

Auto & Motor
TECHNIEK

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

MILIEU

Schoner openbaar vervoer



Dankzij SCR en een open roetfilter voldoet de DAF Paccar PR-motor aan de ultraschone EEV-gasnorm.

Foto: DAF

Concurrentie voor de aardgasbus DAF dieselt door

Hoe drijf je milieuvriendelijk een bus aan? Die vraag houdt veel busmaatschappijen en concessieverleners in steden en provincies bezig. Wordt het aardgas of LPG? Hybride misschien, of toch de brandstofcel? DAF komt nu met een wel heel verrassend alternatief: diesel!

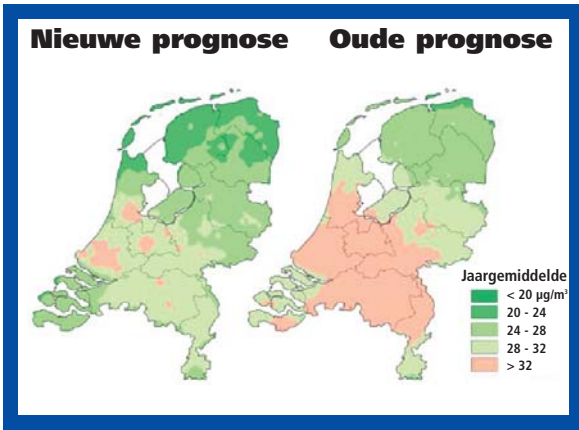
Milieuvriendelijk hoor, dat openbaar vervoer, tot je uitstapt. De roetwolk die de weer vertrekkende bus op de halte achterlaat, doet je al hoestend en proestend terugverlangen naar de bedompte lucht binnenin de bus. Toegegeven, dit beeld is meer van toepassing

op de jaren '70 van de vorige eeuw dan op het jaar 2006, maar echt vreemd is het niet dat er al decennialang wordt gezocht naar een schoon alternatief voor de dieselbus. En had de diesel vroeger nog enig milieuaan zien vanwege zijn zuinigheid, sinds het oplaaien van

de fijnstofdissussie staat hij helemaal in een kwade reuk.

Imagoprobleem

Tijdens een recent symposium over schone mobiliteit probeerde Raymond Gense van TNO een verklaring te vinden voor het negatieve milieu-imago van het wegverkeer in het algemeen en de diesel in het bijzonder. Gense: "Het is waar, voertuigen worden steeds schoner, maar de praktijkcommissies gaan minder snel omlaag, dan je op basis van de steeds strengere emissienormen zou verwachten. Bovendien komen er steeds meer voertuigen bij, die ook nog eens steeds meer kilometers rijden. Dat geldt in het bijzonder voor bedrijfsvoertuigen. Verder zijn er de Kyoto-afspraken over CO₂ en de Europese



Op het verkeerde been. Eerst een alarmerende prognose van de hoeveelheid fijnstof. Later een bijgestelde prognose, die alleen lokaal rood kleurt.

eisen aan de luchtkwaliteit, die vanaf 2005 maxima voor PM_{10} (het relatief grove fijnstof) en NO_2 voorschrijven. En omdat we ook steeds dichterbij de wegen gaan wonen, hebben meer mensen last van de verkeersemmissies. Ten slotte is er een toenemende druk vanuit de publieke opinie om de emissies van het wegtransport terug te brengen in verband met schadelijke gezondheidseffecten. In Duitsland zijn ze daar overigens al verder mee dan wij. Een diesel zonder roetfilter? Dat doe je daar gewoon niet."

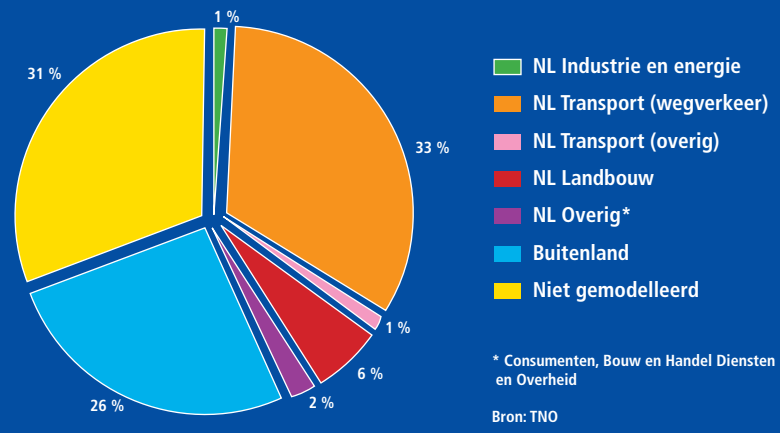
Dat die publieke opinie zich soms wat al te gemakkelijk op het verkeerde been laat zetten toont Gense met twee kaartjes. Ze laten de verwachte overschrijding zien van de fijnstofgrenswaarden in Nederland in 2010. Op het eerste kaartje kleurt de gehele zuidelijke helft van ons land diep rood. Het tweede kaartje is een nieuwe verbeterde prognose. Zuid Nederland is opgefrist en alleen de grote steden tonen nog rode vlekjes. Toch waarschuwt Gense tegen gemakzucht: "Het probleem is lokaler geworden, maar niet opgelost." En: "Het is waar, in de totale hoeveelheid fijnstof heeft het wegverkeer maar een minimaal aandeel. Natuurlijke bronnen en het buitenland zijn samen verantwoordelijk voor meer dan driekwart." Maar toch: "In een drukke straat in een grote stad loopt het verkeersaandeel zomaar op tot eenderde."

Voeg daar het achtergrondniveau aan toe en een overschrijding van de Europese PM_{10} -norm is daar. En dan zit het stadsbestuur met een probleem. Vandaar dat stadsbesturen zich de vraag stellen: "Hoeveel fijnstof houden we in zo'n drukke straat uit de lucht door schone bussen in te zetten?"

Grote schoonmaak

Om die vraag te beantwoorden heeft TNO het CAR-model ontwikkeld. Gense's collega Richard Smokers legt aan de hand van een voorbeeld (zie de tabel hiernaast) uit hoe het werkt: "We kijken naar een drukke straat in het centrum van een stad. Er passeren daar 20.000 voertuigen per dag

Fijnstofbijdragen verschillende bronnen in drukke straat in Eindhoven (2002)



Het wegverkeer levert maar een minimale bijdrage aan de hoeveelheid fijnstof in ons land. Maar in drukke straten kan de verkeersbijdrage tot wel een derde oplopen.

en het aandeel bussen is groot: 15%. Het gaat ons om de luchtkwaliteit in 2010 en we kijken hoe beslissingen die nu over het stedelijk buspark worden genomen, dan uitwerken."

Uiteraard willen de beleidsmakers de uitkomsten van hun acties vergelijken met het resultaat van: 'niets doen'. Dat wordt dus Scenario 1 van Smokers' berekening: "We gaan uit van een normaal buspark met alleen diesels. Ze zijn verdeeld over Euro 0 tot en met Euro 4/5-bussen zoals je dat gemiddeld tegenkomt."

'Niets doen' is in dit geval overigens niet helemaal niets doen: "Uiteraard worden er wel bussen vervangen. En wel op zo'n manier dat het buspark ook in 2010 weer gemiddeld is samengesteld." Daarnaast verbeterd ook de uitlaatgassenmenstelling van de overige 17.000 dagelijks passerende voertuigen en zal het PM_{10} -achtergrond-

Schone bussen in een vuile straat

	2005	2010	2010	2010	2010	2010
PM_{10} in $\mu g/m^3$	Huidige situatie	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 2	Scenario 3	Scenario 3
		'Niets doen'	EEV	EEV	Retrofit open DPF	Retrofit open DPF
Vervanging		Normaal	Normaal	Versneld	Normaal	Versneld
Achtergrondniveau	26,0 $\mu g/m^3$	25,0 $\mu g/m^3$	25,0 $\mu g/m^3$	25,0 $\mu g/m^3$	25,0 $\mu g/m^3$	25,0 $\mu g/m^3$
Jaargemiddelde	36,0 $\mu g/m^3$	30,1 $\mu g/m^3$	30,0 $\mu g/m^3$	29,1 $\mu g/m^3$	29,0 $\mu g/m^3$	28,5 $\mu g/m^3$
Verbetering t.o.v. 'Niets doen'		0,4%	3,6%	3,9%	3,9%	5,3%
Aantal dagen/jaar boven norm	59 dagen	31,8 dagen	31,5 dagen	29,8 dagen	28,6 dagen	27,5 dagen

Met het CAR-model maakt TNO het effect van maatregelen op de luchtkwaliteit zichtbaar. In dit indicatieve voorbeeld gaat het om een drukke straat met veel busverkeer (15%) in een grote stad. De uitgangssituatie komt tot stand met een gemiddeld buspark in 2005. Doet de concessieverlener (het stadsbestuur) niets (Scenario 1), dan zal er door normale vervanging ook in 2010 een, voor dat jaar, normaal buspark door de straat rijden. Een alternatief is om bij iedere vervanging te kiezen voor een EEV-bus (Scenario 2). Een ander alternatief is alle bestaande bussen met een retrofitfilter uit te rusten (Scenario 3). Voor beide alternatieven wordt nog een variant met versnelde vervanging doorgerekend. In dat geval telt het park in 2010 geen Euro 1 en 2-bussen meer. En de conclusies? Echt zoden aan de dijk zet het allemaal niet. Toch kán investeren in schone bussen interessant zijn als te vuile locaties daarmee net binnen de norm komen. Overigens staat die norm (EU-richtlijn 1999/30/EC, zie AMT 1, blz. 21) in 2010 een jaarlijks gemiddeld fijnstofniveau toe van 20 $\mu g/m^3$. Op deze locatie is dat lastig. Het achtergrondniveau bedraagt immers al 25 $\mu g/m^3$. Met het aantal overschrijdingen van de 24-uurs grenswaarde is het nog dramatischer. Want terwijl in dit voorbeeld het achtergrondniveau al goed is voor 19,8 dagen overschrijding staat de EU-norm er maar 7 toe. Als het aan de EU ligt hebben dus alleen voertuigen, die de lucht schoner uitblazen dan ze hem inademen, toekomst op dit soort locaties.

Bron: TNO



Autovrije zondag in 2010?

Foto: ANP

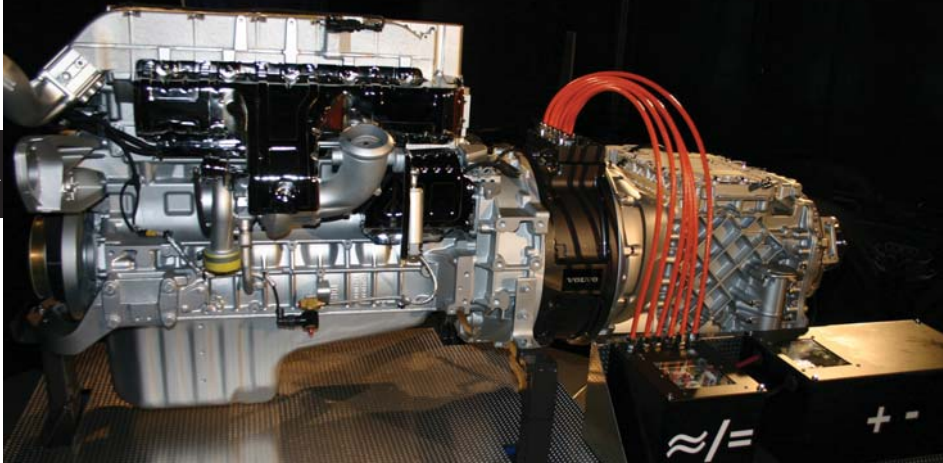
MILIEU

Schoner openbaar vervoer

niveau in de voorbeeldstraat naar verwachting een fractie lager zijn: 26 microgram per kuub in 2005 en nog maar 25 in 2010. Het gevolg is dat ook in het scenario 'niets doen' de luchtkwaliteit verbetert. Smokers: "In dit voorbeeld bedroeg de hoeveelheid PM₁₀ in 2005 op 10 meter van de weg-as gemiddeld 36 microgram per kuub. Scenario 1 brengt het in 2010 op 30,1 µg/m³."

EEV-bussen

Maar goed, het toegestane jaarlijks gemiddelde PM₁₀-niveau is in 2010 ook lager, dus dit gemeentebestuur wil meer, of liever gezegd: minder. Smokers: "In Scenario 2 worden vanaf 2006 alleen nog maar nieuwe bussen aangekocht die voldoen aan de EEV-norm." EEV staat voor Enhanced Environmentally friendly Vehicles. De norm is in 1999 ontwikkeld voor aardgasvoertuigen en is vergelijkbaar met de Euro 5-norm die in 2008 van kracht wordt. Behalve dan dat EEV nog eens een derde minder fijnstof toestaat dan Euro 5. Wat krijgt het gemeentebestuur terug voor deze investering? Dat valt tegen: 30,0 µg/m³, een extra reductie ten opzichte van 'niets doen' met niet meer dan een paar tiende procent. Daarmee lijkt de investering in schone bussen weggegooid geld. Toch is dat niet helemaal waar. Smokers: "Als oude bussen versneld worden vervangen door EEV-bussen, zodat er in 2010 geen Euro 1 en 2-bussen meer door deze straat rijden, komt het fijnstofniveau uit op 29,1 µg/m³, en bedraagt de reductie ten opzichte van 'niets doen' al 3,6 %." Het positieve resultaat van de versnelde vervanging laat zien dat de oude bussen de grote boos-



De Volvo-hybride aandrijflijn bestaat uit een relatief kleine motor (viercilinder 5-liter voor de busversie, 7-liter zescilinder voor de hier afgebeelde truckversie), die hulp krijgt van een platte elektromotor tussen koppeling en AMT. AMT? Ja, dat is Volvo's Automatic Mechanical Transmission.

Volvo zet in op hybride

Foto's: Volvo

Goed, DAF gaat dus vol voor de diesel en ziet pas op lange termijn ruimte voor alternatieven. Niet alle concurrenten denken er zo over. MAN heeft in Europa al duizenden aardgasbussen afgezet (zie AMT februari) en Volvo presenteert juist tijdens de introductie van DAF's EEV-diesel een hybride concept voor bussen en distributietrucks. In de bustoepassing kiest Volvo daarbij voor een relatief kleine 210 pk 5-liter viercilinder diesel met parallel daaraan een elektromotor. Die elektromotor, of liever I-SAM (Integrated Starter Alternator Motor) zit tussen koppeling en geautomatiseerde versnellingsbak. Met deze parallelhybride

opstelling is stationair draaien er niet meer bij. Optrekken wordt veelal verzorgd door de 800 Nm sterke elektromotor. Pas als de bus zijn kruissnelheid bereikt gaat de diesel meedoen. De I-SAM neemt de meeste remmingen voor zijn rekening. Daarbij levert hij maximaal 125 kW aan remvermogen terug aan de batterijen. Dankzij deze hybride strategie worden snelle belastingwisselingen van de dieselmotor zoveel mogelijk vermeden. Omdat het juist die belastingwisselingen zijn, die pieken in de NO_x- en PM-uitstoot veroorzaken kan een hybride tot nog lagere emissies komen dan de concurrerende technieken. Een bijkomend emissievoordeel ontstaat doordat de motor niet meer stationair hoeft te draaien. Dat voorkomt een te lage uitlaatgastemperatuur, zodat de SCR-katalysator en een eventueel passief regenererend open roetfilter hun werk goed kunnen blijven doen.

Ongunstiger exploitatie

Opvallend is dat Volvo loodzuur batterijen gebruikt. Dat maakt ze recyclebaar in de bestaande systemen. Dankzij een aantal gepatenteerde constructieve verbeteringen claimt Volvo, per opgeslagen kilowattuur, maar de helft van de gebruikelijke hoeveel-

heid lood nodig te hebben. Toch zijn de batterijen verre van licht. Bovendien staan ze op het dak van de bus, zodat er constructieve versterkingen nodig zijn. Alles bij elkaar brengt dat zo'n 600 kilo extra gewicht in de schaal. De aandrijflijn zelf is niet zwaarder dan normaal. Het extra gewicht van de I-SAM wordt gecompenseerd door de kleinere dieselmotor en doordat een geautomatiseerde handbak is gebruikt in plaats van een automatische transmissie. Uiteraard is er aan gedacht dat servopomp, lucht-, airco-compressor en andere voorzieningen elektrisch worden aangedreven en dus gewoon blijven functioneren als de verbrandingsmotor stilstaat. Volvo verwacht zijn eerste hybride bussen en trucks te verkopen in 2009. Men verwacht dat de meerprijs ten opzichte van een diesel is terug te verdienen door een lagere brandstofrekening. Helaas gaan de batterijen bij intensief stadsbusgebruik maar zo'n vier tot vijf jaar mee. En aangezien die voorlopig nog goed aan de prijs zijn, zal de exploitatie daarmee toch ongunstiger uitvallen. Maar ja, als bussen daarmee nog schoner worden... Wilt u Volvo's hybride aandrijflijn in actie zien? Kijk dan naar de video op www.amt.nl.



Voorop Volvo's hybride bus staan de batterijen, in het midden van airco-installatie en achterop het dak de koelinstallatie van de diesel. De diesel zelf staat links achterin net als in de 'gewone' Volvo 7700-bussen.

DAF EEV-diesel

De DAF Paccar PR-motor staat op het punt om in productie te gaan. Deze nieuwe 9,2 liter met vermogens van 250 tot 360 pk leent een aantal technologieën van de vorig jaar geïntroduceerde 12,9 liter MX-motor. Uit emissie-oogpunt is het door Delphi ontwikkelde Smart-injectiesysteem van belang. Het heeft een elektronisch geregelde variabele inspuitdruk tot maximaal 2000 bar. Bovendien werkt het afhankelijk van de bedrijfsomstandigheden met een voor- en na-inspuiting om de geluidsproductie en de uitstoot van schadelijke gassen te beperken. Dankzij uitlaatgasnabehandeling met een SCR-katalysator voldoet deze motor aan de Euro 5-norm. Door daar nog een open roetfilter aan toe te voegen heeft DAF een EEV-diesel gecreëerd. ●

Schoon, schoner, schoonst

Emissienormen in g/kWh	Euro 3	Euro 4	Euro 5	EEV	DAF PR EEV	MAN CNG Lean Burn	MAN CNG ($\lambda=1$)
CO	5,45	4	4	3	0,05	0,25	0,15
HC	0,78	0,55	0,55	0,4	0,1	0,15	0,05
NOx	5	3,5	2	2	2	1,8	0,4
PM	0,16	0,03	0,03	0,02	0,015	0,005	0,005



In vergelijking met Euro 3 is Euro 5 al erg schoon. Maar het kan nog schoner. Gasnorm EEV is met name strenger op de PM-uitstoot. DAF bewijst dat ook een diesel die norm kan halen en scoort met zijn Paccar PR EEV waarden die vergelijkbaar zijn met die van MAN's 310 pk CNG lean burn motor. Toch is de grens nog niet bereikt. De MAN $\lambda=1$ 245 pk aardgasmotor zonder turbo blaast nog minder NO_x en PM de lucht in. En Volvo's diesel-hybride? "Superschoon", belooft Volvo. Maar hoe schoon precies, kan men nog niet zeggen: "De EU ontwikkelt een testcyclus speciaal voor hybrides. Als die er is hoort u meer."

doeners zijn. Scenario 3 probeert daar iets aan te doen door alle bestaande bussen uit te rusten met een passief regenererend open roetfilter. Smokers: "Daarmee komt het PM₁₀-niveau in 2010 op 29,0 en bij een versnelde vervanging van de oude bussen zelfs op 28,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Dat is een reductie van 5,3% ten opzichte van 'niets doen'."

CNG of SCR?

De conclusie die Smokers uit zijn voorbeeld trekt is helder: "Het PM₁₀-achtergrondniveau is relatief hoog. Dus om een aansprekende reductie te krijgen moet je heel veel doen. Maar ja, als de norm overschreden wordt is er een politiek probleem en moet er toch een oplossing komen." In dat geval bieden retrofitfilters, versnelde vervanging en EEV-bussen een oplossing. De volgende vraag is dan natuurlijk, hoe een bus economisch verantwoord aan de EEV-norm kan voldoen. Smolders: "Als gezegd is de EEV-norm ontwikkeld voor aardgasmotoren, maar het is niet zo dat alle aardgasmotoren er aan voldoen. Met name Lean Burn CNG-motoren stoten vaak teveel NO_x uit. Stoichiometrische ($\lambda = 1$) CNG-motoren met een driewegkatalysator

halen EEV in de regel wel."

Natuurlijk halen brandstofcellbussen de EEV-norm op hun sloffen, ze stoten alleen maar water uit, maar op het onderdeel 'economisch verantwoord' scoren ze voorlopig nog een dikke onvoldoende.

Er is echter nog een alternatief: "Bij de ontwikkeling van de EEV-norm hield niemand het voor mogelijk, maar dankzij de SCR-katalysator in combinatie met een open roetfilter haalt ook de diesel EEV."

Ron Borsboom, directeur productontwikkeling van DAF Trucks is dolgelukkig met die opmerking: "Wij volgen alle opties. De brandstofcel? Wie weet, over 15 jaar. Voorlopig kost een brandstofcelbus 1,25 miljoen euro en dan moet je nog 1,5 miljoen voor een tankstation uittrekken. Hybride dieselelektrische aandrijving? Is al veel realistischer. Het is technisch goed uitvoerbaar, maar zwaar. Dat betekent minder lading op een truck en minder passagiers in een bus. Gas, CNG, LNG, LPG? Eind jaren '80, begin jaren '90 was het veel schoner dan de diesel. Inmiddels halen we met de diesel hetzelfde niveau. En het nadeel van gas is gebleven: het vraagt een extra investering van 30.000 euro.

Zonder subsidie is dat niet haalbaar."

Goed diesel dus, maar dan is er nog de keuze EGR (Exhaust Gas Recirculation) of SCR (Selective Catalytic Reduction): "EGR geeft een hoger brandstofverbruik, vraagt om het vaker vervangen van olie en oliefilter en er moeten tientallen kilowatts uit het hete uitlaatgas worden weggekoeld. Dat gaat vaak niet zonder problemen. Niet voor niets hebben alle fabrikanten die in Amerika al ervaring met EGR hadden opgedaan in Europa voor SCR gekozen. Oké, SCR betekent Adblue tanken, maar dat kan inmiddels op meer dan 1000 locaties in Europa. En met onze nieuwe 9,2 liter Paccar PR-motor halen we Euro 5 zonder roetfilter. Met een open passief regenererend roetfilter halen we met die motor ook EEV."

A moving target

Een knappe prestatie, en toch krijgt Borsboom nog vaak de vraag: "Kan schoner niet sneller?" Voor hem reden even terug te gaan in de tijd: "In 1970 produceerde één 156 pk DAF-bus 91 dB(A). Nu heb je twaalf 225 pk DAF-bussen nodig om aan dat niveau te komen. Een Euro 1-bus uit 1993 produceert per kW vier keer zoveel

Ten slotte:



Ooit was er de vrees dat de paardenmest zich in de straten tot de dakgoten zou ophopen...



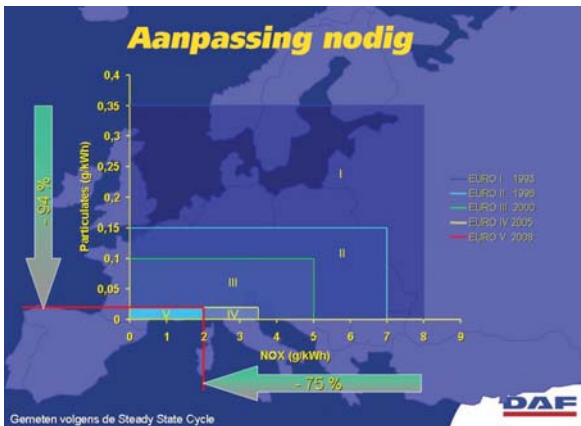
Zo zie je ze niet veel meer, maar ook veel nieuwere bussen staan vaak werkloos aan de kant, omdat ze niet kunnen voldoen aan de extra strenge milieu-eisen in de vervoersconcessies.

Voorzichtig met emissie-eisen

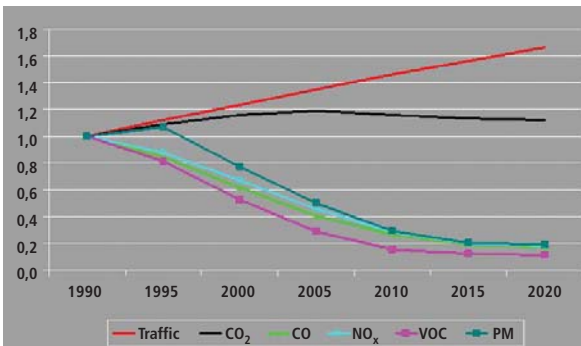
Het project Valleilijn van de Provincie Gelderland moet in de komende jaren de kwaliteit van het openbaar vervoer tussen Amersfoort en Ede-Wageningen verbeteren. Onderdeel van het project is een verbetering van de huidige buslijn tussen Wageningen en Ede. De Provincie Gelderland heeft busmaatschappij BBA de concessie verleend om de dienstregeling de komende jaren uit te voeren. De BBA gaat daarvoor 7 MAN CNG-bussen inzetten. Wordvoerder Carl

Bieker van de Provincie Gelderland legt uit waarom aardgas: "Het gaat om een dichtbevolkt gebied, dus hebben we in de concessie geëist dat de bussen aan de EEV-norm moeten voldoen. In september vorig jaar, toen hierover beslist werd, bestond er nog geen dieselalternatief voor EEV. Dus betekende die eis automatisch aardgas." Overigens waarschuwt Bieker voor het al te hoog opschroeven van milieueisen aan concessiehouders: "Busmaatschappijen blij-

ven zitten met bussen van nog maar een paar jaar oud die ze nergens meer kunnen inzetten. Als overheid moet je dus voorzichtig zijn met je eisen en goed onderscheid maken tussen gebieden waar je wat meer of juist wat minder emissies toestaat. Doe je dat niet dan zie je dat in je OV-prijs terug." Om dit probleem op de Valleilijn voor te zijn, gaan de aardgasbussen na afloop van de concessie door naar de volgende concessiehouder. ●



... met de komst van de auto verdween die angst. Helaas kwam er giftig uitlaatgas voor in de plaats. In de afgelopen decennia ruimen die giftige bestanddelen in hoog tempo het veld. De Euro 6-norm van 2012 is (met vermoedelijk 0,01 g/kWh PM en 0,5 g/kWh NO_x) in deze figuur al haast niet meer aan te geven. Wat daarna rest is een motor die vrijwel niets anders uitstoot dan water en kooldioxide...



...Kooldioxide? Ja, het gemotoriseerde transport kan nu langzamerhand echt werk gaan maken van de volgende grote uitdaging: broeikasgas CO₂!

NO_x als een Euro 5-bus van vandaag en zelfs 12 keer zoveel PM. Kortom, we hebben ongelooflijk veel bereikt in relatief korte tijd. Daarom is de diesel ook zo moeilijk te verslaan. Voor alternatieve technologieën zijn uitontwikkeld is de diesel alweer twee stappen verder. Met andere woorden: de diesel is 'a moving target'." Een schone diesel is inderdaad nog niet zo'n gekke krachtbron. Immers, op aanschaf- en onderhoudskosten, betrouwbaarheid en actieradius scoorde de diesel altijd al goed. Met al die argumenten en de uitkomsten van het TNO-rekenmodel in gedachten, eindigt Borsboom met een vraag: "Wat levert de meeste milieuwinst: het stimuleren van kleinschalige busprojecten met technologieën die nog een lange weg te gaan hebben, óf: het stimuleren van versnelde vervanging van oude vervuilende bussen?" De vraag stellen is 'm beantwoorden... ●

Erwin den Hoed

www.AMT.nl

Dé internetsite voor de Automotive Professional

Milieuvriendelijk transport op AMT.nl
Op AMT.nl vindt u een schat aan informatie over milieuvriendelijke trucks en bussen. Ziet u het liefst bewegend beeld, bekijk dan de video over Volvo's hybride bus en truck (Techniek in beeld, rubriek Hybride-systemen). Wilt u alles weten over de motorteknik van Euro 4, 5 en verder, kijk dan in het Autotechnisch archief, klik vervolgens op Bedrijfsauto's en daarna op Milieu of op Motoren.