

## Demonstrationsprojekt med partikelfiltre i Odense

Centerchef Ken Friis Hansen, Teknologisk Institut, Energi/Motorteknik  
Projektleder Niels-Anders Nielsen, Færdselsstyrelsen

### Baggrund

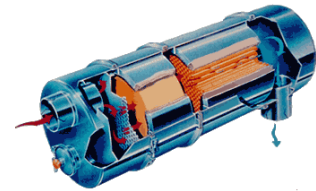
Odense Kommunes og Færdselsstyrelsens demonstrationsprojekt med partikelfiltre startede i januar 2000, og de indledende resultater fra projektets første halvår blev præsenteret på Trafikdage 2000. Projektet har vakt stor national og international opmærksomhed, dels fordi forsøget med 125 køretøjer er forholdsvis stort i skala, men primært fordi forskellige teknologier sammenlignes på lige vilkår og i daglig drift.

### Oversigt over anvendte teknologier

I Odense-projektet anvendes syv filterteknologier, og tre af disse er teknologier, som både fjerner partikler og reducerer NO<sub>x</sub>-forureningen.

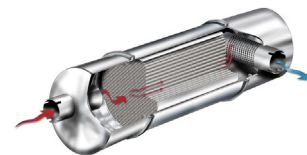
- **Johnson Matthey, CRT (Volvo, CRT)**

Johnson Matthey er en af verdens største katalysator- og filterproducenter. CRT-filteret (Continuous Regenerated Trap) er oprindeligt udviklet af Emissionsteknik i Sverige, som nu er en del af Johnson Matthey. CRT-filteret er det mest kendte, og med et salg på ca. 12.000 enheder (heraf et stort antal i Sverige) er det også det mest udbredte partikelfilter på markedet i Europa. I Europa licensfremstilles CRT-filtre af Eminox i England, og de sælges som *Eminox CRT*. Filteret sælges også af Volvo, til original- eller eftermontering på busser og lastvogne, som *Volvo CRT*. CRT er et passivt filter, som kontinuert regenereres ved hjælp af NO<sub>2</sub>, som dannes i en for-katalysator. Johnson Matthey foreskriver anvendelse af brændstof med mindre end 75ppm svovl<sup>1</sup>.



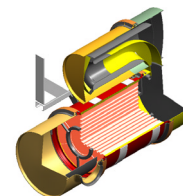
- **Engelhard, DPX (Ferrita)**

Engelhard er ligeledes en meget stor producent af katalysatorer og partikelfiltre. I Norden blev Engelhard DPX-filtre tidligere licensfremstillet af Ferrita i Sverige, og blev også ofte forhandlet som *Ferrita-filtre*. DPX er et passivt filter, som kontinuert regenereres ved hjælp af NO<sub>2</sub>, som dannes i selve filteret, der er katalytisk belagt i modsætning til CRT, som har en forkatalysator. Engelhard anbefaler også brændstof med mindre end 75ppm svovl.



- **Silentor**

Silentor er et, med international målestok, lille dansk firma med speciale i lydæmpere. Silentor bygger partikelfiltre med monolitter fra NoTox, som fornylig blev solgt af Silentor til



<sup>1</sup> ppm = part per million, dvs. 1 ppm er 0,0001%. I Danmark er svovlindholdet i "lav-svovl diesel" <50ppm.

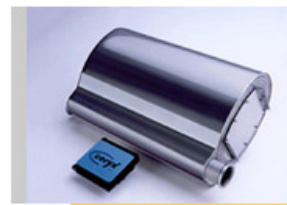


Corning, som er verdens største producent af monolitter<sup>2</sup>. Silentor er et passivt filter, som regenereres ved hjælp af et additiv, som tilsættes brændstoffet. I dag bruger Silentor additivet Octel Optimax 4804, som indeholder 4% jern og 1% strontium. Additivet doseres normalt med 200ppm om sommeren og 400ppm om vinteren. Silentor kan fås både med og uden oxidationskatalysator.

- **Ceryx, QuadCat**

Ceryx er et lille amerikansk firma, som producerer et aktivt filter kaldet QuadCat, som regenereres ved sekundær brændstofindsprøjtning, dvs. der sprøjtes en mindre mængde brændstof ind i udstødningen før filteret. Der er yderligere indbygget en patenteret varmeveksler i systemet, som reducerer energiforbruget noget.

QuadCat indeholder desuden både en oxidationskatalysator, som fjerner HC og CO, og helt unikt en deNO<sub>x</sub>-katalysator, som reducerer NO<sub>x</sub>. Firmaet har tilsyneladende p.t. nogle finansielle problemer, og produktets fremtid er usikker.



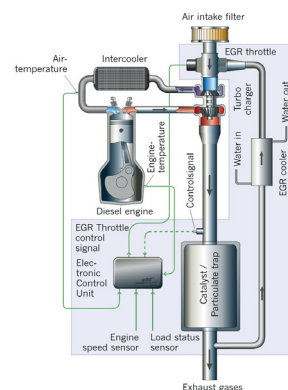
- **Energietechnik Bremen, ELR**

Energietechnik Bremen er et tysk firma, som har udviklet et aktivt filter, som regenereres elektrisk on-board ved hjælp af strøm fra køretøjets generator. Tidligere krævede elektrisk regenererede filtre tilslutning til elnettet (400 volt) i op til 8 timer for hver 8-10 timers kørsel, hvilket lagde betydelige bindinger på køretøjets anvendelse. ELR er specielt velegnet til køretøjer med lav udstødningstemperatur, f.eks. renovationsbiler og fejmaskiner.



- **Volvo (STT), CRT+EGR**

Firmaet Svensk Turbo Teknik (STT) har udviklet et EGR-system (exhaust gas recirculation) til eftermontering, som anvendes i kombination med et Johnson Matthey CRT-filter. EGR recirkulerer en del af udstødningssgasen til motorens indsugningsluft og nedsætter dermed NO<sub>x</sub>-emissionen. Systemet fås i skrivende stund kun til enkelte Volvo-motorer, hvor det leveres som originalt Volvo udstyr, men STT arbejder på at tilpasse systemet til andre motorer.



- **Ferrita+EGR**

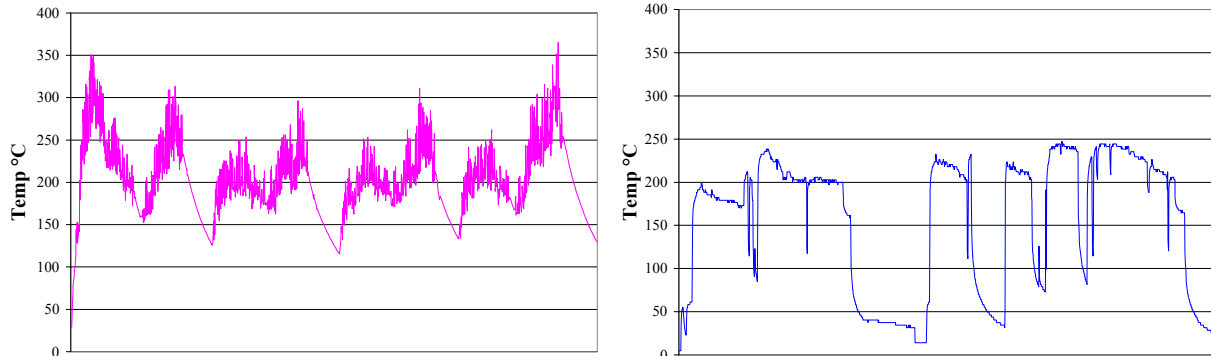
Ferrita har også udviklet et EGR-system til eftermontering sammen med, i første omgang, Engelhard DPX-filtre på Volvo motorer. Ferritas planer for tilpasning af systemet til andre filtre og motorer er p.t. ukendte.

### Praktiske erfaringer med anvendelse af filtre

En meget vigtig erfaring er, at ikke alle køretøjer egner sig til eftermontering af partikelfiltre. Nogle køretøjer har et driftsmønster, som medfører, at udstødningstemperaturen aldrig, eller for sjældent, kommer højt nok op, til at de mest udbredte partikelfiltre kan fungere. Dette

<sup>2</sup> Corning producerer monolitter (selve "kernen" i filteret) til næsten alle filterleverandører herunder både Johnson Matthey og Engelhard. Med købet af NoTox har Corning udvidet sit filtersortiment med SiC-filtre, som altid har været NoTox speciale.

gælder f.eks. nogle distributionskøretøjer og renovationsbiler, hvor man i samarbejde med filterleverandøren bør sikre sig, at betingelserne for afbrænding af de opsamlede partikler er til stede. Andre køretøjer, som f.eks. busser, har et mere velegnet driftsmønster.



Figur 1: Udstødningstemperatur målt over en arbejdsdag for bybus (tv) og renovationsvogn (th). Figuren illustrerer dels den markante forskel mellem driftsmønsteret for en bus og en renovationsbil, dels vanskeligheden ved at montere filtre på renovationsbiler, hvor udstødningstemperaturen sjældent eller aldrig kommer op i det nødvendige område omkring 250-300°C.

En anden vigtig erfaring er, at motoren skal være fornuftig vedligeholdt, før man monterer et partikelfilter. Det er måske fristende at sætte et partikelfilter på en vogn, som forurener meget, så er problemet jo løst – men kun for en tid! Et partikelfilter kan ikke håndtere *meget store* mængder sod og vil blive tilstoppet og ødelagt efter nogle få timers kørsel. Man skal derfor ikke glemme sit vedligehold, heller ikke efter filteret er monteret. Som minimum bør man sikre, at motoren overholder opacitetsværdien, som anvendes ved periodisk syn, dvs.  $2,5 \text{ m}^{-1}$  for sugemotorer og  $3,0 \text{ m}^{-1}$  for turbomotorer målt uden, eller før, filteret. Mange filterfabrikanter vil endda kræve endnu lavere værdier. Typisk vil en motor, der overstiger disse værdier, have behov for udskiftning af indsprøjtningssdyser og/eller reovering/justering af indsprøjtningssumpen.

Efter filteret bør opacitet-værdien ikke overstige  $0,2 \text{ m}^{-1}$ , ellers er filteret formentlig beskadiget. Erfaringen fra Odense er desuden, at det er en god ide at have en alarm ved for højt udstødningsmodtryk, som indikation for at filteret er tilstoppet og risikerer at blive ødelagt, idet opacitetsmålingen først giver information, når filteret *er* beskadiget.

Service og vedligehold på filtrene er i princippet begrænset til, at filtrene skal støvsuges og vendes ca. 1 gang hvert år for at fjerne aske og andre uforbrændte stoffer, som ellers ville stoppe filteret. Denne operation tager, med de nuværende arbejdsrutiner, 1-3 timer pr. filter.

På nogle køretøjer har det vist sig nødvendigt at vende filtrene meget oftere. Dette skyldes enten, at motoren udsender flere partikler, end filteret er dimensioneret til, eller at driftsmønsteret ikke giver mulighed for tilstrækkelig afbrænding af partikler under daglig drift.

Det første år i Odense-projektet har tidsforbruget været væsentligt højere end blot almindelig service, hvilket dels skyldes børnesygdomme med filtrene, og dels problemer med anpassning mellem filtre og køretøj. Omkring halvdelen af alle filtre i Odense har været berørt af garanti-



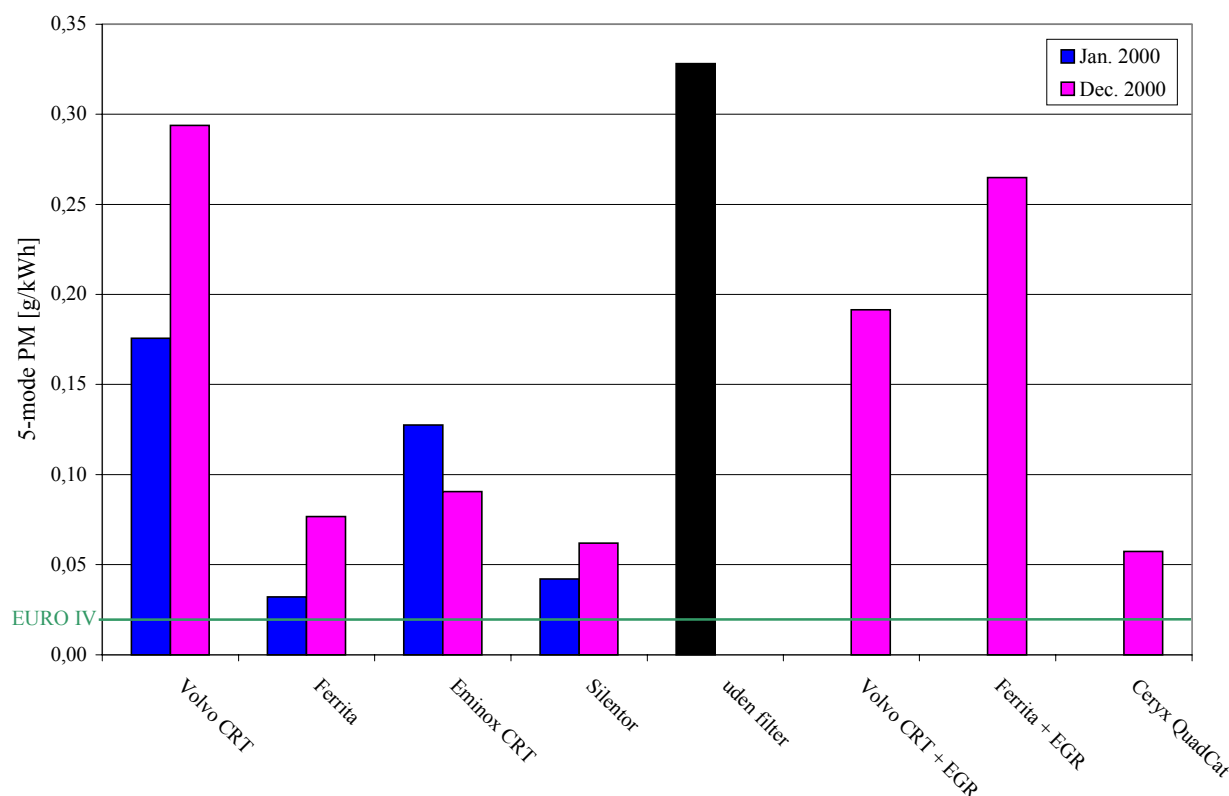
reparationer, eller er udskiftet, som konsekvens af problemer konstateret på tilsvarende filtre. De typiske skader er dårlige svejsninger, utætte rørforbindelser og løs isolering.

### Miljømæssige effekter

I Odense-projektet gennemfører Teknologisk Institut en serie målinger for hver enkelt filtertype, som skal belyse filtrenes rensningsgrad, når det gælder partikler, ultrafine partikler, NO<sub>x</sub> (herunder NO<sub>2</sub>), HC og CO. Målingerne udføres ved projektets start og efter henholdsvis 1 og 2 års drift, og rapporterne over emissionsmålingerne kan ses i helhed på Færdselsstyrelsens hjemmeside [1], [2].

Den forventede miljømæssige effekt er beskrevet i kravspecifikationen: ”filteret skal tilbageholde mindst 80% af partikelmassen målt gravimetrisk i fortyndingstunnel ifølge EØF 88/77 (stationær 13-mode test)”. I opfølgingsprojektet måles emissionerne på rullefelt i en 5-mode test, som med god tilnærmelse ligner 13-mode testen.

På figur 2 er vist de hidtidige resultater fra opfølgingsprojektet. Nogle teknologier er monteret i løbet af projektet, og blev derfor ikke afprøvet ved projektets start i januar 2000. Efter målingerne i december 2000 har Ferrita-filteret med EGR vist sig at være defekt, og Silentor-filteret har vist sig at have en mindre utæthed, men ellers vurderes resultaterne at være repræsentative for de i Odense anvendte teknologier.



Figur 2: Partikelemissionen målt i 5-mode test på rullefelt for forskellige filterteknologier. Søjlen mærket "uden filter" er samme bus som Silentor, blot målt uden filter i januar 2000. For sammenligningens skyld er vist Euro4 standarden. Euro3, som træder i kraft i 2001, kræver mindre end 0,10 g/kWh.



Målingerne på busserne i Odense viser, at filtrene, når de fungerer, kan overholde kravspecifikationen på 80% virkningsgrad. Undtagelsen er CRT-filtrene, som, når de har været i brug og derefter testes efter den beskrevne norm, giver høje partikelemissioner. Johnson Mattheys forklaring på fænomenet går i korte træk ud på, at sulfat, som dannes af svovl fra brændstoffet, lagres i wash-coaten i CRT-filtrets forkatalysator ved temperaturer under ca. 380°C og afgives ved temperaturer derover<sup>3</sup>. Partikelemissionen fra et CRT-filter er således både afhængig af, hvilken testcyklus, der måles over, hvilken konditionering, der evt. foretages inden testen, og, i mindre grad, svovlindholdet i brændstoffet. For den teknisk interesserede læser henvises til målerapporten fra januar 2000, hvor Johnson Mattheys forklaring er gengivet i sin helhed [1].

Færdselsstyrelsen har bedt Teknologisk Institut bestemme emissionerne fra et CRT-filter i prøvebænk, for at få en uafhængig vurdering af den "sande" virkningsgrad for CRT-filteret. Gentagne målinger på et brugt CRT-filter i prøvebænk har vist, at den minimale partikel-emission ligger i størrelsesordenen 0,06-0,07 g/kWh, hvilket er ca. det dobbelte af Johnson Mattheys seneste oplysninger, som forudser 0,03 g/kWh ved 50ppm svovl i brændstoffet [3]. For at opnå mindst 80% virkningsgrad (som var kravspecifikationen i Odense-projektet), skal dette filter altså være monteret på en motor med en partikelemission på mindst 0,33 g/kWh, svarende til Euro 0 eller Euro 1.

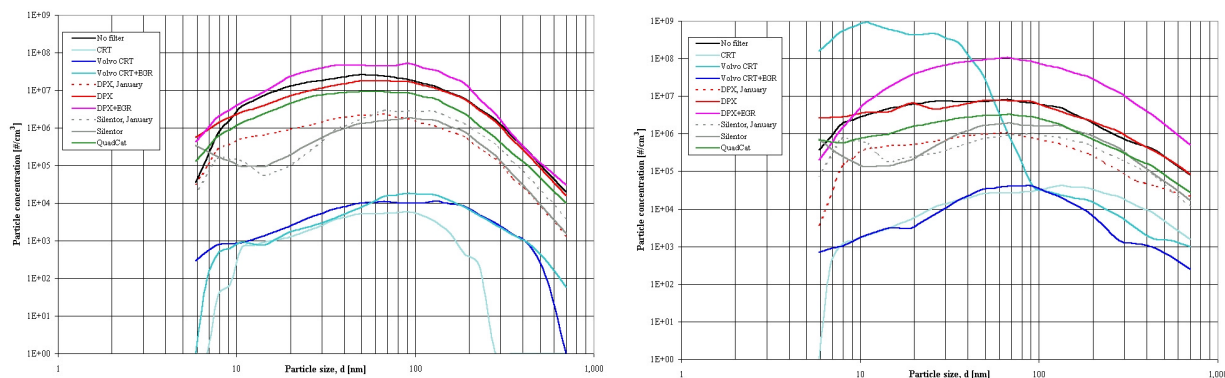
Resultaterne fra december 2000 giver anledning til nogen bekymring vedrørende holdbarheden af partikelfiltrene, idet de to filtre med den laveste partikelemission, Ferrita og Silentor, begge har fordoblet deres udslip i løbet af det første år og nu kun lige akkurat overholder kravspecifikationen på 80% virkningsgrad.

De katalytiske partikelfiltre, Johnson Matthey CRT og Engelhard DPX, medfører en ca. 4 gange forhøjet NO<sub>2</sub>-emission, idet disse filtre anvender NO<sub>2</sub> til regenerering af filteret. Omvendt giver de katalytiske filtre en reduktion af HC og CO.

I samarbejde med DMU har Teknologisk Institut også udført en række målinger af ultrafine partikler fra de forskellige filterteknologier [4]. Resultaterne viser, at velfungerende filtre reducerer partikelemissionen over hele størrelse fordelingsspektret og altså også fjerner de ultrafine partikler.

---

<sup>3</sup> Brændstoffets svovlindhold har i denne sammenhæng mindre betydning. Svovllagringsfænomenet ville optræde selv med 1 ppm svovl i brændstoffet, det ville blot tage længere tid inden wash-coaten var "mættet"



Figur 3: Emissionen af ultrafne partikler. Til venstre ved lav belastning og til højre ved høj belastning. Bemærk at begge akser er logaritmiske. På x-aksen ses partiklernes størrelse i nm, på y-aksen antallet af partikler pr  $\text{cm}^3$ .

CRT-filtrene, som giver den laveste emission af ultrafne partikler ved lav belastning, kan dog give meget høj emission af ultrafne partikler ved høj belastning. Dette forhold formodes at skyldes ovennævnte frigivelse af svovlpartikler ved høj udstødningstemperatur, som også medfører høj emission af partikelmassen målt i g/kWh.

### Økonomi i forbindelse med anskaffelse og drift

Det er på nuværende tidspunkt svært at sige noget definitivt om det naturlige prisniveau for partikelfiltre. I dag er de fleste systemer nærmest håndbyggede, og mange sælges til eftermontering, hvilket afspejler sig i prisen. Desuden er der kun begrænset konkurrence, og mange systemer sælges med en eller anden form for subsidiering, hvilket medvirker til at holde priserne oppe.

Som eksempel kan nævnes, at Færdselsstyrelsen har betalt i intervallet kr. 40.000-55.000,- excl. moms og montering for de ca. 125 partikelfiltre, der blev indkøbt til eftermontering i Odense-projektet, nogle enkelte filtre var endda dyrere. Et busselskab eller en vognmand giver, efter Teknologisk Instituts forespørgsler, typisk ca. kr. 30.000,- excl. moms i merpris for et originalt monteret partikelfilter i forbindelse med køb af et nyt køretøj.

På lidt længere sigt, dvs. frem mod 2005, hvor Euro4-kravene træder i kraft, vil partikelfiltre overgå til masseproduktion, konkurrencen vil tiltage, og priserne vil falde dramatisk. Teknologisk Institut vurderer, at partikelfiltre til OEM-leverance<sup>4</sup> vil komme ned i et prisniveau på omkring kr. 8.000,-. Til eftermontering forventes et prisniveau på ca. kr. 10.000 til 11.000.

I drift vil der være tale om begrænsede merudgifter ved anvendelse af partikelfiltre. Man kan forvente en svag stigning i brændstofforbruget ved anvendelse af partikelfiltre (1-2%), men i praksis viser så lille en stigning sig at være usynlig. Nogle filtre kræver tilsætning af et additiv

<sup>4</sup> OEM betyder "Original Equipment Manufacturer". OEM-leverance betyder således underleverance direkte til bus- og lastvognsproducenter.



til brændstoffet, og erfaringerne fra Odense viser, at denne udgift udgør ca. 5-10 øre/liter diesel<sup>5</sup>, som skal lægges oveni dieselprisen.

Endelig kræver alle filtre service, ofte begrænset til at filteret skal vendes og rengøres med mellemrum, og udgifterne i den forbindelse er begrænsede til nogle få værkstedstimer årligt.

I Odense-projektet har tidsforbruget til service og vedligehold dog været væsentligt større, hvilket primært skyldes børnesygdomme af forskellig art samt nogle problemkøretøjer, hvor driftsmønster eller vedligehold har gjort det vanskeligt at få partikelfiltrene til at fungere.

### **Den tværministerielle arbejdsgruppe**

Projektet har også bidraget til den arbejdsgruppe, Trafikministeren havde nedsat efter aftale med Miljø- og energiministeren, som skulle belyse mulighederne for at fremme udbredelsen af partikelfiltre til lastbiler og busser i Danmark. Arbejdsgruppen bestod af repræsentanter fra Finansministeriet, Miljø- og Energiministeriet, Skatteministeriet og Trafikministeriet. Færdselsstyrelsen varetog formandskabet og sekretariatsfunktionen for arbejdsgruppen, som afleverede sin rapport i juni 2001 [4].

Arbejdsgruppen vurderer, at forureningen med partikler fra dieseldrevne køretøjer primært er et problem i byerne, hvor dieselkøretøjerne bidrager med hovedparten af de ultrafine partikler. Det har imidlertid vist sig meget vanskeligt at kvantificere sundhedseffekterne, og som følge heraf er de samfundsøkonomiske vurderinger af at anvende partikelfiltre forbundet med meget stor usikkerhed.

Resultaterne af arbejdsgruppens analyser viser, at visse køretøjer (først og fremmest busser) allerede nu kan fungere relativt problemfrit med filtre, mens der med det nuværende teknologiske udviklingsniveau kan forventes driftsproblemer, når partikelfiltrene anvendes på køretøjer, hvor motoren normalt kører med lav belastning.

Med det nuværende teknologiske udviklingsniveau kan arbejdsgruppen ikke anbefale initiativer, der vil kræve, at køretøjsparken bredt skal udstyres med partikelfiltre. Dette betyder også, at arbejdsgruppen ikke på nuværende tidspunkt kan anbefale et krav om partikelfilter i forbindelse med etablering af miljøzoner i de største byer.

Hvis partikelfiltre skal introduceres i større stil forud for lovkravet for nye lastbiler og busser i 2006, så bør det ske ad frivillighedens vej, og i første omgang på de typer af køretøjer, hvor det rent teknisk kan ske relativt uproblematisk. Introduktionen af partikelfiltre vil kunne fremskyndes ved en støtteordning, som helt eller delvist dækker meromkostningen ved indkøb og montering af partikelfiltrene. En stor del af specielt bybusserne vil dog anvende partikelfiltre uden en tilskudsordning.

### **Referencer**

- [1] *"Emissionsmålinger ved projektstart"*, Teknologisk Institut og Danmarks Miljøundersøgelser, ([www.fstyr.dk](http://www.fstyr.dk)), maj 2000

---

<sup>5</sup> Silentor anbefaler 200ppm additiv tilsætning om sommeren og 400ppm om vinteren. På nogle problemkøretøjer er doseringen dog p.t. helt oppe på 1.000-1.100ppm. Odense Bytrafik oplyser, at additivet koster kr. 6.125,- for 20 kg.



- [2] *"Opfølgning på Færdselsstyrelsens storskalademonstrationsprojekt med partikelfiltre i Odense - Emissionsmålinger efter 1 års drift"*, Teknologisk Institut, ([www.fstyr.dk](http://www.fstyr.dk)), januar 2001
  
- [3] *"Måling af "sand" virkningsgrad på CRT-filtre"*, Teknologisk Institut, ([www.fstyr.dk](http://www.fstyr.dk)), maj 2001
  
- [4] *"Målinger af partikelfordelinger i udstødningsgassen fra bybusser fra Odense"*, Danmarks Miljøundersøgelser, Afdelingen for Atmosfærisk Miljø, februar 2001 (udkast til rapport)
  
- [5] *"Partikelfiltre på tunge køretøjer - Rapport fra arbejdsgruppe til belysning af mulighederne for at fremme udbredelsen af partikelfiltre til lastbiler og busser i Danmark"*, Færdselsstyrelsen, juni 2001