze 12 meter lange bus heeft volgens fabriekspgave een bereik van 250 km bij een volle batterij. De bus kan in 3,5 uur opgeladen worden met een 100kW lader. In 2011/2012 wordt deze bus op diverse plaatsen in gebruik genomen, in series variërend van enkele bussen tot enkele honderden. Dan zal blijken of de genoemde specificaties in de praktijk worden waargemaakt...

Ook wordt geëxperimenteerd met systemen waarbij de bus tussentijds opgeladen wordt, bijvoorbeeld bij elke stop, iedere 300-600 meter. Door heel frequent op te laden kan een duur en zwaar accupakket achterwege blijven. Wereldwijd vinden enkele interessante praktijkproeven plaats. Buslijn 20 in Shanghai heeft supercondensatoren (zgn. supercaps) die bij elke halte in korte tijd opgeladen worden aan een stukje bovenleiding. Een vergelijkbaar initiatief is de (voorgestelde) bus van Opbrid. Bij dit initiatief is ook het Nederlandse Epyon

aangesloten als leverancier van de laadelektronica. Deze bus gebruikt high-power Li-ion accu's (met nano-gestructureerd lithium-titanaat) voor supersnel opladen. De opslagtechniek van dergelijke bussen (accu of supercaps) moet zich nog bewijzen in deze applicatie, maar gezien de enorme aantallen cycli die worden gespecificeerd (vele miljoenen) lijkt hierin voorsnog geen risico in te schuilen.

**Datum**  
22 maart 2012

**Onze referentie**  
zonder nummer

**Blad**  
6/11



*Shanghai: Sinautec Aowei bus met supercondensatoren.  
In lijndienst sinds 2006 (!)*



*Opbrid: vergelijkbaar concept als Sinautec bus hierboven.  
In deze bus energie-opslag met hoog-vermogen Li-Ion techniek.*

Concepten met frequent laden (of eventueel accu's wisselen) zijn interessant omdat je op die manier een lichte, betaalbare bus kunt realiseren die toch volledig emissievrij is. Deze bus zou zelfs lichter kunnen zijn dan een dieselbus waardoor

ook de behoefte aan aandrijfenergie lager is. Het zou interessant zijn om voor Nederland de realiseerbaarheid en de TCO van verschillende concepten met snel-lading bij elke halte of steeds aan het einde van de lijn te onderzoeken.

**Datum**  
22 maart 2012

**Onze referentie**  
zonder nummer

**Blad**  
7/11

Ook inductief (contactloos) laden is voor bussen mogelijk een optie. De benodigde hoogfrequent-omvormers om de inductieve energie-overdracht te realiseren zijn kostbaar en kunnen binnen een beperkte ruimte ook niet enorme vermogens doorgeven. Daardoor is het lastig om in tientallen seconden tijdens een korte stop de energie voor enkele kilometers rijden (bijv. 3 kWh) over te stralen. Benodigde vermogens zouden dan in de orde van honderden kW liggen. Om deze reden lijkt inductief laden alleen haalbaar aan de eindhaltes, of eventueel terwijl de bus rijdt. Ook deze technologie wordt momenteel op diverse plaatsen in de praktijk uitgetest.

Een manier om elektrische energie in de bus zelf op te wekken is het toepassen van brandstofcellen op waterstof (H<sub>2</sub>). Een belangrijk voordeel ten opzichte van volledig elektrische bussen (bij grote bussen en grotere afstanden) is het ontbreken van het grote en zware accupakket. Ondanks succesvolle pilots zijn er nog wel vragen ten aanzien van de inzetbaarheid en kosten van deze technologie, zowel aan de voertuigkant als aan de infrastructuurkant. Prototypen van brandstofcelbussen zijn erg duur (> 1 M€) en ook de kosten van het produceren (en transporteren) van de waterstof zijn hoog. Energetisch gezien over de hele keten is de inzet van waterstof minder gunstig dan die van elektriciteit. Het inzetten van waterstof lijkt met name zinvol indien H<sub>2</sub> gebruikt wordt als medium om overtollige duurzame elektrische energie op te slaan. Deze energie komt dan tegen lage kosten ter beschikking. Daarnaast kan waterstof overwogen worden als het in de nabijheid beschikbaar is, bijvoorbeeld als bijproduct van de petrochemische industrie. Hierbij hebben busvloten het voordeel dat niet meer dan een of enkele brandstofvoorzieningsplaatsen nodig zijn.

Door sommigen wordt waterstof op de lange termijn als dé energiedrager voor zware voertuigen gezien. Een grote busbouwer die zich richt op de ontwikkeling van brandstofcelbussen is Daimler met de Citaro FuelCell-Hybrid.



*Proton Motors: tri-brid elektrische bus van Proton Motors met Accu's + Supercaps + Methanol brandstofcel. Veldtest bij stadsvervoer in Praag.*

**Datum**  
22 maart 2012

**Onze referentie**  
zonder nummer

**Blad**  
8/11

Middels veldexperimenten zijn en worden ervaringen opgedaan met prototypen van waterstof bussen, onder meer binnen Europese projecten zoals HyFLEET:CUTE en CHIC. In Amsterdam wordt momenteel geëxperimenteerd met 2 prototypen van een met brandstofcellen uitgeruste Phileas van het Nederlandse bedrijf APTS.

Net als bij elektrische voertuigen is de well-to-wheel CO<sub>2</sub>-uitstoot sterk afhankelijk van de wijze van produceren, bijvoorbeeld uit aardgas of biomassa via chemische conversie, of via elektriciteit uit fossiele brandstoffen of wind- en zonne-energie.

### ***Overige aangrijpingspunten voor energiebesparing***

Naast de voertuigaandrijving zijn er diverse andere mogelijkheden om energie te besparen bij de inzet van OV-bussen:

- Lichtgewicht bussen door de inzet van alternatieve materialen en constructies. Zo wordt door VDL een lichtgewicht variant van de Ambassador bus geleverd. Deze wordt aangedreven door een dieselmotor, maar heeft een brandstofverbruik dat ruim 10 % lager ligt dan dat van een vergelijkbare conventioneel aangedreven bus.
- Verlaging van de rolweerstand (keuze banden, bandspanning, uitlijning)
- Optimaliseren van de passagiersbezetting, 'Fit For Purpose' bussen
- Optimaliseren van het rijgedrag (Ecodriving, Het Nieuwe Rijden), incl. de inzet van elektronische hulpmiddelen hierbij
- In het verlengde hiervan: automatiseren van (delen) van de rijtaak
- Verkeersmanagement maatregelen, gericht op (gelijkmatige) doorstroming van busverkeer.

Een ruwe schatting van de totale reductie in de CO<sub>2</sub>-uitstoot die met deze maatregelen gehaald zou kunnen worden is 20-25%.

### ***Betrouwbaarheid en kosten***

OV bussen moeten, net als vrachtwagens, uiterst betrouwbaar zijn en lage onderhoudskosten hebben. Uiteindelijk zullen alleen technologieën 'overleven' waarbij is aangetoond dat ze dit kunnen realiseren. Een truckfabrikant heeft daarom zeer uitvoerige beproevingstrajecten bestaande uit laboratorium- en veldbeproevingen, voordat een nieuwe technologie vrijgegeven wordt voor productie. Voor de innovatieve aandrijflijnen en bij de kleinere markt van OV bussen is er doorgaans minder budget beschikbaar om zoiets op te zetten, zeker zolang onvoldoende zekerheid bestaat dat de markt de meerprijs van deze technologie zou willen betalen. Daarom is het doen van degelijke veldexperimenten met goede en vooral objectieve monitoring van belang, waarbij (bij-) financiering uit publieke middelen vaak nodig is.

Ten aanzien van de kosten gaat het bij nieuwe technologieën meer om de Total Cost of Ownership (TCO) dan om de aanschafkosten. Een deel van de hogere kosten van de hierboven beschreven innovatieve technologieën wordt immers terugverdiend door lagere brandstofkosten. Op dit moment is de TCO van hybride, volledig elektrische en brandstofcelbussen nog dermate hoog dat de zij niet concurrerend zijn. Bij elektrische bussen wordt verwacht dat het punt van concurrerende TCO in 2020 bereikt zou kunnen worden, bij waterstof bussen ligt dat punt (veel) verder weg en zal waarschijnlijk ook aanzienlijk duurder blijven, omdat de H<sub>2</sub> bus naast een elektrische aandrijving ook nog een brandstofcelsysteem heeft en een kostbaar H<sub>2</sub> opslagsysteem. Belangrijk is dat de



concessieverlening beter aansluit bij de TCO in het geval van innovatieve aandrijvingen die in aanschaf substantieel duurder zijn. De in 2011 opgerichte Stichting Zero Emissie Busvervoer richt zich onder meer hierop.

**Datum**  
22 maart 2012

**Onze referentie**  
zonder nummer

**Blad**  
9/11

### ***Lange termijn perspectief***

Algemeen wordt aangenomen dat om de opwarming van de aarde te beperken tot maximaal 2 graden een reductie van de CO<sub>2</sub>-uitstoot van 80-90% in 2050 (ten opzichte van 1990) nodig is over alle sectoren in de Westerse wereld. De Europese Commissie heeft als doelstelling dat de CO<sub>2</sub> uitstoot van transport in 2050 met 60% zal zijn gereduceerd (ten opzichte van 1990).

Met verbeteringen aan de dieselmotor en de aandrijflijn (inclusief hybridisering), in combinatie met verlaging van gewicht, rolweerstand en luchtweerstand op de lange termijn (2040-2050) een reductie van de CO<sub>2</sub>-uitstoot met 40 á 50% haalbaar. Voor de noodzakelijke verdere verlaging kan ingezet te worden op biobrandstoffen, of op energievoorziening met behulp van elektriciteit of waterstof. Met de laatstgenoemde technologieën is de noodzakelijke CO<sub>2</sub>-reductie in 2050 zeker te bereiken, er van uitgaande dat de productie van elektriciteit en waterstof (vrijwel) volledig duurzaam plaats gaat vinden. Daarnaast dragen deze technologieën bij aan de noodzakelijke vermindering van de afhankelijkheid van fossiele brandstoffen (energiezekerheid).

Hoe de route naar 2050 gaat verlopen is op dit moment moeilijk te voorspellen. Dit is van veel factoren afhankelijk, maar vooral van de bewezen betrouwbaarheid en de ontwikkeling van de kosten van de alternatieve technologieën, die zich momenteel nog in de fase van praktijkexperimenten bevinden. Daarbij is de inzet van de overheid (als concessieverlener) belangrijk, bijvoorbeeld door het stellen van strengere milieu eisen, met name op het gebied van de CO<sub>2</sub>-emissie.

### ***Effectiviteit: beoordeling op basis van feiten***

Voor het maken van goede keuzes in de toekomst is het systematisch monitoren en objectief analyseren van de veldexperimenten met alternatieve aandrijvingen absoluut noodzakelijk. Hierbij gaat het om zaken als brandstofverbruik, emissies, inzetbaarheid, betrouwbaarheid etc. Daarnaast is objectieve beoordeling van ontwikkeling van de TCO van de verschillende technologieën onontbeerlijk.

Bij de aanschaf van nieuwe bussen worden tegenwoordig de milieuprestaties van de bus in de beoordeling meegenomen. Waar dit voor brandstofverbruik al steeds vaker gebeurt op basis van een representatief verbruik in de praktijk, wordt voor de vervuilende emissies vaak gebruik gemaakt van cijfers gebaseerd op emissiestandaarden. De emissies blijken echter in de praktijk behoorlijk af te kunnen wijken van de normgegevens op basis van gestandaardiseerde metingen. Daarnaast is met name bij nieuwe aandrijftechnieken de keuze van de technologie en de optimale uitvoeringsvorm afhankelijk van de inzet (route-profiel) van de bus. Dit betekent dat goed onderbouwde beoordelingen nodig zijn, gebaseerd op de daadwerkelijke inzet en objectieve meetresultaten, evt. gecombineerd met simulaties. Bij simulaties kunnen resultaten van metingen aan representatieve gebruikscycli gekoppeld worden aan ritpatronen in het concessiegebied, zodat een overall beoordeling van brandstofverbruik en emissies in een concessiegebied mogelijk is. Zeker bij kleinere leveranciers met nieuwe technologieën is een design review nuttig, om de risico's te verkleinen.

**Datum**  
22 maart 2012

**Onze referentie**  
zonder nummer

**Blad**  
10/11

### ***Transitie: hoe stimuleren?***

De bestaande manier om toepassing van schone bussen in openbaar vervoer te stimuleren is om emissie-eisen op te nemen in de concessie. Die emissie-eisen sluiten in de regel aan bij bestaande emissienormen voor zware voertuigen. De normen hebben betrekking op de uitstoot van de motor, uitgedrukt in gram per geleverde kWh gemeten op een gestandaardiseerde laboratoriumtest. Lange tijd is de EEV-norm leidend geweest. Verdere stappen in emissiereductie worden bereikt door toepassing van de Euro VI norm. Die wordt vanaf 2013 verplicht voor alle nieuwe bussen.

Bij het stimuleren van nog schonere technieken zijn er twee opties, nl. specifieke technieken voorschrijven of emissienormen hanteren die met alleen dieselbussen niet kunnen worden gehaald. De eerste optie is lastig als het gaat om technieken die nog onvoldoende bewezen zijn of nog onvoldoende economisch rendabel. Het voordeel van de laatste oplossing is dat de eisen techniek-neutraal zijn en aanbieders dus meer mogelijkheden kunnen hebben om aan de eisen te voldoen. Een normering op basis van g/kWh is dan echter niet meer toereikend, zeker niet als het gaat om hybride bussen. Bij voorkeur zou een metriek moeten worden gehanteerd die gebaseerd is op g/km. Door op enig moment een norm te stellen die niet meer met alleen dieselbussen te halen is, kunnen aanbieders op de concessie worden gestimuleerd om een deel van hun vloot te laten bestaan uit schone alternatieven. Door in de loop van de tijd de norm aan te scherpen kan het aandeel duurzame voertuigen langzaam worden vergroot. In de concessie-eisen kunnen aanvullende bepalingen worden opgenomen die ervoor zorgen dat de schoonste bussen worden ingezet op probleemlocaties m.b.t. luchtkwaliteit.

Voordeel van een geleidelijke en flexibele stimulering van duurzame alternatieven, zoals hierboven beschreven, is bovendien dan de meerkosten voor toepassing van duurzame techniek voor concessieverlener en –nemer beperkt blijven en dat bovendien afhankelijk van de karakteristieken van de concessie de meest economische oplossing kan worden gekozen voor het halen van de gestelde eisen.

Voordelen van een normstelling op basis van g/km is dat niet alleen verbeteringen aan de motor worden gewaardeerd, maar ook innovaties aan de aandrijflijn als geheel, zoals hybride aandrijving. Ook effecten van andere innovaties aan het voertuig, zoals verbeteren van stroomlijn en gewichtsreductie, worden op die manier meegenomen. Dit is vooral van belang wanneer naast luchtverontreinigende emissies ook CO<sub>2</sub> wordt opgenomen in de emissie-eisen. Emissiewaarden kunnen worden bepaald met behulp van een gestandaardiseerde praktijktest waarbij voertuigemissies worden gemeten met een Portable Emission Measurement System (PEMS).

Veel duurzame alternatieven worden gekarakteriseerd door hogere aanschaffkosten en lagere brandstof- en andere gebruikskosten. Behalve in een duurder voertuig moet er soms ook in een alternatieve energie-infrastructuur worden geïnvesteerd. De hogere investering is een probleem in het licht van de relatief korte duur van de concessie. Hiervoor zijn verschillende oplossingen denkbaar en reeds in discussie.

Bij het onderzoeken van nieuwe opties zou de Business case of TCO leidend moeten zijn. Je hebt dan een aantal partijen nodig die het totaal kunnen overzien en uiteindelijk verantwoordelijkheid kunnen nemen voor een deel van de keten.

Dus voor bijvoorbeeld een elektrische bus gaat dat minimaal om een busproducent, een energieproducent en een OV bedrijf. Daarnaast zijn waarschijnlijk kennisinstelling(en) nodig en een partij die de infrastructuur gaat bouwen of beheren. Het gaat dus vooral om rekenen en minder om het op de weg zetten van enkele demo voertuigen.

**Datum**  
22 maart 2012

**Onze referentie**  
zonder nummer

**Blad**  
11/11

### ***Résumerend***

Bussen stoten in de komende jaren steeds minder vervuilende emissies uit, onder meer door de introductie van de Europese EURO-VI wetgeving. Uitdaging op de langere termijn blijft de reductie van de CO<sub>2</sub>-uitstoot, als bijdrage aan de beperking van de klimaatverandering. Met diverse verbeteringen aan het voertuig, aan de motor en aan de aandrijflijn kan de CO<sub>2</sub>-uitstoot substantieel teruggebracht worden (40 á 50% op de lange termijn). Daarbij is hybridisering van de aandrijflijn een vernieuwing die op relatief korte termijn realiseerbaar is, terwijl de inzet van alternatieve brandstoffen verder kan bijdragen aan de reductie van de well-to-wheel CO<sub>2</sub>-uitstoot.

Voor de benodigde drastische reductie van de CO<sub>2</sub>-uitstoot op de langere termijn zijn duurzamere aandrijfvormen noodzakelijk. Hier dienen zich volledig elektrische en brandstofcel voertuigen aan. Voordelen van deze technologieën zijn daarbij: kleinere afhankelijkheid van fossiele brandstoffen (energiezekerheid), nauwelijks uitstoot van lokale vervuilende emissies en vermindering van de geluidsemissie. Aan de andere kant zijn er nog de nodige onzekerheden m.b.t. de inzetbaarheid en de (toekomstige) kosten van deze technologieën, zowel aan de voertuig als aan de infrastructuurkant. Deze technologieën bevinden zich nog in de fase van praktijkexperimenten en systematische en objectieve monitoring en analyses zijn nodig om tot verantwoorde keuzes te komen.

De transitie naar echt duurzaam openbaar vervoer met bussen kan gestimuleerd worden door 'slimme' concessie eisen te stellen, die vervoerders dwingen geleidelijk het aandeel duurzame voertuigen in hun vloot te vergroten. Up-to-date en objectieve kennis van de nu en in de toekomst beschikbare technologieën en de daarmee samenhangende kosten (TCO basis) is daarbij onontbeerlijk, teneinde de kosten van het OV binnen de perken te houden.

### ***Bronnen***

1. Technologisch CO<sub>2</sub>-reductie potentieel voor transport in 2040, TNO rapport MON-RPT-033.DTS-2008-02880 (2008)
2. Brandstoffen voor het wegverkeer, Kenmerken en perspectief (Factsheets) - TNO/CE Delft rapport TNO-RPT-2011-00607 (2011), herziening 2012 in voorbereiding
3. VDL Ambassador diesel EEV bus: emission measurements and comparison with other buses TNO rapport MON-RPT-033-DTS-2007-02723 (2007)
4. Lucht voor schone bussen - Handreiking milieuvriendelijk busmaterieel, Kennisplatform Verkeer en Vervoer (2009)
5. Truck Powertrain 2020 – Mastering the CO<sub>2</sub> Challenge, Roland Berger Strategy Consultants (2010)
6. European Roadmap - European Bus System of the Future, ERTRAC (2011)
7. Position paper 'A comprehensive approach for bus systems and CO<sub>2</sub> emission reduction', UITP (2011)