

MILJØMINISTERIET

Miljøstyrelsen

# Partikeludslip fra nye tunge køretøjer (Euronorm IV og V)

Jørgen Jordal-Jørgensen, Anne Ohm og Eva Willumsen

COWI A/S

Arbejdsrapport fra Miljøstyrelsen **Nr. 4** 2008

Miljøstyrelsen vil, når lejligheden gives, offentliggøre rapporter og indlæg vedrørende forsknings- og udviklingsprojekter inden for miljøsektoren, finansieret af Miljøstyrelsens undersøgelsesbevilling.

Det skal bemærkes, at en sådan offentliggørelse ikke nødvendigvis betyder, at det pågældende indlæg giver udtryk for Miljøstyrelsens synspunkter.

Offentliggørelsen betyder imidlertid, at Miljøstyrelsen finder, at indholdet udgør et væsentligt indlæg i debatten omkring den danske miljøpolitik.

# Indhold

<b>FORORD</b>	<b>5</b>
<b>1 SAMMENFATNING</b>	<b>7</b>
1.1 BAGGRUND OG FORMÅL	7
1.2 UNDERSØGELSEN	7
1.3 PROJEKTRESULTATER OG HOVEDKONKLUSIONER	7
<b>2 SUMMARY AND CONCLUSIONS</b>	<b>13</b>
2.1 BACKGROUND	13
2.2 THE SURVEY	13
2.3 RESULTS AND CONCLUSIONS	15
<b>3 INDLEDNING</b>	<b>17</b>
3.1 BAGGRUND	17
3.2 FORMÅL	17
3.3 RESULTATER	17
<b>4 FREMGANGSMÅDE</b>	<b>19</b>
4.1 BRUTTOLISTE AF LITTERATUR	19
4.2 SCREENING AF LITTERATUREN	19
4.3 ANALYSE OG EMISSIONSVURDERING	20
<b>5 MÅLEMETODER OG DERES BETYDNING</b>	<b>21</b>
5.1 INDLEDNING	21
5.2 MASSE, ANTAL OG OVERFLADE	21
5.3 ENHEDER FOR OPGØRELSEN	22
5.4 MÅLEMETODER	22
5.5 VÆSENTLIGSTE USIKKERHEDSPARAMETRE	23
<b>6 LITTERATURSTUDIE</b>	<b>25</b>
6.1 KONTAKTPERSONER	25
6.2 LITTERATURSØGNING	25
6.3 SCREENING AF KILDER	27
6.4 GENNEMGANG AF DE UDVALGTE KILDER	28
6.5 SAMMENFATNING	37
<b>7 EMISSIONSVURDERINGER</b>	<b>39</b>
7.1 VALG AF METODER, DATA OG ANTAGELSER	39
7.2 EMISSIONSBREGNINGER	39
<b>8 KONKLUSIONER</b>	<b>43</b>
<b>BILAG A: LITTERATURSØGNING</b>	<b>45</b>
<b>BILAG B: MÅLEMETODER</b>	<b>49</b>
<b>BILAG C: LITTERATURANALYSE</b>	<b>51</b>
<b>BILAG D: BRUTTOLISTE AF LITTERATUR</b>	<b>75</b>

BILAG D: FORKORTELSER	81
BILAG E: LITTERATURSCREENING	83

# Forord

I forbindelse med vedtagelsen af lovforslaget om miljøzoner i december 2006 har miljøministeren tilkendegivet, at hun senest med udgangen af 2007 vil oversende en rapport til Folketingets Miljø- og Planlægningsudvalg om relevant viden om partikeludslip fra tunge køretøjer med Euronorm IV og V. Rapportens konklusioner er vigtige for vurdering af en eventuel revision af de krav der stilles i Miljøzonenloven (L39) fremover.

Miljøstyrelsen har derfor iværksat et litteraturstudie. I studiet ønskes data for partikeludslippet samt for det direkte udslip af NO<sub>2</sub> fra tunge køretøjer med Euronorm IV og V indsamlet og dokumenteret i rapporten. Endvidere ønskes værdierne for udslip af NO<sub>2</sub> og partikels antal og masse samt eventuel størrelsesfordeling vurderet, samt usikkerheden på disse. På denne baggrund skal der gives en anbefaling af de mest retvisende værdier.

Miljøstyrelsen har anmodet COWI om at gennemføre et sådant litteraturstudie. Denne rapport indeholder afrapporteringen af studiet.



# 1 Sammenfatning

## 1.1 Baggrund og formål

Miljøzonenloven giver kommunerne mulighed for at indføre miljøzoner, hvor der stilles krav om partikelfilter på tunge køretøjer med Euronorm III og ældre<sup>1</sup>. Indførelsen af Euronorm IV og V har reduceret lastbilers partikeludslip med 80 % baseret på massen af partikler. Der er imidlertid betydelig usikkerhed på effekten på antallet af ultrafine partikler, da dette ikke er reguleret via Euronormen.

I forbindelse med vedtagelsen af lovforslaget om miljøzoner i december 2006 tilkendegav miljøministeren, at hun senest med udgangen af 2007 ville oversende en rapport til Folketingets Miljø- og Planlægningsudvalg om relevant viden om partikeludslip fra tunge køretøjer med Euronorm IV og V.

Miljøstyrelsen har til dette formål fået udarbejdet et litteraturstudie, der belyser dette. Formålet med litteraturstudiet er at skabe et overblik over nyeste viden med hensyn til data for partikeludslippet samt for det direkte udslip af NO<sub>2</sub> fra tunge køretøjer med Euronorm IV og V. På basis af data for værdierne for udslip af NO<sub>2</sub> og partiklernes antal og masse samt eventuel størrelsesfordeling, samt vurdering af usikkerheden på disse data, skal der gives en anbefaling af de mest retvisende værdier.

## 1.2 Undersøgelsen

Der blev opstillet en bruttoliste af i alt 11 kontaktpersoner, som blev kontaktet pr. e-mail, hvori de blev anmodet om at fremsende litteratur vedrørende udslip af NO<sub>2</sub> og partikler fra tungekøretøjer og busser med Euronorm IV og V, herunder om muligt mængde, antal og fordeling på størrelse. Der indkom i alt ca. 60 titler om beslægtede emner, som blev screenet ud fra kriterier om, at de direkte skulle omhandle Euronorm IV og V, tunge køretøjer og partikler og/eller NO<sub>2</sub>. Kun tre kilder opfyldte disse kriterier. Disse tre dannede grundlag for vurderinger af værdier for udslip af NO<sub>2</sub> og partikels antal og masse.

## 1.3 Projektresultater og hovedkonklusioner

### 1.3.1 Kildegrundlag

De tre udvalgte kilder var:

- R. Carbone, et al. (2005): Fuel effects on the characteristics of particle emissions from advanced motors and vehicles. CONCAWE Fuels quality and Management Group. January 2005.

---

<sup>1</sup> Fra 1. juli 2008 gælder loven kun Euro II og ældre. Fra 1. juli 2010 kommer Euro III med.

- Andreas Mayer et al (2007). *Nanoparticle-Emission of EURO 4 and EURO 5 HDV Compared to EURO 3 With and Without DPF*. January 2007.
- Magdi Khair, Chris Sharp & Imad Khalek(2005). *Characterization of Nanoparticles from a 2010-Type Heavy-Duty Diesel Engine*. Southwest Research Institute. August 2005

Rapporten fra R. Carbone er en del af afrapporteringen fra "Particulates" projektet. Particulates-projektet og Andreas Mayer's undersøgelser var allerede inden litteratursøgningen kendt af Miljøstyrelsen og indgik i de vurderinger, der lå bag besvarelsen af en række spørgsmål fra Folketinget i forbindelse med behandlingen af miljøzonenloven. Da litteratursøgningen har omfattet forespørgsler hos en lang række kendte eksperter inden for området, vurderes det, at der fortsat ikke foreligger megen information om udslip af ultrafine partikler fra tunge køretøjer med Euronorm IV og V.

Ny viden er dog under udarbejdelse. Prof. Stefan Hausberger, TU Graz, Austria har oplyst, at man i samarbejde med Empa, Schweiz, er i gang med et projekt vedrørende udslip fra EURO IV and V, hvor der vil blive gennemført målinger af partikelantal på tre tunge køretøjer med Euro IV og Euro V.

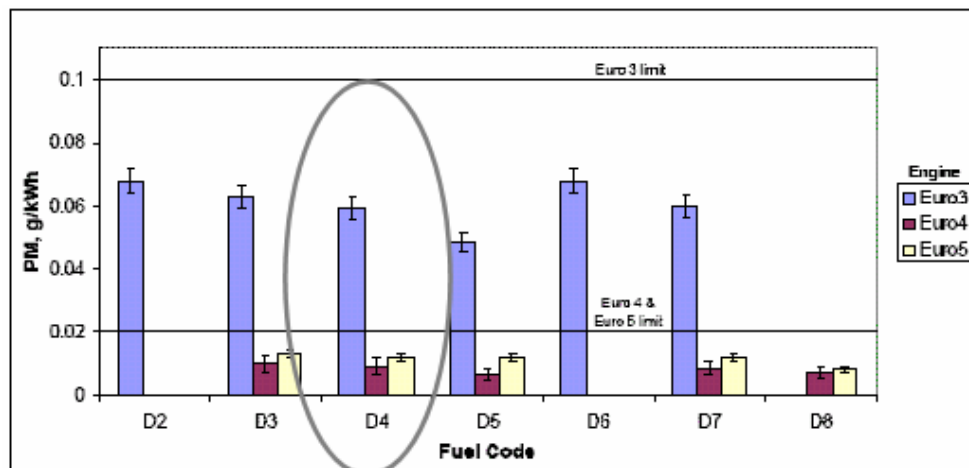
### 1.3.2 Particulates-projektet

I rapporten fra 'Particulates' projektet er formålet at vurdere brændselseffekter på emissioner fra nye motorer/køretøjers teknologier. Der blev testet på tre motorer for syv forskellige typer brændstof. EURO-III motoren var en eksisterende markedsteknologi, mens "Euro IV" og "EURO V" endnu ikke var på markedet og derfor blev udviklet til formålet. Til prototypen EURO-IV blev der anvendt et kombineret system af EGR med CRT (dvs. med filter), og til prototypen EURO-V blev der anvendt SCR-urea med motortilpasning (dvs. katalysator) for at optimere udslip af NO<sub>x</sub>/PM. Den testede prototype for EURO IV svarer til de forventninger man på daværende tidspunkt havde til teknologien EURO IV, som dog ikke viste sig at blive virkelighed og derfor ikke er karakteristisk for de EURO IV-køretøjer, der er på markedet i dag.

Der blev målt på partikelmassen (PM), samt det totale antal partikler, overfladeareal, antal kulholdige partikler og størrelsesfordelingen af partikelemissionerne, og der blev testet ved DPF (filter) og andre efterbehandlingsteknologier.

Med hensyn til PM blev der målt markant mindre mængder emissioner for Euro IV (EGR med CRT) og EURO V end for Euro III. Figuren nedenfor illustrerer resultaterne for de forskellige brændstoffer. I Danmark anvendes udelukkende D4, dvs. brændstof med mindre end 10 ppm svovl.

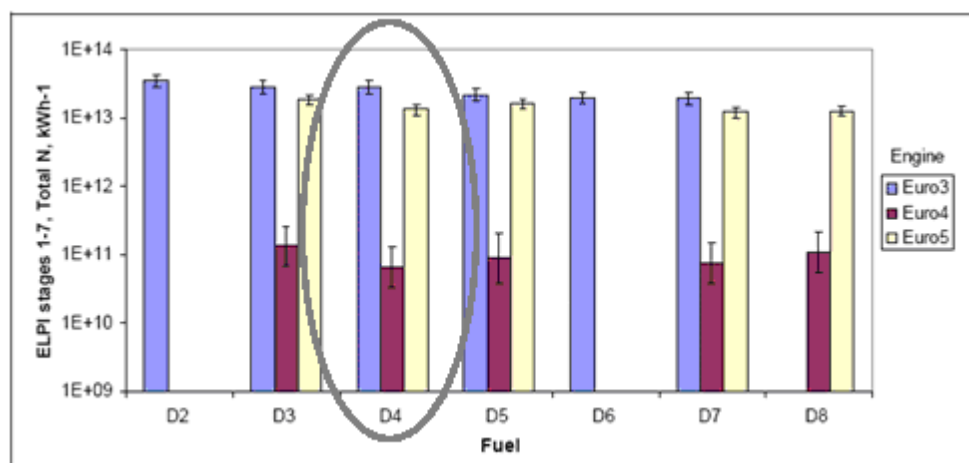




Figur 1-1 PM emissioner med ESC (mængde)  
 Bemærk:: "Euro 4" er en prototype, der svarer til EURO III med fil ter.  
 Kilde: R. Carbone, et al.(2005).

Det fremgår, at partikelmængden blev reduceret markant. Et lignende resultat blev opnået med ETC kørecyklus.

Disse resultater blev, jf. nedenstående figur, ikke reflekterede i partikelantallet, hvor der ikke blev opnået samme markante reduktioner. Størst reduktion af antal partikler ses for prototypen EURO IV, som imidlertid som nævnt ikke kom på markedet.



Figur 1-2 Samlet antal partikler, ELPI stages 1-7 (30-1000nm) + thermo-  
 nuder. ESC  
 Bemærk:: "Euro 4" er en prototype, der svarer til EURO III med fil ter.  
 Kilde: R. Carbone, et al.(2005).

EURO V med SCR/urea gav op til 70 % færre faste (carboneous) partikler end EURO III. Ved høj belastning gav EURO V med SCR/urea dog udslip af flere partikler end EURO III.

Det vurderes, at der blev anvendt anerkendte metoder, kørecyklus'er mv., og resultaterne vurderes at være robuste med hensyn til EURO V. Derimod er de ikke repræsentative for EURO IV, da den anvendte prototype ikke er kommet på markedet.

### 1.3.3 Andreas Mayer

I Andreas Mayers arbejde undersøges nanopartikel-emissioner fra Euro IV og V lastbiler sammenlignet med Euro 3 lastbiler med/uden DPF (partikelfilter). Formålet med undersøgelsen var at svare på om reduktion af partikelmassen (målt i vægt) automatisk reducerer antallet af partikler. Der blev testet emissioner fra tre moderne køretøjer:

- En HDV motor der opfylder EURO-IV (PM-Kat)
- En motor der opfylder EURO-V (med SCR)
- En motor der opfylder EURO-III med/uden VERT certificeret DPF (filter)

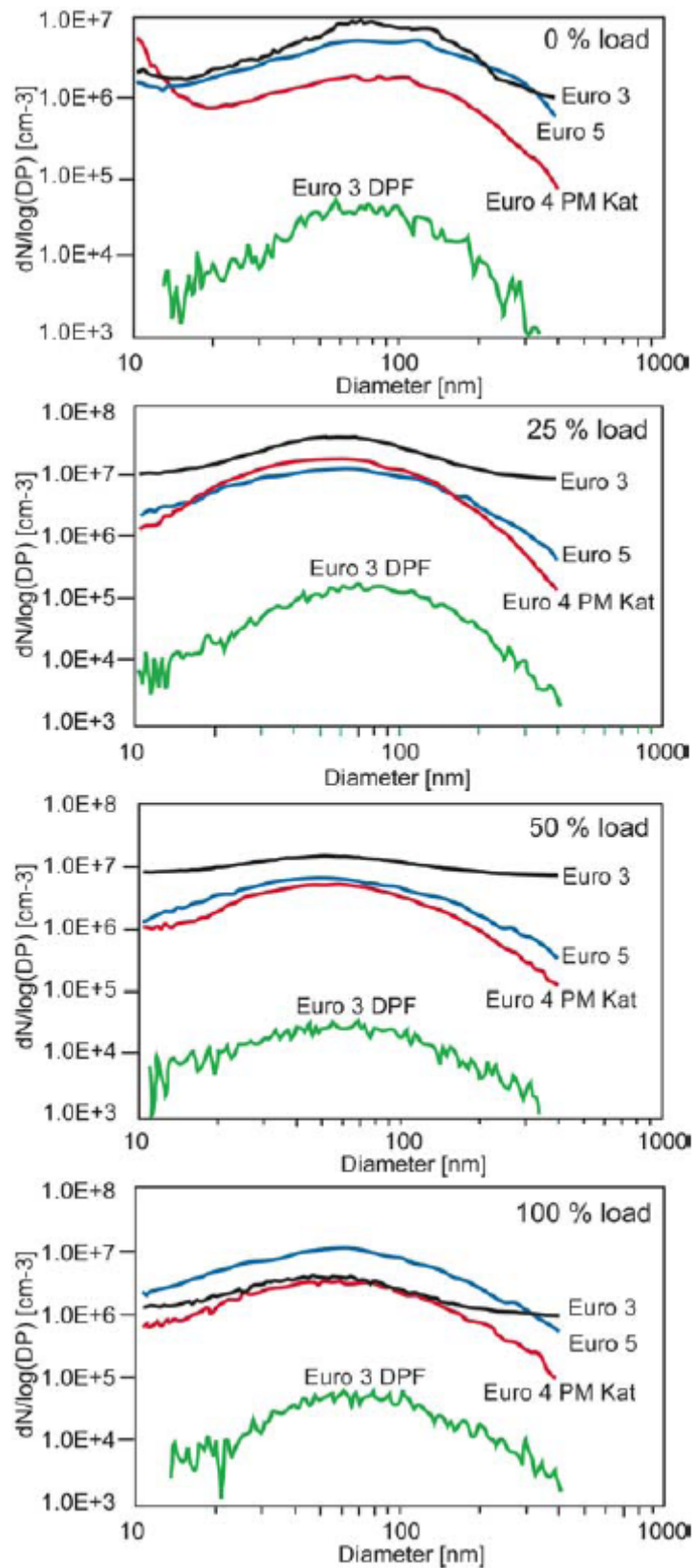
Undersøgelsen fokuserer på nanopartikler (10-400nm) og tester distributionen, massen og mængden af nanopartikler. Det blev desuden målt på metalliske emissioner og sekundære emissioner, specielt  $\text{NO}_2$  og  $\text{NH}_3$ . Der anvendtes SMPS og ELPI til fastlæggelse af størrelsesfordeling og PASS til sodmåling. Prøveudtagningen blev foretaget i overensstemmelse med PMP.

Der blev målt ved stabilt køremønster (steady state), tilnærmelsesvist efter ESC kørecyklus, dog blev der målt flere gange ved lave belastninger (load).

Der blev for EURO-IV med PM-kat og EURO-V med SCR observeret en moderat reduktion af antallet af nanopartikler i forhold til EURO-III uden DPF for 0 %, 25 % og 50 % belastning). Ved fuld belastning (100 %) udledte EURO-V dog flere partikler end EURO-III uden DPF filter.

Sammenlignet med en EURO-III med DPF, der opfylder VERT kriterier, udledte Euro IV og Euro V motorerne 100-500 gange flere nanopartikler.

I figurerne nedenfor er vist hovedresultaterne fra undersøgelsen. De fire figurer viser resultater fra belastninger med henholdsvis 0 %, 25 %, 50 % og 100 %.



Kilde: Andreas Mayer et al (2007).

Figur 1-3 Emissions of ultrafine particles in the nano-scale range at 1400 rpm at different loads of all 4 test candidates (with SMPS and PMP-sampling)

I de tre første figurer, dvs. med 0 %, 25 % og 50 % ligger Euro III uden filter øverst, dvs. udslippet af nanopartikler er størst, mens Euro V i den sidste, dvs. med 100 % load, ligger øverst.

Der vurderes, at der er anvendt anerkendte og relevante målemetoder, herunder PMP.

#### 1.3.4 Magdi Khair

Formålet med Magdi Khair projektet er at udvikle 2010 Emission Control System (ECS) til tunge køretøjer baseret på EGR, SCR og CDPF<sup>2</sup> teknologier, evaluere effekter af brændstoffers svovlindhold og evaluere varigheden af ECS

Der beskrives en ESC kørecyklus i forhold til 'Transient' (FTP) kørecyklus og foretages ældning af HD motorer, og der måles NO<sub>x</sub> og PM. Indholdet af NO<sub>x</sub> er lavere ved ESC end 'Transient', omvendt er PM højere. NO<sub>x</sub> emissionen efter 200 timer er 0,27g/hp-hr (0,20 g/kWh) for transient, mens denne er 0 19g/hp-hr (0,14 g/kWh) ved ESC kørecyklus.

Efter 6000 timer er emissionen ved transient 0,24g/hp-hr (0,18 g/kWh), mens denne er 0,21g/hp-hr (0,15 g/kWh) ved ESC. PM er højere ved ESC cyklus end ved transient, idet denne er 0,008g/hp-hr (0,006 g/kWh) efter 200 og 6000 timer, mens transient er hhv. 0,005g/hp-hr (0,004 g/kWh) og 0,003g/hp-hr (0,002 g/kWh).

#### 1.3.5 Emissionsberegninger

Det er ikke muligt med den tilgængelige viden at beregne den samlede partikelmængde, idet data ikke tillader det. Som et approximativt skøn er i stedet beregnet hvor meget Euro IV og V reducerer partikelantallet ud fra en gennemsnitbetragtning over de forskellige partikelstørrelser. Dette muliggør en sammenligning af Euro IV og V med Euro III med hensyn til, hvor stor en reduktion af partikelantallet der kan opnås ved at forsyne Euro IV og V med partikelfilter. Det skal dog bemærkes at der ikke er tale om en vurdering af det *samlede* partikelantal.

De tre studier viser, at EURO V med SCR/urea teknologi, som antagelig vil blive den mest almindelige teknologi i de kommende år, kan reducere antallet af de ultrafine kulstofbaserede partikler med omkring 70% sammenlignet med EURO III uden filter. Dette er en betydelig reduktion, men stadig betydeligt ringere end teknologier med partikelfiltre, der kan reducere antallet af partikler med tæt på 100%.

Med hensyn til NO<sub>x</sub> emissionerne viser studierne, at SCR/urea teknologien er effektiv til at reducere både NO og de mere skadelige NO<sub>2</sub> emissioner. Mayers undersøgelse tyder på, at EURO IV med PM cat kan udlede markant mere NO<sub>2</sub> sammenlignet med en EURO V med SCR/urea teknologi.

---

<sup>2</sup> Hvis en katalysator er coated på diesel partikelfilterets overflade, kaldes filteret CDPF

## 2 Summary and conclusions

### 2.1 Background

The new Danish act on environmental zones allows local authorities to define zones where EURO III or older heavy duty vehicles should be equipped with a particulate filter. The introduction of EURO IV and V has reduced particulate emissions from heavy duty vehicles by approximately 80 % based on the mass of particles. There is, however, substantial uncertainty about the impact on the number of ultrafine particles, since they are not covered by Euronorm standards.

When passing the bill, the Danish Minister for the Environment of the time stated that all relevant knowledge about particle emission from heavy duty vehicles needed to be collected for subsequent publication.

To this end, the Danish Environmental Protection Agency (DEPA) commissioned a literature survey. The purpose of the the survey is to provide an overview of the latest knowledge in the field of particle emissions from heavy duty vehicles, with special focus on the average size of the particle emissions. Another objective of study is to analyse the direct emissions of NO<sub>2</sub> from heavy duty vehicles classified under EURO IV and V.

### 2.2 The Survey

The survey is based on the contributions of 11 persons, all of whom were contacted by email and asked to contribute relevant information and literature about NO<sub>2</sub> and particle emissions from heavy duty vehicles. The result was approximately 60 titles on related topics. The 60 articles were screened for relevance in terms of particle size, relevant Euronorm standards and NO<sub>2</sub>-emissions information. Only three articles were found to be relevant for the study. The three articles form the basis for the assessment of ultrafine particle emissions from EURO IV and V heavy duty vehicles.

The extensive literature survey only found three relevant studies:

- R. Carbone, et al. (2005): (CONCAWE/Particulates)
- Andreas Mayer et al (2007).
- Magdi Khair, Chris Sharp & Imad Khalek (2005).

The report by R. Carbone is part of the deliverables for the Particulates project, and Andreas Mayer's survey was known to DEPA already before the present study was initiated. However, since the literature retrieval involved a large number of well-known experts within the subject field, it is reasonable to assume that no new knowledge is available. However, new knowledge may be in the process of being accumulated. Prof. Stefan Hausberger, TU Graz, Austria informed the project team that TU Graz together with Empa in Switzer-

land are working on a project on ultrafine particulate emissions from EURO IV and V heavy duty vehicles.

### **2.2.1 R. Carbone, et al. (2005): (CONCAWE/Particulates)**

The purpose of the Particulates project was to estimate the fuel impact on particle emissions from new engines and technologies. The project measured emissions from three types of engines with several types of fuel. The EURO IV and V technologies were prototypes. These technologies were not at the market at the time of the measurements. The prototype EURO-IV was designed using a combination of EGR and CRT (i.e. with particulate filter). The solution may be less relevant today, since it never really gained a foothold on the market. The prototype EURO V was designed using a SCR-urea system and is expected to become the general solution in the future.

As part of the project, particle mass (PM) and total number of particles, particle surface area, number of carbonaceous particles and size distribution were measured.

The results of the measurements were that the particle mass was reduced substantially with EURO IV and V cleaning technologies.

In terms of number of particles, measurements showed that the EURO IV technology reduces the number of particles significantly. However, this was to be expected given the fact that the EURO IV cleaning technology applied in the study used a proper particle filter.

The EURO V SCR/urea reduction technology brought about a reduction of approximately 70 % in carbonaceous particles.

It is estimated that well-known state-of-the-art measurement methods, driving cycles etc. were applied. The results seem robust with respect to EURO V. However, this is not the case with EURO IV since the EURO IV prototype used in the study is not on the market today.

### **2.2.2 Andreas Mayer**

Emissions from three modern HD vehicles were investigated on a chassis dynamometer. One vehicle uses PM-Kat and meets EURO IV standards. The second one complies with EURO V standards and uses SCR. The third vehicle is a EURO III HDV which was tested with and without diesel particulate filter. The investigation focused on solid particles in the mobility size range of 10-400nm. The instruments used were SMPS, NanoMet, PASS and ELPI.

For the majority of operating points for EURO IV with PM-Kat and EURO V with SCR, a moderate reduction in nanoparticle emissions was observed compared to EURO III without DPF. However, at full load the EURO V engine emitted higher particle concentrations than a EURO III engine without DPF.

The gaseous emissions of the EURO V engine displayed low emissions. No deleterious effects were observed due to the SCR. The concentrations of  $\text{NH}_3$  and  $\text{NO}_2$  remained close to the detection limit. However, the EURO IV engine emitted rather high concentrations of  $\text{NO}_2$  at about half load range.

It is estimated that well-known state-of-the-art methods for measurements, driving cycles etc. have been applied

### 2.2.3 Magdi Khair

The Magdi Khair study is part of the "Advanced Petroleum Based Fuels" project the purpose of which is to develop a 2010 Emission Control System (ECS) for heavy duty vehicles based on EGR, SCR and CDPF<sup>3</sup> technologies.

The project measured particle and NO<sub>2</sub> emissions using ESC and FTP driving cycles. Measurements were conducted before and after aging of the HDV engines.

Emissions of NO<sub>x</sub> are lower by ESC driving cycles compared to FTP driving cycles. The opposite is the case for emissions of particles (by mass). NO<sub>x</sub> emissions after 200 hours are 0.27g/hp-hr (0.20 g/ kWh) for FTP whereas emissions are 0.19g/hp-hr (0.14 g/ kWh) applying the ESC driving cycle. After 6000 hours, the emissions by the FTP driving cycle is 0.24g/hp-hr (0.18 g/ kWh) while they are 0.21g/hp-hr (0.15 g/ kWh) applying the ESC driving cycle.

## 2.3 Findings and conclusions

The available data do not allow for an exact calculation of number and size of particle emissions. Instead, the study compares the reduction in number of particles compared to EURO III technology.

The three studies support the finding that EURO V with SCR/urea emission reduction system seems to reduce carbonaceous particles by up to 70% - and it will probably be the most common solution in the years to come. This is a considerable reduction, however, a significantly smaller reduction compared to technologies with particulate filters.

Regarding NO<sub>2</sub> emissions, the studies indicate that the SCR/urea technology is effective in terms of reducing NO<sub>x</sub> and NO<sub>2</sub>. On the other hand, EURO IV with PM cat emits substantially more NO<sub>2</sub> compared to the EURO V with SCR emission reduction system.

---

<sup>3</sup> If a catalytic converter is coated on the surface of the diesel particulate filter, the filter is calledCDPF





# 3 Indledning

## 3.1 Baggrund

I forbindelse med vedtagelsen af lovforslaget om miljøzoner i december 2006 har miljøministeren tilkendegivet, at hun senest med udgangen af 2007 vil oversende en rapport til Folketingets Miljø- og Planlægningsudvalg om relevant viden om partikeludslip fra tunge køretøjer med Euronorm IV og V. Rapportens konklusioner er vigtige for vurdering af en eventuel revision af de krav der stilles i Miljøzonenloven (L39) fremover.

Miljøzonenloven stiller krav om partikelfilter på tunge køretøjer med Euronorm III og ældre<sup>4</sup>. Indførelsen af Euronorm IV og V har reduceret lastbilers partikeludslip med 80-90 % baseret på massen af partikler. Der er imidlertid betydelig usikkerhed om effekten på antallet af ultrafine partikler, da dette ikke er reguleret via Euronormen. En nylig undersøgelse har vist, at udslippet af ultrafine partikler endog muligvis i visse køresituationer kan blive højere med Euronorm IV og V.

Miljøstyrelsen har fået til opgave et forestå udarbejdelse af rapporten og har anmodet COWI om at gennemføre et litteraturstudie, der belyser dette. I studiet ønskes data for partikeludslippet samt for det direkte udslip af NO<sub>2</sub> fra tunge køretøjer med Euronorm IV og V indsamlet og dokumenteret i rapporten. Endvidere ønskes værdierne for udslip af NO<sub>2</sub> og partikels antal og masse samt eventuel størrelsesfordeling vurderet, samt usikkerheden på disse. På denne baggrund skal der gives en anbefaling af de mest retvisende værdier.

## 3.2 Formål

Formålet med projektet er på grundlag af et litteraturstudie at skabe et overblik over nyeste viden med hensyn til data for partikeludslippet samt for det direkte udslip af NO<sub>2</sub> fra tunge køretøjer med Euronorm IV og V. På basis af data for værdierne for udslip af NO<sub>2</sub> og partiklernes antal og masse samt eventuel størrelsesfordeling, samt vurdering af usikkerheden på disse data, skal der gives en anbefaling af de mest retvisende værdier.

## 3.3 Resultater

Projektets resultater består af:

- Et litteraturstudium
- Anbefaling af de mest retvisende værdier for udslip af NO<sub>2</sub> og partikler (antal og masse samt eventuel størrelsesfordeling) fra tunge køretøjer med Euronorm IV og V.

Begge resultater er indeholdt i nærværende rapport.

---

<sup>4</sup> Fra 1. september 2008 gælder loven kun Euro II og ældre. Fra 1. juli 2010 kommer Euro III med.



# 4 Fremgangsmåde

## 4.1 Bruttoliste af litteratur

Der blev indledningsvist opstillet en bruttoliste af i alt 11 kontaktpersoner med ekspertviden inden for området. For nogle af disse var e-mail adressen kendt, mens denne for andre blev søgt over nettet via Google.

Disse eksperter blev kontaktet pr. e-mail, hvori de blev anmodet om at identificere og om muligt fremsende litteratur og data vedrørende udslip af NO<sub>2</sub> og partikler fra tungekøretøjer og busser med Euronorm IV og V, herunder om muligt mængde, antal og fordeling på størrelse.

Der blev modtaget mange og hurtige svar på forespørgslen, samt yderligere svar ved en rykkerprocedure. Nogle af eksperterne henviste til andre eksperter eller konferencer inden for området. I Bilag A er vist en kopi af den fremsendte standard-mail, samt en samlet liste over de eksperter som blev kontaktet i processen.

## 4.2 Screening af litteraturen

Da der ved litteratursøgningen indkom en stor mængde litteratur - i alt ca. 60 titler, viste det sig hurtigt nødvendigt at gennemføre en screening af litteraturen. Den første gennemgang tydede endvidere på, at der forelå meget få studier, der specifikt svarer på spørgsmålet om udledning af antal partikler fra køretøjer med Euronorm IV og V. Samtidig kunne det dog være svært at gennemskue ved ren skimning, da der var tale om meget teknisk præget litteratur.

### 4.2.1 Screeningskriterier

Der blev derfor opstillet en række screeningskriterier til udvælgelse af kilder til nærmere gennemlæsning. Kriterierne for udvælgelse af en artikel var følgende:

- Skal omtale Euronorm IV og V
- Skal omhandle tunge køretøjer
- Skal omhandle partikler og/eller NO<sub>2</sub>

Ud fra disse kriterier blev der udvalgt 12 kilder, hvor der blev foretaget en gennemlæsning og udarbejdet et kort referat af temaer og problemstillinger i kilderne.

På dette grundlag blev der foretaget en faglig vurdering af, hvilke kilder der skulle danne grundlag for det videre arbejde med at anbefale de mest retvisende værdier for udslip af NO<sub>2</sub> og partikler (antal og masse samt eventuel størrelsesfordeling) fra tunge køretøjer med Euronorm IV og V. Disse kilder blev derefter analyseret nærmere.

### 4.3 Analyse og emissionsvurdering

I vurderingen af kildernes opgørelser af udslip er det nødvendigt at inddrage, hvilke metoder der er anvendt i den pågældende undersøgelse. De forskellige målemetoder blev derfor gennemgået med henblik på at vurdere, hvilke forudsætninger der især har betydning for resultater af undersøgelser, hvor denne metode er anvendt.

Dernæst blev de udvalgte kilder gennemgået og vurderet, idet den anvendte målemetode og eventuelle forbehold blev taget i betragtning, og usikkerhederne forbundet med de enkelte resultater blev vurderet.

Resultaterne fra de forskellige kilder blev derefter sammenlignet, og på dette grundlag blev der givet anbefalinger med angivelse af resultaternes usikkerheder til værdier for udslip af NO<sub>2</sub> og partikler med antal og masse fra tunge køretøjer med Euronorm IV og V.

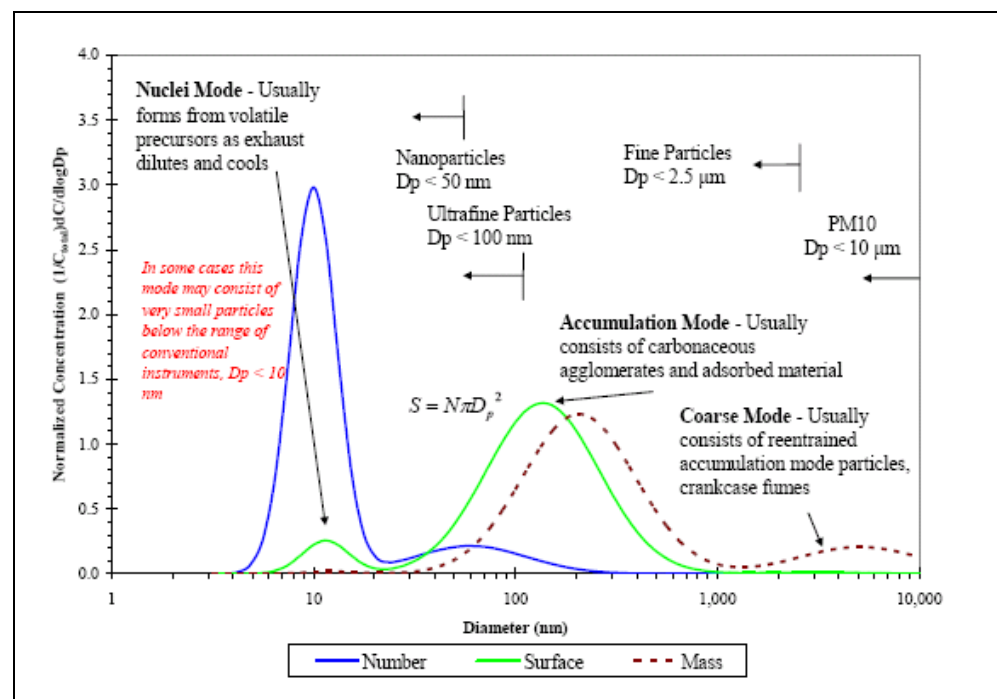
# 5 Målemetoder og deres betydning

## 5.1 Indledning

Undersøgelser af motorers og køretøjers udledning af partikelantal kan være udført ved anvendelse af forskellige målemetoder, og ved sammenligning af resultater fra forskellige kilder er det afgørende, at det tages i betragtning, hvilke målemetoder der er anvendt.

## 5.2 Masse, antal og overflade

Det er væsentligt at skelne mellem opgørelse af partikler efter masse (vægt) eller efter antal. I nedenstående figur er vist en typisk størrelsesfordeling af udstødningsgas, når der måles efter masse, antal og overflade.



Kilde: Kittelson, D., 2006

Figur 5-1: Typisk fordeling efter masse, antal og overflade.

### 5.3 Enheder for opgørelsen

Partikelantal ses oftest opgjort på én af følgende måder:

- Antal partikler pr.  $\text{cm}^3$  ( $\#/\text{cm}^3$ )
- Antal partikler pr. km ( $\#/\text{km}$ )
- Antal partikler pr. kWh ( $\#/\text{kWh}$ )

Enheden ( $\#/\text{cm}^3$ ) udtrykker antal partikler pr. kubikcentimeter luft og anvendes i forbindelse med den direkte måling af koncentrationen i udstødningen. F.eks. i laboratoriet, hvor et køretøj kører på et rullefelt, og partiklerne analyseres med et måleapparat, typisk efter fortynding. Det er således den grundlæggende observation.

For den pågældende måling anvendes et nærmere bestemt kørselsmønster (en køre-cyklus), i overensstemmelse med reguleringen på området.

Målingerne ( $\#/\text{cm}^3$ ), omregnes for motorer til tunge køretøjers vedkommende til  $\#/\text{kWh}$ , dvs. partikler pr. produceret kilowatt-time. For personbiler og varevogne angives antal partikler pr. kørt km ( $\#/\text{km}$ ), som altså ikke er relevant for nærværende sammenhæng.

Nogle kilder afrapporterer alene en størrelsesfordeling, andre det samlede antal.

### 5.4 Målemetoder

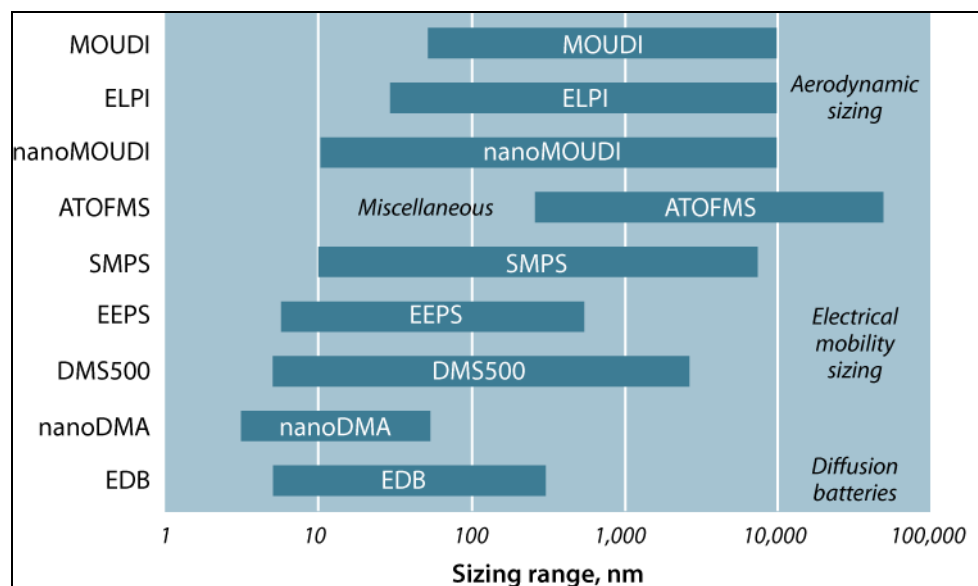
Der er en række forskellige målemetoder i brug til måling af partikelantal og størrelser.

Den mest anvendte metode til at måle antal af partikler (particle number concentration) er *condensation particle counter (CPC)*, også kaldet *condensation nucleus counter (CNC)*. En væsentlig faktor for vurderingen af opgørelser efter denne metode er, om målingen omfatter flygtige partikler eller ikke. Dette omtales nærmere nedenfor under væsentlige usikkerhedsparametre.

Med hensyn til partikelstørrelser og -fordeling anvendes en række andre metoder, hvor der overordnet kan skelnes mellem:

- aerodynamiske metoder
- electrical mobility analysers
- diffusionsbatterier

De forskellige metoder egner sig til målinger af forskellige størrelser partikler som vist i nedenstående graf.



Kilde: Burtcher og Majewski (2004).

Figur 5-2: Måleområde for målemetoder

Som det fremgår, kan ingen af metoderne/instrumenterne dække hele spektret af partikelstørrelser. Diffusionsbatterier dækker primært de mindste partikler, electrical mobility sizing lidt større partikler og aerodynamiske modeller de mellemstore og større partikler i det angivne spektrum. Det kan derfor være behov for at anvende mere end én metode, hvis størrelsesfordelingen for hele størrelsesspektret af dieselpartikler skal fastlægges.

En nærmere beskrivelse af de forskellige metoder er vist i Bilag B.

### 5.5 Væsentligste usikkerhedsparametre

Den væsentligste usikkerhedsparameter for resultaternes sammenlignelighed er den anvendte målemetode. Den nye standardiserede målemetode for partikelantal, udviklet i det såkaldte Particulate Measurement Programme (PMP)<sup>5</sup>, er designet til at adskille de flygtige partikler fra de øvrige ultrafine partikler. De flygtige partikler er partikler, der er kondenserede og består oftest af kulbrinter, vand og svovlforbindelser<sup>6</sup>. Disse kondenserede partikler forefindes ofte i stort antal. Da målinger af kondenserede partikler har vist sig vanskelige at reproducere, og da man især fokuserer på at opgøre de faste partikler, har man i PMP-protokollen besluttet helt at fjerne dem ved anvendelse af en opvarmet kondensations-enhed foran partikeltælleren. Målinger efter PMP målemetoden omfatter derfor ikke de flygtige partikler.

Forskellen på en opgørelse efter en målemetode, der baserer sig på PMP og én der ikke gør, kan let være en størrelsesorden eller to (faktor 10-100) til forskel, og om målingerne er udført med eller uden kondensation er derfor meget afgørende.

Dernæst har den anvendte kørecyklus stor betydning. I Europa anvendes oftest European Stationary Cycle (ESC) (jævnt køremønster) og European

<sup>5</sup> Om PMP programmet: Se UNECE (2007).

<sup>6</sup> Kilde Hansen (2007).

Transient Cycle (ETC) (varieret køremønster), der refererer til målinger under henholdsvis stabil hastighed og varieret hastighed, mens der f.eks. i USA oftest anvendes Federal Transient Procedure (FTP). Forskellen i måleresultater opnået med samme måleudstyr under forskellige kørecykler kan være i størrelsesordenen 50-100 %.

En anden væsentlig faktor, der kan spille ind ved sammenligning af resultater er det anvendte brændstof. De mest almindelige målemetoder og deres anvendelse er vist i Bilag B.



# 6 Litteraturstudie

## 6.1 Kontaktpersoner

Som nævnt i kapitel 3 blev der indledningsvist opstillet en bruttoliste af i alt 11 kontaktpersoner, som blev anmodet om at fremsende litteratur, data eller referencer vedrørende udslip af NO<sub>2</sub> og partikler fra tungekøretøjer og busser med Euronorm IV og V, herunder om muligt mængde, antal og fordeling på størrelse.

En del af disse kontaktpersoner henviste til andre eksperter, således at der i alt har været taget kontakt til ca. 20 personer. Den fulde liste af kontaktpersoner, deres kontaktdata og den fremsendte mail er vist i Bilag A. Heraf var der i alt 11 kontaktpersoner, som responderede i form af fremsendt litteratur, referencer eller yderligere kontaktpersoner. Det drejer sig om:

Michael Walsh, The International Council on Clean Transport (ICT)

Martin Nilsson og Lennart Erlandsson Air Quality, AVL-MTC

Andreas Mayer, TTM.

*Som udover eget arbejde henviste til*

- ETH-Nanoparticle conference [www.nanoparticles.ethz.ch](http://www.nanoparticles.ethz.ch)

- SCAQMD-conference on "DPF+DeNOx-Technologies" Los Angeles 2007

- Workshops of AFSSET in Paris, France September 2007

John Andersson, Ricardo.

Martin Mohr, PhD, Empa.

Stefan Hausberger, Graz University of Technology.

Dirk De Keukeleere og Guido Lenaers, VITO, Belgium.

Khair Magdi, South West Research Institute (SWRI)

Var på rejse.

Dirk Bosteels, Association for Emissions Control by Catalyst (AECC)

Enkelte af de kontaktpersoner, der ikke har responderet, kan alligevel være inkluderet som forfattere i litteraturstudiet, fordi andre har refereret til deres arbejde.

## 6.2 Litteratursøgning

Fra ovennævnte kilder blev der i alt indsamlet ca. 60 kilder. Den indkomne litteratur blev screenet og gennemgået som beskrevet i metodebeskrivelsen, dvs. screenet efter følgende kriterier:

- Skal omtale Euronorm IV og V
- Skal omhandle tunge køretøjer
- Skal omhandle partikler og/eller NO<sub>2</sub>

Der blev ud fra disse kriterier som nævnt udvalgt 12 kilder. Disse kilder er følgende:

- Andersson, J. et al (2004). *UN-GRPE PMP Phase 3 Inter-laboratory Correlation Exercise: Framework and Laboratory Guide*. Ricardo Consulting Engineers. Working paper. May 2004.
- Carbone, R. et al (2005). *Fuel effects on the characteristics of particle emissions from advanced motors and vehicles*. CONCAWE Fuels quality and Management Group. January 2005
- Goto, Y. et. al (2005). *Particles Emission from HD diesel vehicle with urea SCR Catalyst*. Environment Research Department. 9th ETH, Zürich, 16. august 2005
- Holm, O. (2006). *Erfaringer med partikelfiltre til lastbiler*. Dansk Transport og Logistik (DTL). Høring om SCR og partikelfilterkrav, Miljø- og Planlægningsudvalget, 21. November 2006.
- Khair, M. et al (2005). *Characterization of Nanoparticles from a 2010-Type Heavy-Duty Diesel Engine*. Southwest Research Institute. August 2005
- Kittelson, D.B. (2006). *Ultrafine Particle Emission & Control Strategies*. South Coast Air Quality Management District Conference on Ultrafine Particles: The Science, Technology, and Policy Issues. Centre for Diesel Research. April-May 2006.
- Lars Christian Larsen (2006). *Høring om SCR og partikelfilterkrav*. Dinex Emission Technology A/S. Høring om SCR og partikelfilterkrav, Miljø- og Planlægningsudvalget, 21. November 2006.
- Marjamäki, M. et al (2001). *Particulates - Characterisation of Exhaust Particulate Emissions from Road Vehicles. Deliverable 2: Vehicle exhaust, particulates characterisation, properties, instrumentation and sampling requirements*. CONCAWE, DG Tren, EU Commission, 2001.
- May, J. et al (2007). *The Application of Emissions Control Technologies to a Low-Emission Engine to Evaluate the Capabilities of Future Systems for European and World-Harmonised Regulations*. Ricardo Consulting Engineer & AECC, 2007
- Mayer, A. et al (2007). *Nanoparticle-Emission of EURO 4 and EURO 5 HDV Compared to EURO 3 With and Without DPF*. January 2007.
- Samaras, Z. et al (2005). *Characterisation of Exhaust Particulate Emissions from Road Vehicles (Particulates)*. 2005
- Thompson, N. et al (2004). *Overview of the European "Particulates" Project on the Characterization of Exhaust Particulate Emissions from*

For disse kilder blev der foretaget en gennemlæsning og udarbejdet et referat af temaer og problemstillinger i kilderne efter følgende hoveddisposition:

1. Angivelse af kilden som forkortet i litteraturlisten
2. Angivelse af kilden med fuld reference, dvs. forfatter(e), årstal, titel, udgivelsessted, udgiver, evt. tidsskrift (titel, udgave, side), evt. hjemmeside
3. Institutionel ramme for undersøgelsen (forskning, konsulentydelse, regeringsdokument, etc.)
4. Baggrund og formål med undersøgelsen
5. Den anvendte metode
6. Resultater og observationer
7. Validitet, usikkerhed og robusthed

Denne gennemgang af kilderne er vist i Bilag C. Kilder, som hurtigt viste sig ikke at være relevante, blev behandlet mere summarisk.

Den samlede liste af indsamlet litteratur er vist i Bilag D.

I Bilag E er litteraturscreeningen dokumenteret.

### 6.3 Screening af kilder

Gennemgangen viste, at selv om mange kilder beskæftiger sig med problemstillingen omkring partikeludslip på forskellige måder, var der kun ganske få kilder, som indeholdt undersøgelser af partikelantal og NO<sub>2</sub> i udslip fra tunge køretøjer udstyret med Euro IV og V. Disse kilder, som derfor danner grundlag for de efterfølgende analyser, er:

- R. Carbone, et al. (2005): Fuel effects on the characteristics of particle emissions from advanced motors and vehicles. CONCAWE Fuels quality and Management Group. January 2005.
- Andreas Mayer et al (2007). *Nanoparticle-Emission of EURO 4 and EURO 5 HDV Compared to EURO 3 With and Without DPF*. January 2007.
- Magdi Khair, Chris Sharp & Imad Khalek (2005). Characterization of Nanoparticles from a 2010-Type Heavy-Duty Diesel Engine. South-west Research Institute. August 2005

Rapporten fra R. Carbone er en del af afrapporteringen fra "Particulates" projektet. Particulates-projektet og Andreas Mayer's undersøgelser var allerede inden litteratursøgningen kendt af Miljøstyrelsen. Den eneste nye kilde er derfor Magdi Khair's arbejde. Da litteratursøgningen har omfattet forespørgsler hos en lang række kendte eksperter inden for området, er det derfor vurderingen, at der fortsat ikke foreligger megen information om udslip af ultrafne partikler fra tunge køretøjer med Euronorm IV og V.

Det skal samtidig bemærkes, at ny viden er under udarbejdelse, men hvor resultater endnu ikke foreligger. Prof. Stefan Hausberger, TU Graz, Austria

har således oplyst, at TU Graz i samarbejde med Empa, Schweiz er i gang med et projekt vedrørende udslip fra EURO IV and V og forventer at færdiggøre et udkast til rapport om omkring midten af december 2007. Der vil i forbindelse med projektet blive gennemført målinger af partikelantal på tre tunge køretøjer med Euro IV og Euro V. Foreløbige resultater der kan offentliggøres, foreligger ikke på nuværende tidspunkt.

#### 6.4 Gennemgang af de udvalgte kilder

##### 6.4.1 Particulates-projektet (2005)

###### Baggrund og formål

Denne kilde er:

R. Carbone, et al. (2005):

*Fuel effects on the characteristics of particle emissions from advanced motors and vehicles.* CONCAWE Fuels quality and Management Group. January 2005.

Projektet er gennemført af CONCAWE som en del af deres bidrag til DG TREN 'Particulates' konsortium.

Studiet vurderer brændselseffekter på emissioner fra nye motorer/køretøjers teknologier. Der blev testet på tre motorer (EURO-III til EURO-V teknologier) for syv forskellige typer brændstof.

EURO-III motoren var en eksisterende markedsteknologi, mens "Euro IV" og "EURO V" endnu ikke var på markedet og derfor blev udviklet til formålet.

Til prototypen EURO-IV blev der anvendt et kombineret system af EGR med CRT (dvs. med filter), og til prototypen EURO-V blev der anvendt SCR-urea med motortilpasning (dvs. katalysator) for at optimere udslip af NO<sub>x</sub>/PM. Resultaterne for "EURO IV" er mindre interessante i denne sammenhæng, da den testede prototype for EURO IV svarer til de forventninger man på daværende tidspunkt havde til teknologien EURO IV, som dog ikke viste sig at blive virkelighed og derfor ikke er karakteristisk for de EURO IV-køretøjer, der er på markedet i dag. Tekniske detaljer om motorerne er vist i nedenstående tabel:

Tabel 6-1: Specifikation af motor data EURO III, IV og V.

	<b>Euro-3</b>	<b>Euro-4</b>	<b>Euro-5</b>
<b>Certification level</b>	Production Euro-3	AVL prototype Euro-4	AVL prototype Euro-5
<b>Cylinders</b>	6	6	6
<b>Displacement (dm<sup>3</sup>)</b>	12	11	12
<b>Max Torque [Nm] @ rpm [min<sup>-1</sup>]</b>	2019 @ 1200	1865 @ 1200	1894 @ 1300
<b>Max Power [kW] @ rpm [min<sup>-1</sup>]</b>	300 @ 1800	300 @ 1900	300 @ 1800
<b>Valves per cylinder</b>	4	4	4
<b>Fuel injection equipment</b>	Unit injectors	Unit injectors	Unit injectors
<b>Aspiration</b>	TC	TC	TC
<b>EGR</b>	No	Cooled EGR	No
<b>Exhaust after-treatment</b>	None	CRT	SCR / urea

Kilde: R. Carbone, et al. (2005)

Ud over "sædvanlig" måling af partikelmassen (PM) blev der målt på det totale antal partikler, overfladeareal, antal kulholdige partikler og størrelsesfordelingen af partikelemissionerne. Der blev testet ved DPF (filter) og andre efterbehandlingsteknologier, hvilken virkning det har på partikelemissionerne.

#### Metode

Der skelnes mellem:

- Større partikler baseret på en kulstofkerne (på engelsk: accumulation mode particles eller carbonaceous particles). Langlivede, tørre, sammenkoblede partikler, typisk større end ca. 30 nm).
- Mindre partikler, der primært udgøres af kondenseret sulfat og kulbrinter (nucleation mode partikler). Nydannede partikler ud fra gasser, typisk mindre end ca. 30 nm. Under betingelser hvor kulstofemissionerne reduceres, er der en tendens til at sulfater og kulbrinter kondenserer selvstændigt, i stedet for at knytte sig til kulstofpartiklerne.

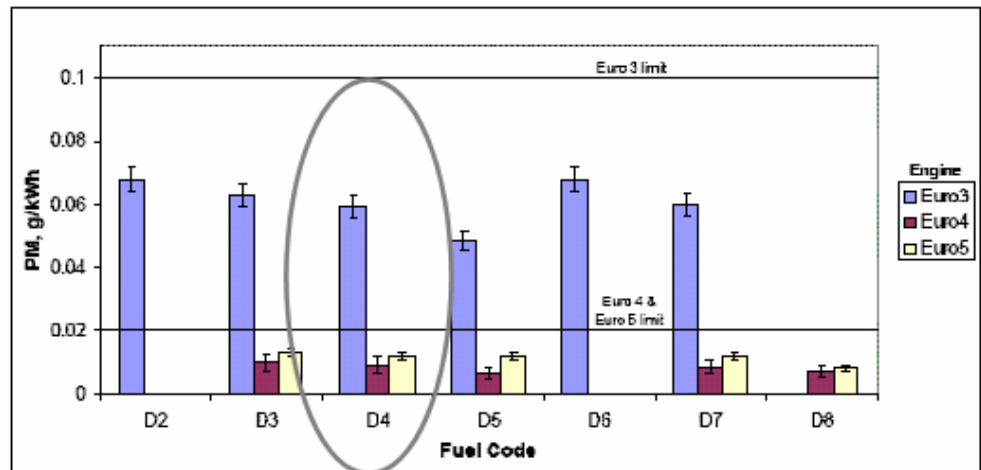
Et af formålene i Particulates projektet var at tilvejebringe en bedre forståelse af sidstnævnte, nucleation mode partiklerne. Disse partikler regnes for at være meget følsomme overfor testsituationer. Der blev derfor til dette formål udviklet en særlig teknik til måling begge typer partikler.

Der anvendtes legislative test cycles, ESC og ETC tests. Desuden anvendtes SMPS og DDMPS for steady state - og CPC, samt TrDMPS for "transient operation" ved mål af total antal partikler. Desuden målinger af finere partikler ved PM<sub>10</sub>-PM<sub>2,5</sub>, EURO-IV udstyres med DPF, mens EURO-V er med SCR.

## Resultater og observationer

Med hensyn til de "traditionelle" emissioner af partikelmasse, PM, blev der målt markant mindre mængder emissioner for Euro IV (EGR med CRT) og EURO V end for Euro III. Resultaterne for "EURO IV" er dog mindre interessante i denne sammenhæng, da den testede prototype for EURO IV svarer til de forventninger man på daværende tidspunkt havde til teknologien EURO IV, som dog ikke viste sig at blive virkelighed og derfor ikke er karakteristisk for de EURO IV-køretøjer, der er på markedet i dag.

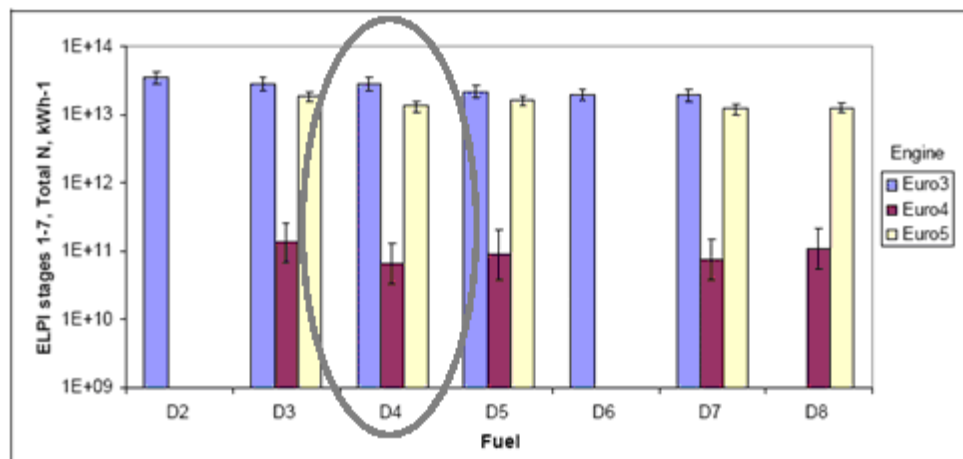
Resultaterne er illustreret i nedenstående figur for de forskellige brændstoffer. I Danmark anvendes diesel svarende til D4.



Figur 6-1 Partikelemission målt efter stationær kørecyklus (ESC). "Euro 4" er en prototype, der svarer til EURO III med fil ter. D4 er svovl fri diesel, som er den kvalitet der anvendes i Danmark. Kilde: R. Carbone, et al.(2005).

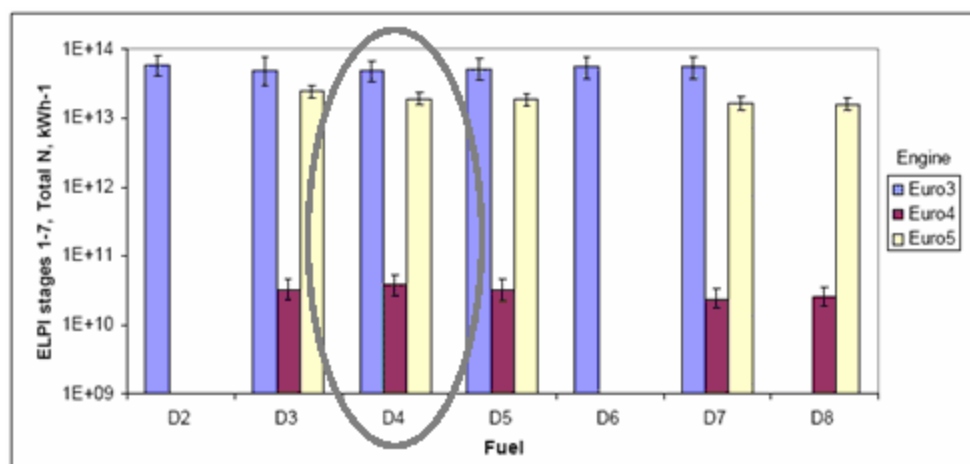
Det fremgår, at partikelmængden blev reduceret markant for alle brændstoffer, således også for D4. Et lignende resultat blev opnået med ETC kørecyklus.

Disse resultater blev imidlertid ikke reflekterede i partikelantallet. Antallet af partikler blev målt for både tørre faste (carbonaceous) partikler og for samtlige partikler (dvs. inklusive flygtige/nucleation mode partikler). De tørre partikler blev målt ved anvendelse af ELPI med thermodenuder (og dermed fjernelse) af flygtige partikler. Det er denne måling, der bedst kan sammenlignes med PMP metoden, og som derfor er refereret her. Undersøgelsen blev gennemført for både ESC og ETC (henholdsvis jævnt og varieret) køremønstre. Resultaterne er vist i figurene nedenfor:



Figur 6-2 Samlet antal partikler målt med ELPI (stages 1-7 (30-1000nm)) med thermonuder. (ESC).

"Euro 4" er en prototype, der svarer til EURO III med fil ter. D4 er svovl fri diesel, som er den kvalitet der anvendes i Danmark. Kilde: R. Carbone, et al.(2005).



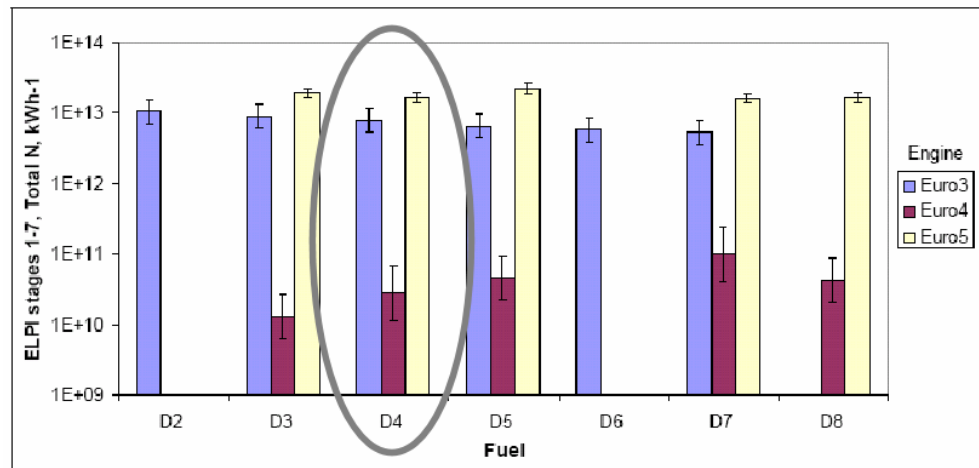
Figur 6-3 Samlet antal partikler målt med ELPI (stages 1-7 (30-1000nm)) med thermonuder, transient kørecyklus.

"Euro 4" er en prototype, der svarer til EURO III med fil ter. D4 er svovl fri diesel, som er den kvalitet der anvendes i Danmark. Kilde: R. Carbone, et al.(2005).

Som det fremgår ved sammenligning af disse to figurer med Figur 5.1 blev der ikke opnået samme markante resultater på antallet af partikler som på partikkelmassen. Mest markant reduktion af antal partikler set for prototypen EURO IV, der som nævnt ikke svarer til de EURO IV som siden er kommet på markedet.

EURO V med SCR/urea gav op til 70 % færre faste (carboneous) partikler end EURO III.

Ved høj belastning (kørecyklus SS3) gav EURO V med SCR/urea dog udslip af flere partikler end EURO III, hvilket fremgår af nedenstående figur:



Figur 6-4: Samlet antal partikler, ELPI stages 1-7 (30-1000nm) med thermotuder, kørecyklus SS3 (Kørecyklus med høj belastning) "Euro 4" er en prototype, der svarer til EURO III med filter. D4 er svovlfri diesel, som er den kvalitet der anvendes i Danmark. Kilde: R. Carbone, et al. (2005).

Arbejdet resulterede ifølge forfatterne samlet set i en klar demonstration af fordelene ved diesel-partikelfilter i kombination med brændstof med lavt svovlindhold på både partikelmasse og partikelantal. I Danmark indeholder diesel 10 ppm svovl svarende til brændstoftype D4.

#### Vurdering

Der er anvendt anerkendte metoder og testet for flere forskellige brændstoffer, kørecyklus'er mv., hvorfor resultaterne vurderes at være robuste - dog er de ikke repræsentative for EURO IV, da branchen har valgt en anden løsning end den prototype der er anvendt i de udførte forsøg.

Resultaterne med hensyn til EURO V er således relevante, mens resultaterne for EURO IV kan ses som et eksempel på den effekt, der vil kunne opnås, hvis partikelfilter var blevet anvendt som standardløsning til opfyldelse af Euro IV normen.

Der er ikke testet efter PMP, som ikke var udviklet på daværende tidspunkt, men målinger med ELPI kombineret med thermotuder vurderes at give sammenlignelige resultater.

#### **6.4.2 Andreas Mayer (2007)**

##### Baggrund og formål

Andreas Mayer har udgivet en række artikler, som er nævnt i litteraturlisten og har indgået i screeningen. Da de imidlertid bygger på samme grundlæggende data, er en enkelt - den nyeste - udvalgt til den videre gennemgang. Det er som tidligere nævnt:

Andreas Mayer et al (2007). *Nanoparticle-Emission of EURO 4 and EURO 5 HDV Compared to EURO 3 With and Without DPF*. January 2007. Se Bilag C med hensyn til nærmere data for udgivelsen.



Artiklen refererer som titlen siger til en undersøgelse af nanopartikel-emissioner fra Euro IV og V lastbiler sammenlignet med Euro III lastbiler med/uden DPF (partikelfilter).

EU lovgivningen stiller via Euro-normerne krav til emissionerne fra tunge køretøjer på grundlag af  $PM_{10}$ , som er et EU-mål fastlagt i 1982. Dette baserer sig på partikelmasse (vægt) og skelner ikke med hensyn til partikelstørrelse og kemisk sammensætning. Endvidere regulerer EU ifølge artiklen ikke sekundære emissioner, der resulterer af anvendelse af teknik til reduktion af partikler.

Formålet med undersøgelsen er et svare på om reduktion af partikelmassen (målt i vægt) automatisk, som det ifølge artiklen antages af EU, reducerer antallet af partikler/partikelkoncentrationen. For at belyse dette er der testet emissioner fra tre moderne køretøjer. Der i modsætning til Particulates tale om typogodkendte og kommercielt tilgængelige EuroIV og EuroV køretøjer - altså de teknologier vi ser på gaden i dag. Der er tale om

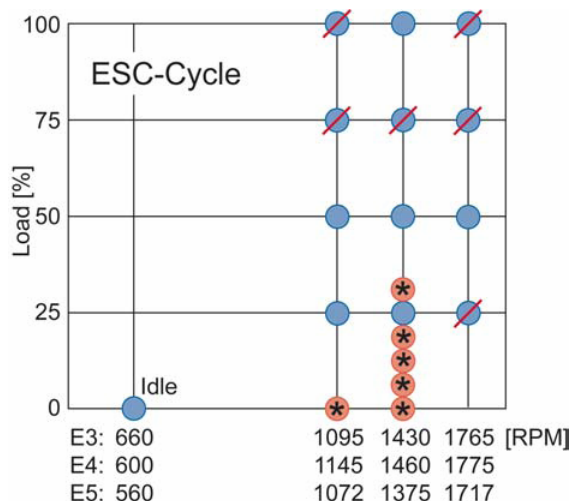
- En HDV motor der opfylder EURO-IV (PM-Kat)
- En motor der opfylder EURO-V (med SCR)
- En motor der opfylder EURO-III med/uden VERT certificeret DPF (filter)

Undersøgelsen fokuserer på nanopartikler (10-400nm) og tester distributionen, massen og mængden af nanopartikler. Det blev desuden målt på metalliske emissioner og sekundære emissioner, specielt  $NO_2$  og  $NH_3$ .

### Metode

Der anvendtes SMPS og ELPI til fastlæggelse af størrelsesfordeling. Som vist i Figur 5-2 dækker disse metoder lidt forskellige størrelsesspekter. PASS anvendtes til sodmåling. Desuden anvendtes NanoMet til at måle den samlede aktive partikeloverflade. Prøveudtagningen blev foretaget i overensstemmelse med PMP.

Der blev målt ved stabilt køremønster (steady state), tilnærmelsesvist efter ESC kørecyklus. Dog blev der målt flere gange ved lave belastninger (load) end normalt ved ESC for at opfange svage punkter i effektiviteten af SCR systemet (Euro V) og PM-Kat (Euro IV). Udvalgelse af målepunkter i forhold til ESC er illustreret i nedenstående figur:



Punkter med streg over blev valgt fra i Mayers undersøgelse  
Kilde: Andreas Mayer et al (2007).

Figur 6-5: Udvalgte målepunkter i forhold til ESC kørecyklus

#### Resultater og observationer

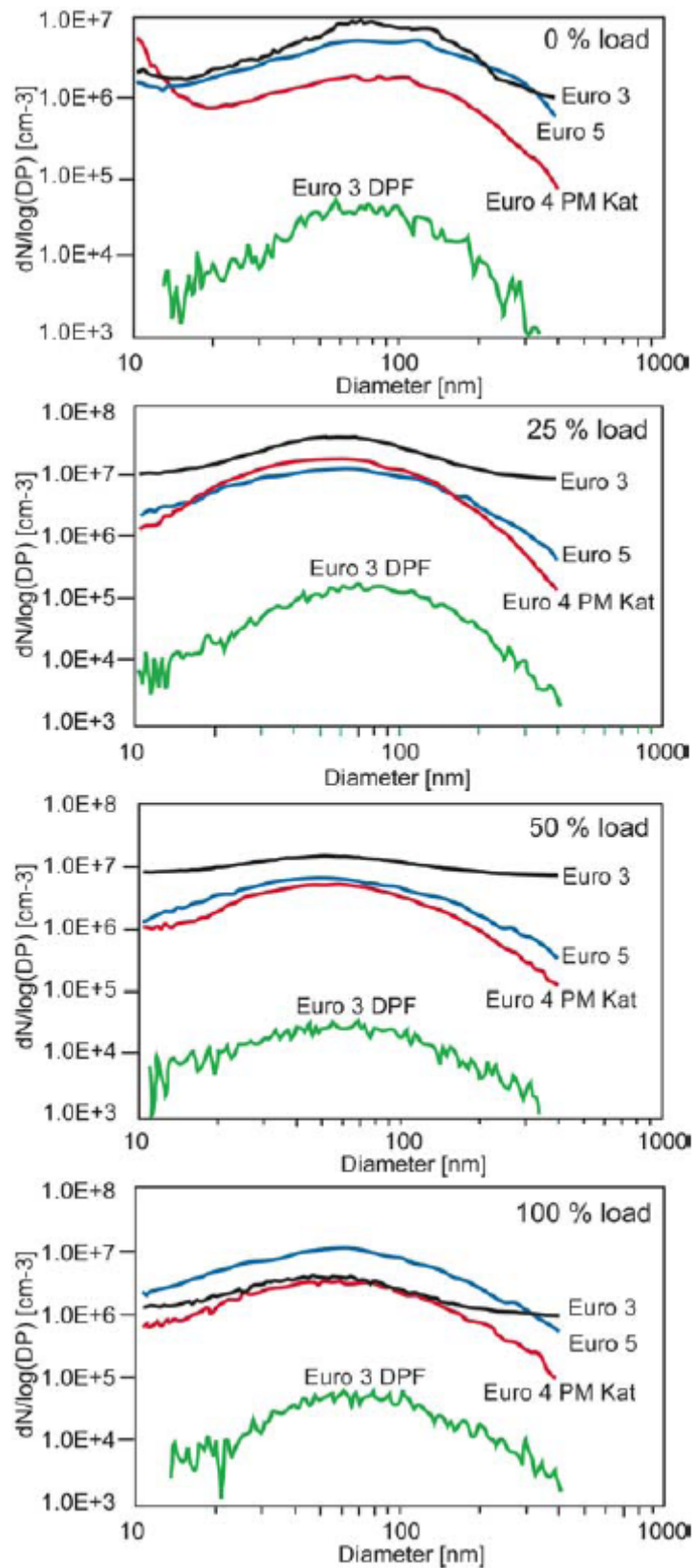
Undersøgelserne viste, at Euro IV og V gav en kraftig reduktion af emission af partikelmasse (PM) sammenlignet med Euro III, ved anvendelse af ESC kørecyklus, og meget kraftig reduktion af NOx.

- For EURO-IV med PM-kat og EURO-V med SCR blev observeret en moderat reduktion af antallet af nanopartikler i forhold til EURO-III uden DPF for 0 %, 25 % og 50 % belastning).
- Ved fuld belastning (100 %) udledte EURO-V dog flere partikler end EURO-III uden DPF filter.
- Sammenlignet med en EURO-III med DPF, der opfylder VERT kriterier, udledte Euro IV og Euro V motorerne 100-500 gange flere nanopartikler.
- Udstyres moderne motorer derimod med DPF vil emissioner i forhold til EURO-III uden DPF være reduceret til 0,1 %, dvs. partikkelkoncentrationen i udstødningen vil være lavere end i trafikerede omgivelser.

Målingerne viste således, at Euro IV og Euro V lastbilerne udledte markant flere partikler end Euro III med filter, men færre end Euro III uden filter, dog bortset fra målingerne ved 100 % belastning.

Målingerne af Euro V vurderes af Mayer et al at være robuste (reproducerbare) med meget lave afvigelser (standardafvigelser), mens Euro IV med PM-Kat målinger var meget følsomme over for måleomstændighederne, herunder sodmængden og tidligere målinger.

I figurerne nedenfor er vist hovedresultaterne fra undersøgelsen. De fire figurer viser resultater fra belastninger med henholdsvis 0 %, 25 %, 50 % og 100 %, jf. Figur 5.6.



Kilde: Andreas Mayer et al (2007).

Figur 6-6: Emissions of ultrafine particles in the nano-scale range at 1400 rpm at different loads of all 4 test candidates (with SMPS and PMP-sampling)

I de tre første figurer, dvs. med 0 %, 25 % og 50 % ligger Euro III uden filter øverst, dvs. udslippet af nanopartikler er størst, mens Euro V i den sidste, dvs. med 100 % load ligger øverst.

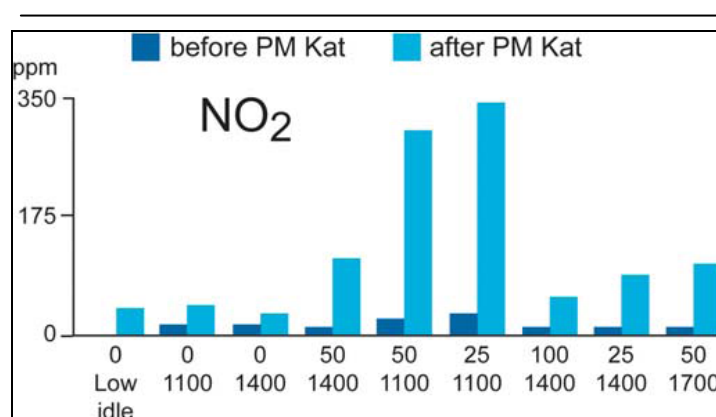
Som det fremgår ligger Euro III med VERT-filter markant under de øvrige målinger, dvs. forurener markant mindre med nanopartikler, svarende til en størrelsesorden 2 til 3 gange færre<sup>7</sup>.

Følgende tabel viser en opgørelsen af antal partikler modtaget fra Mayer:

Tabel 6-2: Antal partikler ved forskellige teknologier (antal/cm<sup>3</sup>)

	0 % load	25 % load	50 % load	100 % load
Euro 3 u/filter	9.28 E+06	4.31 E+07	1.81 E+07	5.34 E+06
Euro 3 m/filter	2.80 E+04	1.00 E+05	2.41 E+04	3.87 E+04
Euro 4 PM Kat	8.80 E+06	1.11 E+07	4.27 E+06	2.65 E+06
Euro 5 SCR	1.08 E+07	8.86 E+06	5.85 E+06	8.62 E+06

Udledning af NH<sub>3</sub> og NO<sub>2</sub> viste meget gode resultater for EURO-V, tæt på sporingsgrænsen. EURO-IV udledte derimod høje koncentrationer af NO<sub>2</sub> i området omkring 50 % belastning.



Kilde: Mayer et al (2007).

Figur 6-7: NO<sub>2</sub> emissioner fra Euro IV

### Vurdering

Der vurderes, at der er anvendt anerkendte og relevante målemetoder, herunder PMP der som beskrevet i kapitel 4 er afgørende for korrekte målinger af partikelantal.

### 6.4.3 Magdi Khair

#### Baggrund og formål

Denne kilde omhandler:

Magdi Khair, Chris Sharp & Imad Khalek (2005):  
*Characterization of Nanoparticles from a 2010-Type Heavy-Duty Diesel Engine.*  
 United States: Southwest Research Institute, Texas.

<sup>7</sup> Andreas Mayer et al (2007), s. 4.

Projektet er gennemført/artiklen er udgivet af: Southwest Research Institute. Projektet er sponsoreret af US Dept. of Energy og der er input fra bl.a. EMA (Engine Manufacturers Association) og MECA (Manufacturers of Emission Controls Association).

Formålet med projektet er, at:

- 1) udvikle 2010 Emission Control System (ECS) til tunge køretøjer baseret på EGR, SCR og CDPF (katalytisk diesel partikelfilter<sup>8</sup>) teknologier.
- 2) evaluere effekter af brændstoffers svovlindhold
- 3) evaluere varigheden af ECS

Der måles både på den europæiske ESC kørecyklus og på den amerikanske transiente FTP kørecyklus. Derudover foretages ældning af HD motorer og måles NO<sub>x</sub> og PM.

#### Resultater og observationer

Indholdet af NO<sub>x</sub> er lavere ved ESC end 'Transient', omvendt er PM højere. NO<sub>x</sub> emissionen efter 200 timer er 0,27g/hp-hr (0,20 g/ kWh) for transient, mens denne er 0,19g/hp-hr (0,14 g/ kWh) ved ESC kørecyklus.

Efter 6000 timer er emissionen ved transient 0,24g/hp-hr (0,18 g/ kWh), mens denne er 0,21g/hp-hr (0,15 g/ kWh) ved ESC. PM er højere ved ESC cyklus end ved transient, idet denne er 0,008g/hp-hr (0,006 g/ kWh) efter 200 og 6000 timer, mens transient er hhv. 0,005g/hp-hr (0,004 g/ kWh) og 0,003g/hp-hr (0,002 g/ kWh).

#### Vurdering

Resultaterne er temperaturafhængige, idet ESC kørecyklus resulterer i varmere motor i forhold til FTP kørecyklus.

### 6.5 Sammenfatning

Det ene af formålene med nærværende undersøgelse var på grundlag af et litteraturstudie at skabe et overblik over nyeste viden med hensyn til data for partikeludslippet, samt for det direkte udslip af NO<sub>2</sub> fra tunge køretøjer med Euronorm IV og V. Der er med litteraturstudiet skabt en grundigt og dokumenteret overblik over, hvad der findes af viden på dette område, men det må konstateres, at viden på området fortsat er sparsom.

Litteraturstudiet har vist, at kun tre kilder indeholder data med relevans for nærværende undersøgelse. Det drejer sig om resultater publiceret af Andreas Mayer, et al. (2007), R. Carbone, et al. (2005) i forbindelse med Particulates-projektet, samt Magdi Khair et al. (2005). De to førstnævnte var kendt af Miljøstyrelsen inden projektets start.

Ny viden er dog under udarbejdelse. TU Graz er i samarbejde med Empa, Schweiz i gang med et projekt vedrørende udslip fra EURO IV and V og forventer at færdiggøre et udkast til rapport om omkring midten af december 2007. I forbindelse med projektet gennemføres der målinger af partikelantal på tre tunge køretøjer med Euro IV og Euro V.

---

<sup>8</sup> Hvis en katalysator er coated på diesel partikelfilterets overflade, kaldes filteret CDPF



# 7 Emissionsvurderinger

På grundlag af litteraturstudiet er der skabt et overblik over nyeste viden med hensyn til data for partikeludslippet samt for det direkte udslip af NO<sub>2</sub> fra tunge køretøjer med Euronorm IV og V. Dette var det ene af nærværende projekts formål.

Det andet af de to formål med nærværende projekt er at give en anbefaling af de mest retvisende værdier på basis af de foreliggende data for udslip af NO<sub>2</sub> og partiklernes antal og masse samt eventuel størrelsesfordeling, samt vurdering af usikkerheden på disse data. I dette kapitel er der med udgangspunkt i de tre kilder, nævnt i foregående kapitel vist resultaterne af en beregning af partikelantal og NO<sub>2</sub> udslip på dette grundlag.

Det er ikke muligt med den tilgængelige viden at beregne den samlede partikelmængde, idet data ikke tillader det. Som et approximativt skøn er i stedet beregnet hvor meget Euro IV og V reducerer partikelantallet ud fra en gennemsnitbetragtning over de forskellige partikelstørrelser. Dette muliggør en sammenligning mellem Euro IV og V med Euro III med hensyn til, hvor stor en reduktion af partikelantallet der kan opnås ved at forsyne Euro IV og V med partikelfilter. Det skal dog bemærkes, at der ikke er tale om en vurdering af det *samlede* partikelantal.

## 7.1 Valg af metoder, data og antagelser

Kapitlet vil således først redegøre for de valgte metoder, data og antagelser og dernæst kort forklare om det heraf følgende beregningsværktøj. Dernæst følger en præsentation af resultaterne af emissionsberegningerne.

I det følgende anvendes følgende forkortelser for kilderne:

- Mayer: Andreas Mayer, et al. (2007) , TTM Technologies
- Concawe: R. Carbone, et al. (2005) i forbindelse med Particulates-projektet,
- Khair: Magdi Khair et al. (2005), South-west Research Institute (SwRI), Texas

## 7.2 Emissionsberegninger

### 7.2.1 Partikelemissioner opgjort efter vægt

Emissionsberegninger tager her udgangspunkt i partikeludslip opgjort i vægt. I tabellen nedenfor er vist de tre kilders opgørelser af udslip af partikler fra tunge køretøjer for henholdsvis Euro III med/uden filter, samt Euro IV og V.

Tabel 7-1: Målinger af partikel mængde (g PM per kWh), ETC

	Teknologi	Concawe (s. 66)	Mayer	Khair
EURO III'	Uden filter	0,07-0,23 (0,09)		
EURO IV (Euro III med filter)	CTR	0,005		
EURO V	SCR	0,015		0,003- 0,005*

\* Ved 'aging' hhv 6000 og 200 timer

Når der regnes efter vægt er det tydeligt at EURO IV og EURO V udsender langt mindre mængder partikler end EURO III.

### 7.2.2 Antallet af partikler.

Til måling af antallet af partikler er anvendt SMPS metoden. Denne metode fokuserer på meget små partikler mellem 10 og 400 nm.

Typisk gengives resultaterne fra målinger af størrelsesfordelingen som en kurve. Det samlede antal partikler kan herefter beregnes som integralet under kurven. Da der ikke foreligger beregninger af arealet under kurverne, er der foretaget en skønsmæssig vurdering af det gennemsnitlige antal partikler grafisk på kurven. Det gennemsnitlige antal partikler angiver en indikation for, hvor højt oppe kurven ligger og vurderes at være en rimelig indikator for den samlede mængde partikler.

I Mayer normeres efter luftmængde (cm<sup>3</sup>), mens der i Concawe normeres efter det arbejde motoren har udført (kWh). Det er ikke muligt at foretage en præcis omregning mellem de to opgørelser, da disse faktorer varierer i løbet af målingen.

I stedet er det beregnet hvor meget EURO IV og EURO V udsender af partikler set i forhold til EURO III. Disse resultater er vist i den følgende tabel.

Tabel 7-2 Antal partikler ved de forskellige teknologier

	Teknologi	Concawe	Mayer
EURO III'	Uden filter	100%	100%*
EURO IV (Euro III med filter)	CRT	1%	
EURO IV	PM kat		28%*
EURO V	SCR	30%	30%*

\* Udregnet ved simpelt gennemsnit indenfor hver load, dernæst vægtet, idet load 0% vægter 10%, load 25% vægter 40%, load 50% vægter 40% og load 100% vægter 10%. Gennemsnittet er baseret på tabel med antal partikler modtaget fra Mayer (Tabel 5.2).



Det bemærkes, at den EURO IV, der er anvendt til måling i Concave, er en prototype (en Euro III med filter), der antagelig ikke vil være almindelig udbredt. Derimod forventes det, at EURO V med SCR teknologien vil være almindelig udbredt i de kommende år.

Når der regnes efter antallet af partikler er der en reduktion på ca. 70 % fra de tidligere EURO III norm til de nye EURO IV (med PM kat) og EURO V (med SCR efterbehandling) normer ifølge begge de studier, der måler antal partikler.

Til sammenligning kan nævnes at EURO III og IV med partikelfilter reducerer med tæt på 100%.

### 7.2.3 NO<sub>x</sub> emissionerne

NO<sub>x</sub> er summen af NO<sub>2</sub> og NO. NO<sub>2</sub> er sundhedsskadeligt, og NO<sub>2</sub> indgår med grænseværdier i det danske smogvarslingsystem. Derimod findes der ikke grænseværdier for NO alene. Imidlertid sker der i atmosfæren en kemisk omdannelse, hvorved der hurtigt dannes sundhedsskadelig NO<sub>2</sub> fra NO.

Den følgende tabel viser NO<sub>x</sub> emissionerne fra litteraturstudiet.

Emissionerne er opgjort i lidt forskellige enheder. I Particulates er emissionerne opgjort i g/kWh, som er samme enhed som EURO normerne.

I Khair er emissionerne oprindeligt opgjort i g/hph, men omregnet til g/kWh i tabellen nedenfor.

Tabel 7-3 g NO<sub>x</sub> g per kWh

	Teknologi	Particulates (NO <sub>x</sub> - ESC) g/kWh	Khair (NO <sub>x</sub> - ETC) g/kWh	Khair (NO <sub>x</sub> - ESC) g/kWh
EURO III'	Uden filter	5		
EURO IV	CRT	2,75		
EURO IV	PM Kat			
EURO V	SCR	1,75	0,18-0,20***	0,14-0,15**

\*\* Ved 'aging' hhv 200 og 6000 timer

EURO normerne for NO<sub>x</sub> emissionerne ligger på 3,5 g/kWh for EURO IV og 2 g/kWh for EURO V. Particulates og Khairs målinger viser således, at de tunge køretøjer der er målt på her overholder normerne.

I Mayer er emissionerne angivet i NO<sub>2</sub> koncentrationer (ppm). Disse er opgjort før og efter katalysatoren. I tabellen er angivet virkningsgraden af katalysatoren.

I Mayers undersøgelse er det ikke umiddelbart muligt at se hvorvidt lastbilerne overholder normerne. Mayers artikel vurderer derimod NO og NO<sub>2</sub> effekten af de forskellige teknologier.

Tabel 7-4 NO<sub>2</sub> og NO emissioner fra forskellige teknologier (ppm)

		NO før cat	NO efter cat	NO <sub>2</sub> før cat	NO <sub>2</sub> efter cat
EURO IV	PM Kat	584	406	16	164
EURO V	SCR	854	170	23	0

Udregnet ved simpelt gennemsnit indenfor hver load, dernæst vægtet, idet load 0% vægter 10%, load 25% vægter 40%, load 50% vægter 40% og load 100% vægter 10%. Gennemsnittet er lavet på basis af skøn, idet artiklen blot angiver søljediammeter og der bør derfor medregnes en lille usikkerhed på dette tal, som følge af aflæsningsusikker etc. Der har været rettet henvendelse til Mayer for at få oplyst emissioner måle i gram per kWh, men uden held.

EURO IV med PM kat har kun ringe effekt på NO<sub>x</sub> emissioner. Derudover viser undersøgelsen, at denne teknologi øger NO<sub>2</sub>-andelen af NO<sub>x</sub>-emission. Til sammenligning reducerer SCR teknologien både det samlede NO<sub>x</sub> udslip og NO<sub>2</sub> udslippet.

EURO V med SCR teknologi vurderes derimod at give en betydelig reduktion i både NO og NO<sub>2</sub> emissionerne.

# 8 Konklusioner

Formålet med studiet har været at tilvejebringe et overblik over den nyeste viden om tunge køretøjers udslip af partikler og NO<sub>x</sub> fra tunge køretøjer. Især med fokus på antallet af ultrafine partikler.

En omfattende litteratursøgning har afsløret tre relevante studier.

- R. Carbone, et al. (2005): (CONCAWE/Particulates)
- Andreas Mayer et al (2007).
- Magdi Khair, Chris Sharp & Imad Khalek (2005).

De tre studier viser, at EURO V med SCR/urea teknologi, som antagelig vil blive den mest almindelige teknologi i de kommende år, reducerer antallet af de ultrafine kulstofbaserede partikler med omkring 70%.

Med hensyn til NO<sub>x</sub> emissionerne, så viser studierne at SCR/urea teknologien er effektiv til at reducere både NO og de mere skadelige NO<sub>2</sub> emissioner. Derimod tyder undersøgelserne på, at EURO IV med PM-kat har en markant højere direkte emission af NO<sub>2</sub> sammenlignet med en EURO V med SCR teknologi.



# Bilag A: Litteratursøgning

Følgende e-mail blev sendt til de identificerede kontaktpersoner:

Dear...

The Danish Environmental Agency is presently preparing a report to the Parliament on emissions of particles and NO<sub>2</sub> from Heavy Duty Vehicles and Busses with Euro IV and V, as compared to Euro III. The report to the Parliament is to contribute to the further considerations on legislation regarding a Copenhagen environmental zone.

For this purpose, COWI is presently working on a literature study on this issue. I would therefore be most pleased, if you could help me by identifying and possibly sending (e.g. by link) references to literature in this field, i.e. on data for emissions of particles and NO<sub>2</sub>, including mass and number and if possible distribution on size.

The report will be published on the DEPA homepage, including an English summary.

Best regards

E-mailen blev sendt til følgende eksperter:

Michael Walsh

International Transportation Consultant

The International Council on Clean Transport (IICT)

<http://www.theicct.org/> og <http://www.walshcarlines.com>  
[mpwalsh@igc.org](mailto:mpwalsh@igc.org)

Dr. Axel Friedrich

Head of the Environment, Transport, and Noise Division

Umwelt Bundes Amt (UBA)

<http://www.umweltbundesamt.de/>  
[axel.friedrich@uba](mailto:axel.friedrich@uba)

Martin Nilsson

**AVL-MTC**

[www.avl.com](http://www.avl.com)

Martin.Nilsson@avlmtc.com

Henviste til:

Lennart Erlandsson

Key Account Manager, Air Quality

**AVL-MTC**

[www.avl.com](http://www.avl.com)

P.O. Box 223

SE-136 23 Haringe, Sweden  
Phone +46(0)8 500 656 12  
Fax +46(0)8 500 283 28  
Mobile +46(0)76 525 26 12  
E-mail lennart.erlandsson@avlmtc.com  
www.avl.com/mtc  
Har arbejdet med miljøzoner i Stockholm

B.Sc. Peter Hendriksen  
Head of the department Acoustics  
TNO Science and Industry, Business Unit Monitoring Systems  
Stieltjesweg 1, P.O. Box 155, 2600 AD Delft, The Netherlands  
E-mail: Peter.Hendriksen@tno.nl  
Phone: +31 15 2692215  
Fax: +31 15 2692111  
[www.tno.nl](http://www.tno.nl)  
E-mail: peter.hendriksen@tno.nl  
*Henviste til Bart Bos:*

Bart Bos  
Head of the department  
TNO Science and Industry  
Stieltjesweg 1, P.O. Box 155, 2600 AD Delft, The Netherlands  
E-mail: bart.bos@tno.nl  
Phone: +31 15 2692215  
Fax: +31 15 2692111  
[www.tno.nl](http://www.tno.nl)

Andreas Mayer  
TTM, A.Mayer  
Fohrhölzlistrasse 14 b  
CH-5443 Niederrohrdorf  
Phone: 0041 56 496 6414  
Fax: 0041 56 496 6415  
E-Mail: ttm.a.mayer@bluewin.ch  
*Henviste til en række konferencer mv., hvorfra diverse artikler og præsentationer er hentet til listen af litteratur:*

- ETH-Nanoparticle conference [www.nanoparticles.ethz.ch](http://www.nanoparticles.ethz.ch)
- SCAQMD-conference on "DPF+DeNOx-Technologies" Los Angeles 2007
- Workshops of AFSSET in Paris, France September 2007

Y. Goto  
National Traffic Safety and Environment Laboratory  
<http://www.ntsels.go.jp/e/index.html>  
E-mail: kikaku@ntsels.go.jp

John Andersson  
Ricardo  
<http://www.ricardo.com>  
E-mail: Jon.Andersson@ricardo.com  
*Henviste til John May, Martin Mohr, Mridul Gautam og David Kittelson:*

John May  
AECC, Association for Emissions Control by Catalysts

<http://www.aecc.eu/en/default.html>  
E-mail: John.May@aecc.be

Martin Mohr, PhD

Empa

Gruppe Abgasnachbehandlung/Exhaust aftertreatment Group Internal Combustion Engines Laboratory Empa Materials Science and Technology  
Ueberlandstrasse 129, 8600 Duebendorf, Switzerland

Tel +41-44-823 4190

Fax +41-44-823 40 41

E-mail: martin.mohr@empa.ch [www.empa.ch](http://www.empa.ch)

*Henviste til Stefan Hausberger:*

Stefan Hausberger

GRAZ UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

<http://portal.tugraz.at/>

[hausberger@vkmb.tugraz.at](mailto:hausberger@vkmb.tugraz.at)

Mridul Gautam

West Virginia University

[mgautam@mail.wvu.edu](mailto:mgautam@mail.wvu.edu)

David Kittelson

University of Minnesota

SAE and Env. Sci &Tech

Dirk De Keukeleere

Vito

[www.vito.be](http://www.vito.be)

[dirk.dekeukeleere@vito.be](mailto:dirk.dekeukeleere@vito.be)

*Henviste til:*

Guido Lenaers

VITO, Boeretang 200, 2400 MOL, Belgium

Tel: + 32 14 335814

Fax: +32 14 321185

E-mail: [guido.lenaers@vito.be](mailto:guido.lenaers@vito.be)

VITO homepage: <http://www.vito.be>

Khair Magdi

South West Research Institute (SWRI)

<http://www.swri.org/>

E-mail: [mkhair@swri.org](mailto:mkhair@swri.org)

Dirk Bosteels

Executive Director AECC

Association for Emissions Control by Catalyst (AECC)

<http://www.aecc.be>

[dirk.bosteels@aecc.be](mailto:dirk.bosteels@aecc.be)

Antonio Santos

Manufacturers of Emission Controls Association (MECA)

[asantos@meca.org](mailto:asantos@meca.org)<http://www.meca.org>





# Bilag B: Målemetoder

Nedenfor er vist en oversigt over målemetoder til måling af partikelstørrelse og partikel størrelsesfordeling.

Diesel Particle Sizing Instruments		
Instrument	Size Range	Comments
<b>Cascade Impactors (Aerodynamic Method)</b>		
Micro-orifice uniform deposit impactor (MOUDI)	0.056 - 10 $\mu\text{m}$	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Not real-time, gravimetric and chemical analysis performed after collection.</li> </ul>
Nano-MOUDI	0.010 - 10 $\mu\text{m}$	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Same as MOUDI</li> <li>• Low pressure may cause volatile particles evaporate.</li> </ul>
Electrical low pressure impactor (ELPI)	0.032 <sup>†</sup> - 10 $\mu\text{m}$	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Near real-time with time resolution from 2 - 15 s</li> <li>• Can measure ambient concentrations, but low pressure may cause volatile particles to evaporate.</li> </ul>
<b>Electrical Mobility Analyzers</b>		
Differential mobility particle sizer (DMPS)	0.01 - 0.5 $\mu\text{m}$	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Discrete changes in electric field of DMPS makes sampling for entire range slower than for SMPS.</li> <li>• Biased results if concentration and size change during scan.</li> <li>• Pre-classification stage must be used to remove particles larger than 1.0 <math>\mu\text{m}</math> for diesel aerosol measurements.</li> <li>• 2 - 4 min scan time for 100 size intervals—can ramp DMA electric field to reduce scan time.</li> <li>• Time resolution of a few seconds for a single channel.</li> </ul>
Scanning mobility particle sizer (SMPS)	0.010 - 0.7 $\mu\text{m}$	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Scan times as short as 30 s may be used with reduced resolution.</li> <li>• Biased results if concentration and size change during scan.</li> <li>• Pre-classification stage must be used to remove particles larger than 1.0 <math>\mu\text{m}</math> for diesel aerosol measurements.</li> </ul>
Engine Exhaust Particle Sizer (EEPS)	5.6 - 560 nm	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Time resolution of 0.1 s allows for transient testing.</li> <li>• Newer instrument, little experience available.</li> </ul>
Fast Particulate Spectrometer DMS500	5 - 2500 nm	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Time response (T10-90) 0.2 s, suitable for real-time transient testing.</li> <li>• Same working principle as EEPS</li> <li>• Newer instrument, little experience available.</li> </ul>
Nano-differential mobility analyzer (nano-DMA)	3 - 50 nm	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Time resolution of about 10 s required to scan all intervals.</li> <li>• Not fully characterized and developed.</li> </ul>

Diesel Particle Sizing Instruments		
Instrument	Size Range	Comments
<b>Diffusion Batteries</b>		
Diffusion battery (DB)	0.01 - 0.5 $\mu\text{m}$	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Slow sampling time requires steady-state conditions.</li> <li>• Strongly distorted results if concentration and size change during scan.</li> </ul>
Electrical diffusion battery (EDB)	5 - 300 nm	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fast and simple instrument, but size resolution not very good.</li> <li>• Not fully characterized and developed.</li> </ul>
† - Lower detection limit of 0.007 $\mu\text{m}$ with added electrical filter stage		

Kilde: Burtscher, H., & Majewski, W. A. (2004). *PM Measurement: In-situ Methods*. In *DieselNet Technology Guide (Measurement of emissions, particulate matter)*. Retrieved Nov 6, 2007, from [http://www.dieselnet.com/tech/measure\\_pm\\_ins.html](http://www.dieselnet.com/tech/measure_pm_ins.html)

# Bilag C: Litteraturanalyse

I dette bilag redegøres overordnet for resultater og metoder i den i første omgang udvalgte litteratur. Gennemgangen i det følgende er efter forfatterens efternavn.

## Kilde A: Andersson, J. (2004)

Jon Andersson (2004):

*UN-GRPE PMP Phase 3 Inter-laboratory Correlation Exercise: Framework and Laboratory Guide*. Great Britain: UK Department for Transport.

### **Projektets aktører**

Projektet er gennemført af Ricardo Consulting Engineers for UK DfT som del af Particle Measurement programme (PMP).

Ricardo Consulting Engineers er et engelsk privat rådgivende ingeniørfirma indenfor primært transport og energi.

UK Department for Transport (DfT) er en britisk ministerium, med formålet at varetage befolkningen og regeringens interesser indenfor transport i forhold til energi, miljø og samfund.

### **Formål og baggrund**

Formålet med projektet er, at specificere og teste guidelines og protokol for interlaboratory correlation exercise. Formålet er, at evaluere 'draft revised Regulation 83 dokument'.

### **Metode**

Projektet rummer en række retningslinier til brug for tests på området.

### **Resultater og observationer**

Projektet fremviser ikke egne resultater på området.

### **Validitet, usikkerhed og robusthed**

Der er ingen usikkerhed i dette studie alene, da dette refererer til tidligere studier.

## Kilde B: Carbone, R. et al (2005)

R. Carbone, A. Jørgensen, N. Ranchet, D.J. Rikeard, C.J. Rowntree, R.J. Stradling og P.J. Zemroch (2005):

*Fuel effects on the characteristics of particle emissions from advanced motors and vehicles.* Brussels: Concauwe.

### Projektets aktører

Projektet er gennemført/artiklen er udgivet af: CONCAWE Fuels quality and Emissions Management Group Special Task Force FE/STF-10 for at aktualisere forståelsen af emissioner fra færdsel på veje. Projektet er en del af CONCAWE's bidrag til DG TREN 'Particulates' konsortium.

### Formål og baggrund

Studiet vurderer brændseffekter på emissioner fra nye motorer/køretøjers teknologier. Der testes på motorer der dækker EURO-III til EURO-V teknologier. Målinger testes på partikel massen (PM), det totale antal partikler, antal kulholdige partikler og størrelsesfordelingen af partikelemissionen. Der testes ved DPF (filter) og 'after treatment' teknologier, hvilken virkning det har på partikel emissionerne. EURO-IV er udstyret med CRT, mens EURO-V er med SCR.

### Metode

Legislative test cycles. ESC and ETC tests. Desuden SMPS og DDMPS for steady state - og CPC samt TrDMPS for "transient operation" ved mål af total antal partikler. Desuden målinger af finere partikler ved  $PM_{10}$ - $PM_{2.5}$ .

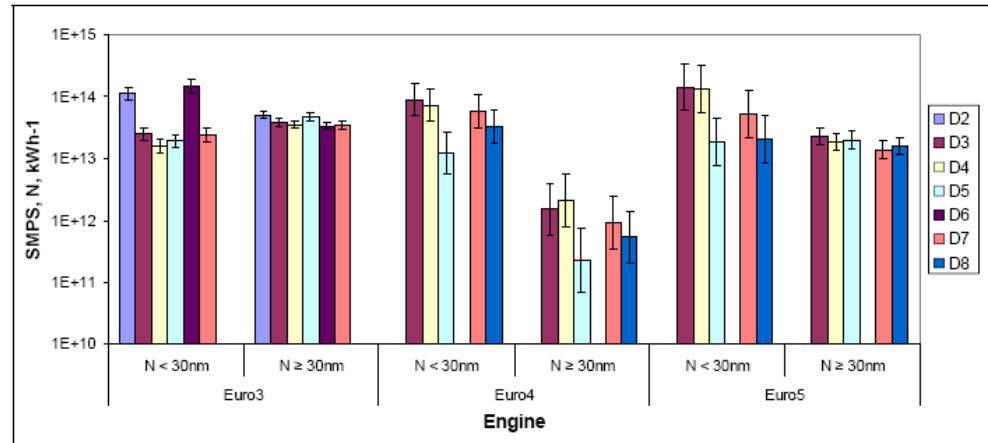
### Resultater og observationer

Ved test af partikel masse (PM) klarer EURO-IV sig bedst, dernæst EURO-V og dårligst EURO-III. EURO-IV og EURO-V producere en signifikant lavere PM end EURO-III. EURO-IV med DPF (filter) producere den laveste PM.

Ved test af antal kulholdige partikler klarer EURO-IV med CRT sig bedre end EURO-III. EURO-V producerer op til 70% færre partikler end EURO-III, men er stadig væsentlig flere end EURO-IV med CRT.

Ved test af totalt partikel antal producerer EURO-IV motor med CRT færrest partikler, dernæst EURO-V og sidst EURO-III. EURO-IV reducere både partikler over og under 30nm.

Figure: ESC total particle count by SMPS: particles <30nm and >30nm, different fuels



**Validitet, usikkerhed og robusthed**

Usikkerheden er den samme som i Particulates projektet, hvorfor der henvises til dette.

## Kilde C: Goto, Y. et al (2005)

Yuichi Goto, Hajime Ishii, Hisakazu Suzui & Terunao Kawai (2005):

*Particles Emission from HD diesel vehicle with urea SCR Catalyst.* Japan: Environment Research Department, National Traffic Safety and Environment Laboratory.

### Projektets aktører

Projektet er gennemført af: Environment Research Department, National Traffic Safety and Environment Laboratory, Japan.

### Formål og baggrund

Formålet er, at undersøge hvorvidt urea SCR (Selective Catalytic Reduction) system er en løsning til at imødekomme nye japanske krav om NOx udledning. SCR opfylder målsætning om partikelmasse (PM), men det skal her undersøges hvorledes partikel antallet påvirkes.

Det søges at undersøge, hvorvidt partikel antallet reduceres ved urea SCR system (uden DPF), da det blot vides at der opnås PM reduktioner. Der testes kun på SCR system uden DPF (filter). Desuden testes NOx reduktioner ved urea SCR.

### Metode

Her undersøges ved EEPS (Engine Exhaust Particle Sizer, TSI3090), hvorvidt SCR påvirker såvel størrelsen af partikler samt partikel antallet. Test køres på 25t køretøj med installeret SCR system og der benyttes JIS No. 2 light oil med svovlindhold på 24ppm. Test "urea" vand tilsvarende DIN standard. Der måles på 60 og 80 km/t.

### Resultater og observationer

Ved test af partikel antal er antallet højere ved SCR system end for køretøjer med DPF (CRT). Køretøjer der benytter SCR system opfylder PM regulering (masse), men partikel koncentrationen (antallet) er høj sammenlignet med køretøjer med DPF.

Partikeldistributionen ved 'idling' har peaks omkring 6nm og 70nm, de der er størst mængdemæssig emission af disse størrelsesgrupper. Flere forskellige kørecykluser er underlagt tests og et køretøj med kun urea SCR overholder reglerne om PM regulering (<0,027g/kWh).

### Validitet, usikkerhed og robusthed

Emissionen fra urea SCR system opfylder kravene om PM (masse), men emissionen er anderledes end konventionel partikel emission og det er nødvendigt at lave yderligere research.

Kilde D: Holm, O. (2006)

Ove Holm (2006):

*Erfaringer med partikelfiltre til lastbiler.* Denmark: Dansk Transport & Logistik (DTL).

### Projektets aktører

Projektet er gennemført/artiklen er udgivet af: DTL.

### Formål og baggrund

Oplægget er lavet i forbindelse med en høring i det danske folketing om SCR-katalysatorer og partikelfilterkrav og præsenterer dels egne holdninger, dels et resultat fra Particulates projektet.

DTL er for miljøzoner som i Sverige og foreslået i Aalborg over tid og ser løbende udskiftning til mere miljøvenlige lastbiler samt eftermontering af filtre på gamle lastbiler som løsning.

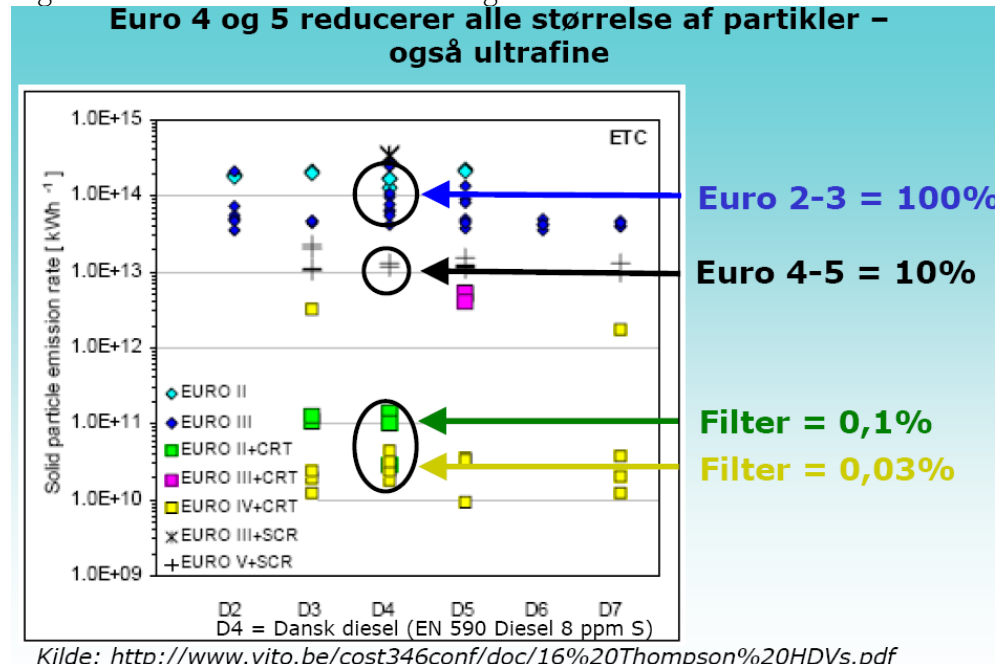
### Metode

Inden egne resultater vedrørende målinger på EURO-III til EURO-V.

### Resultater og observationer

Oplægget fremsætter foreslag om nej til SCR og filter på EURO-IV og EURO-V, da eftermontering af DPF på disse kun resulterer i små reduktioner. Som det ses af figuren herunder reducerer EURO-IV og EURO-V alle størrelser partikler - også de ultrafine.

Figur: Partikelemissioner ved forskellige brændsler.



Validitet, usikkerhed og robusthed



## Kilde E: Khair, M. et al (2005)

Magdi Khair, Chris Sharp & Imad Khalek (2005):

*Characterization of Nanoparticles from a 2010-Type Heavy-Duty Diesel Engine.*  
United States: Southwest Research Institute.

### Projektets aktører

Projektet er gennemført/artiklen er udgivet af: Southwest Research Institute  
Projektet er sponsoreret af US Dept. of Energy og der er input fra bl.a. EMA (Engine Manufacturers Association) og MECA (Manufacturers of Emission Controls Association).

### Formål og baggrund

Formålet med projektet er, at:

- 1) udvikle 2010 Emission Control System (ECS) til tunge køretøjer baseret på EGR, SCR og CDPF teknologier.
- 2) evaluere effekter af 'Fuel Sulphur'
- 3) evaluere varigheden af ECS

### Metode

Beskriver ESC kørecyklus i forhold til 'Transient' (ETC). Foretager ældning af HD motorer og måler NO<sub>x</sub> og PM.

### Resultater og observationer

Indeholdt af NO<sub>x</sub> er lavere ved ESC end 'Transient', omvendt er PM højere. NO<sub>x</sub> emissionen efter 200 timer er 0,27g/hp-hr for transient, mens denne er 0,19g/hp-hr ved ESC kørecyklus. Efter 6000 timer er emissionen ved transient 0,24g/hp-hr, mens denne er 0,21g/hp-hr ved ESC. PM er højere ved ESC cyklus end ved transient, idet denne er 0,008g/hp-hr efter 200 og 6000 timer, mens transient er hhv. 0,005g/hp-hr og 0,003g/hp-hr.

### Validitet, usikkerhed og robusthed

Temperaturafhængig, idet ESC sammenlignet med FTP.

## Kilde F: Kittelson, D.B. (2006)

David B. Kittelson (2006):

*Ultrafine Particle Emission & Control Strategies*. Minnesota: University of Minnesota.

### Projektets aktører

Projektet, et oplæg, er gennemført ved: South Coast Air Quality Management District Conference on Ultrafine Particles: The Science, Technology, and Policy Issues, 30. april - 2. maj 2006 i Los Angeles.

Oplægget er af David B. Kittelson fra University of Minnesota, Centre for Diesel Research.

### Formål og baggrund

Oplægget belyser emissionsstandarder, problemstillingen vedrørende partikelmasse og partikelantal samt sundhedseffekter af partikelemission.

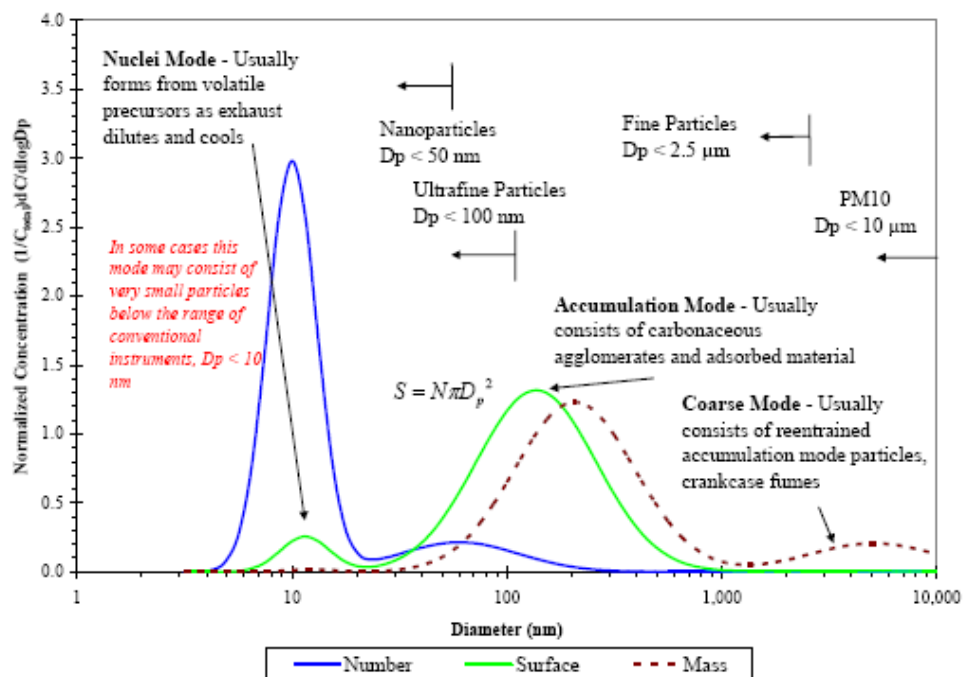
### Metode

Der ses på standardemissioner af PM og partikeldistribution samt emission af NO<sub>2</sub>. Partikeldistributionen og -massen belyses idet de sundhedsmæssige effekter af små partikler er lige så skadelige som større partikler.

### Resultater og observationer

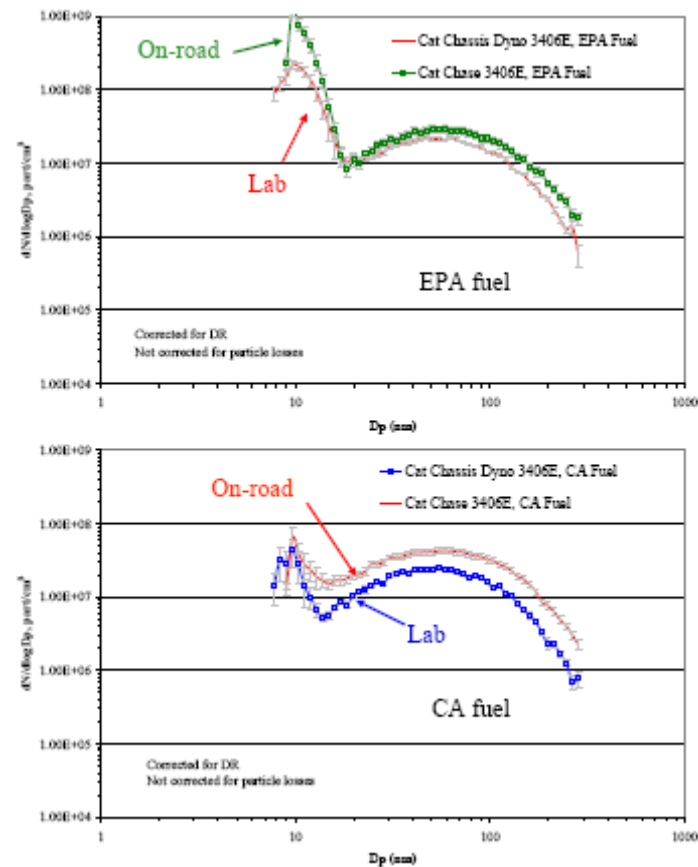
Af nedenstående figur ses ligeledes tests PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub> (fine particles) og PM<sub>0,1</sub> (ultrafine particles). Til sammenligning måler SMPS nanopartikler og ultrafine partikler.

Figure: Typical engine exhaust particle size distribution by mass, number and surface area



I projektet foretages en række tests på vej og i laboratorium for en række motorer. Den generelle trend er, at partikelemissionen er højest ved kørsel på vej. Fordelingen af partikler observeres ved SMPS (9-300nm), ELPI (30-2500nm) og CPC (>3nm). Herunder ses resultater fra CRC E-43 program samt laboratorium tests på to forskellige brændsler.

Figur: Size distributions for HD Diesel engine with electronic engine control - no aftertreatment.



Validitet, usikkerhed og robusthed

## Kilde G: Larsen, L.C. (2006)

Lars Christian Larsen (2006):

*Høring om SCR og partikelfilterkrav.* Denmark: Dinex.

### Projektets aktører

Projektet er gennemført/artiklen er udgivet af: Dinex og fremlagt i forbindelse med den danske regerings høring om SCR og partikelfilterkrav d. 21. november 2006.

Dinex Emission Technology A/S er et privatejet firma fra 1982, der udvikler, producerer og distribuere udstødningssystemer, heriblandt filtre, SCR og Di-NOx.

### Formål og baggrund

Projektet omhandler primært emission af NOx fra busser.

### Metode

Projektet udfører ikke egne målinger.

### Resultater og observationer

Projektet tilføjer ikke nye resultater til analyse, men gennemgår emissionsstandarder.

Figur: Emissionsstandarder for HD diesel motorer.

EU Emission standards for HD diesel engines and DiNOx test results, g/kWh (smoke in m <sup>-1</sup> )							
	Date	Test	CO	HC	NOx	PM	Smoke
Euro I	1992	ECE R49	4.5	1.1	8.0	0.36	-
Euro II	1998		4.0	1.1	7.0	0.15	-
Euro III	2000	ESC & ELR	2.1	0.66	5.0	0.10	0.8
Euro IV	2005		1.5	0.46	3.5	0.02	0.5
Euro V	2008		1.5	0.46	2.0	0.02	0.5
EEV	-		1.5	0.25	2.0	0.02	0.15
DiNOx	-			0.01	0.00	1.39	0.008

### Validitet, usikkerhed og robusthed

Der er ingen usikkerhed i dette studie alene, da dette refererer til tidligere studier.

## Kilde H: Marjamäki, M. et al (2001)

Marko Marjamäki og Jorma Keskinen (2001):

*Particulates - Characterisation of Exhaust Particulate Emissions from Road Vehicles. Deliverable 2: Vehicle exhaust, particulates characterisation, properties, instrumentation and sampling requirements.* Brussels: European Commission.

### Projektets aktører

Artiklen er udgivet af: Europa Kommissionens DG TREN, 5th framework.

Projektet er udført i samarbejde mellem flere europæiske aktører, heriblandt: Aristotle University of Thessaloniki (EL), CONCAWE (B), AB Volvo (S), AVL List GmbH (A), Swiss Federal Laboratories for Material Testing and Research (CH), MTC AB (S), Tampere University of Technology (FI), Institute for Internal Combustion Engines and Thermodynamics, Tech. University Graz (A), Institut Français du Pétrole (F), AEA Technology plc (UK), European Commission – Joint Research Centre (NL), REGIENOV - RENAULT Recherche Innovation (F), Institut National de Recherche sur les Transports et leur Sécurité (F), DEKATI Oy (FI), Department of Analytical Chemistry, Stockholm University (S), Department of Hygiene and Epidemiology, University of Athens Medical School (EL), Institut National de l' Environnement Industriel et des Risques (F), Les White Associates (UK), Transport Research Laboratory (UK) og Institute for Internal Combustion Engines, Aachen University of Technology (D).

Projektet opsummerer resultater fra tidligere studier og kan derfor fungere som referenceramme i forhold til udregninger på EURO-IV og EURO-V.

### Formål og baggrund

Particulates projektet sigter mod at tilføre viden og forståelse for emissioner fra motorer i køretøjer. Hovedformålet er, at skabe overblik over den nuværende status på måling af partikel emission fra køretøjer.

Projektet er igangsat på baggrund af informationer om, at sundhedseffekter af partikelemissioner ikke blot afhænger af partikelmassen, men ligeledes af partikelantallet. Projektet er opbygget som litteraturstudie.

### Metode

På baggrund af et litteraturstudie opdeles partikelemissioner i  $<300\text{nm}$  og  $>300\text{nm}$ . SMPS benyttes som baseline teknik. Der testes på kold og varm start NEDC og FAS kørecykler. Der ses desuden på  $\text{PM}_{10}$ ,  $\text{PM}_{2,5}$  og  $\text{PM}_{0,1}$  tests.

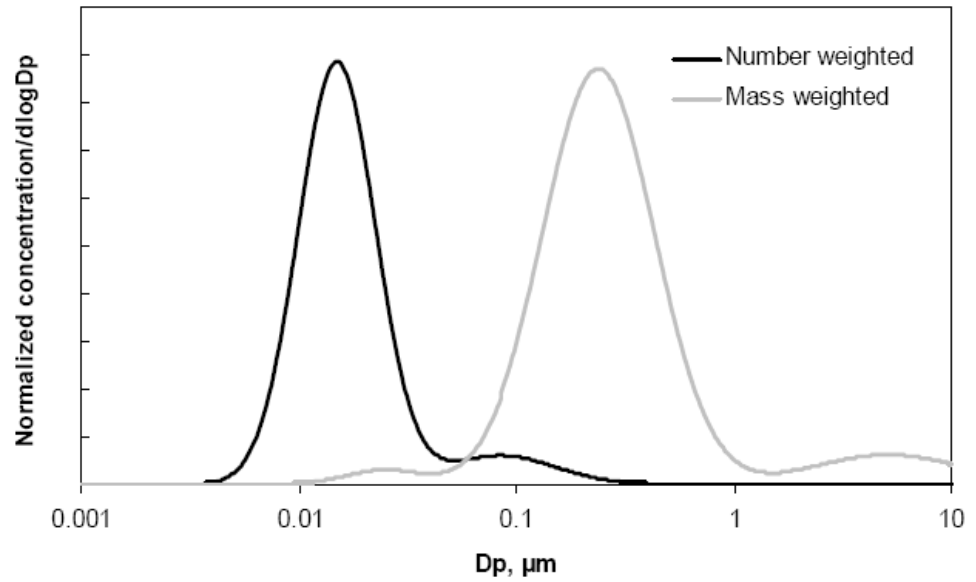
Der ses desuden på tests: CPC til måling af antal partikler ( $\text{N}/\text{cm}^3$ ), TEOM til måling af partikelmasse

### Resultater og observationer

Gennemgang af tests og studier. Anbefaler bl.a. SMPS til steady-state målinger, mens ELPI bør benyttes ved transient kørecykler.

Af nedenstående figur illustreres forskellen mellem måling af partikel masse og antal. Det er dermed vigtigt, at reducere også de små partikler, da partikel antallet er vigtigt i forhold til sundhedseffekter af emissioner.

Figure 4-4: Diesel exhaust particle size distribution. Number weighted distribution with black line and mass weighted with grey line. (Adapted from Kittelson, 1998).



#### Validitet, usikkerhed og robusthed

Der er ingen usikkerhed i dette studie alene, da dette refererer til tidligere studier.

## Kilde I: May, J. et al (2007)

John May, Jon Andersson, Dirk Bosteels, Andrew Nicol og Chris Such (2007):

*The Application of Emissions Control Technologies to a Low-Emission Engine to Evaluate the Capabilities of Future Systems for European and World-Harmonised Regulations.* Brussels: AECC.

### Projektets aktører

Projektet er gennemført/artiklen er udgivet af: Ricardo Consulting Engineers, Shoreham-by-Sea (UK) og Association for Emissions Control by Catalyst (AECC), Brussels (BE) i 2007.

Ricardo Consulting Engineers er et engelsk privat rådgivende ingeniørfirma indenfor primært transport og energi.

Association for Emissions Control by Catalyst er en belgisk baseret non-profit forsknings sammenslutning mellem europæiske producenter af teknologi til kontrol af køretøjers emissioner.

### Formål og baggrund

Formålet ved projektet er, at teste NO<sub>x</sub> samt PM. Formålet er, at undersøge hvorvidt en NO<sub>x</sub> emission på under 0,4g/hWh kan opnås ved ETC test, ved EURO-III med SCR urea samt DPF (hvorved EURO-V standard nås ifølge tidligere studie). Der ses desuden også på anden emission fra motoren. Fokus er på EURO-IV og EURO-V standarder.

### Metode

En eksisterende motor med lavt NO<sub>x</sub> udslip (cooled EGR) testes, idet motoren udstyres med DOC, C-DPF, 'airless urea dosing system', SCR og ASC. Der testes på kørecykluser ETC og ESC samt WHTC. Der benyttes ligeledes PMP metode til at måle nitrogen og partikelantal.

### Resultater og observationer

'Tailpipe' NO<sub>x</sub> emissionerne i ETC og ESC var 0,15g/kWh, dvs. lavere end målsætningen på 0,4g/kWh og indenfor den ventede EURO-6 norm. PM emissioner er desuden meget lave, især for ETC tests.

Fig. 7: Summary of regulated exhaust emissions results

Test Procedure		Emissions [g/kW.h]											
		THC			NO <sub>x</sub>			CO			PM		
		Engine Out	Tail pipe	Conv. Effy.	Engine Out	Tail pipe	Conv. Effy.	Engine Out	Tail pipe	Conv. Effy.	Engine Out	Tail pipe	Conv. Effy.
<b>Current European Test Cycles</b>													
<b>ETC</b>	hot transient	0.43	<b>0.16</b>	63%	1.10	<b>0.15</b>	86%	8.59	<b>0.87</b>	90%	0.581	<b>0.001</b>	99.8%
<b>ESC</b>	steady state	0.15	<b>0.06</b>	63%	1.54	<b>0.15</b>	90%	1.10	<b>0.00</b>	100%	0.151	<b>0.009</b>	94.3%
<b>Worldwide Harmonised Cycles</b>													
<b>WHTC</b>	cold, +5min, +hot trans.	0.63	<b>0.20</b>	69%	1.25	<b>0.30</b>	76%	9.09	<b>1.92</b>	79%	0.721	<b>0.002</b>	99.7%
<b>WHSC</b>	steady state	0.19	<b>0.01</b>	95%	1.33	<b>0.18</b>	87%	1.00	<b>0.02</b>	98%	0.128	<b>0.001</b>	99.3%

Ved WHTC test er NOx emissionen dobbelt så høj, dvs. 0,3g/kWh, hvilket skyldes manglende brug af EGR indtil 60°C og lavere udstødningstemperatur, da dette var en koldere test-temperatur. De øvrige parametre var stort set identiske til de under de første tests.

Fig. 8: Comparison of emissions over European and World Harmonised tests

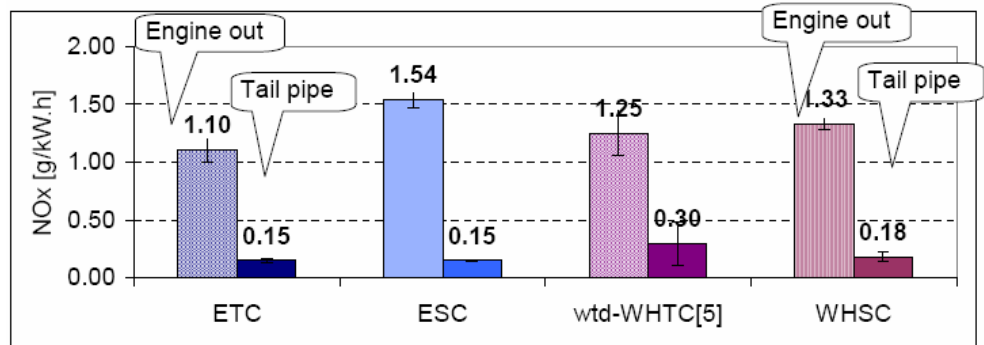
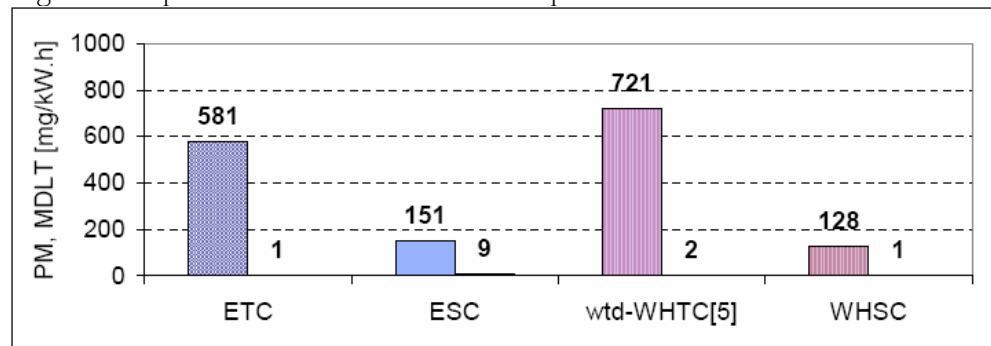


Fig. 8: Comparison of emissions over European and World Harmonised tests



I undersøgelsen fremgår endvidere resultater for emission af øvrige gasser samt tests temperaturer. 'Engine out' partikel massen var omkring 2,5 til  $5 \cdot 10^{14}$ /kWh.

Validitet, usikkerhed og robusthed



## Kilde J: Mayer, A. et al (2007)

Andreas Mayer, M.Kasper, Th.Mosimann, F.Legerer, J.Czerwinski, L.Emmenegger, J.Mohn, A.Ulrich og P.Kirchen (2007):

*Nanoparticle-Emission of EURO-4 and EURO-5 HDV compared with EURO3 with and without DPF.* United States: SAE International.

### Projektets aktører

Projektet er gennemført/artiklen er udgivet af: TTM, Matter Engineering (CH), AKPF, FHS Biel, EMPA (CH) og ETH (CH) i 2007.

Technik Thermische Maschinen, TTM er en schweizisk virksomhed.

Matter Engineering er et schweizisk privat firma, specialiseret i måling og karakteristik af nanopartikler. Arbejder tæt sammen med en række forskningsinstitutioner: ETH, FHNW og FHB.

AKPF er dannet af de industrielle partnere i VERT-projektet, der gennemføres af erhvers- og sundhedsmyndigheder i Østrig, Schweiz og Tyskland (AUVA, SUVA og TBG).

EMPA er en forskningsinstitution i ETH-Bereich og dermed under Schweizer Bildungs-, Forschungs- und Innovationsszene (BFI).

Swiss Federal Institute of Technology, Zürich (ETH) er det schweiziske teknologiske institut.

SAE (The Society of Automobile Engineers) international er en amerikansk sammenslutning af bilproducenter.

### Formål og baggrund

Projektet havde til formål, at måle emissionerne fra køretøjer, idet der fokuseres på nanopartikler: partikelmasse, partikel distribution og partikel antal. Emissioner fra tre moderne køretøjer måles: en HDV motor der opfylder EURO-IV (PM-Kat), en motor der opfylder EURO-V (med SCR) og en motor der opfylder EURO-III hhv. med og uden DPF. Undersøgelsen er især rettet mod nanopartikler (10-400nm) og tester distributionen, massen og mængden af nanopartikler.

### Metode

Der måles ved metoderne SMPS (PMP), NanoMet, PASS og ELPI. Kørecyklus der fokuseres på er ESC.

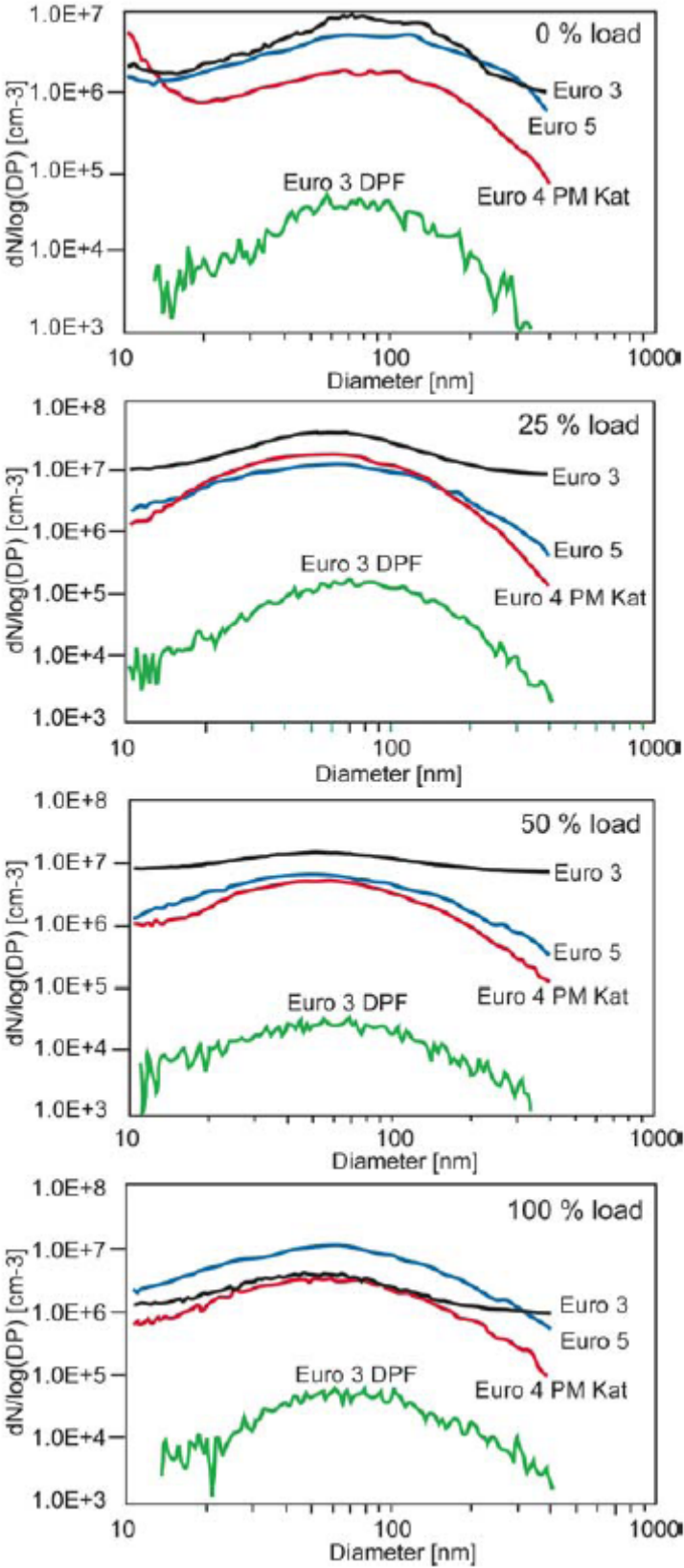
### Resultater og observationer

For EURO-IV med PM-kat og EURO-V med SCR ses en moderat reduktion af nanopartikler i forhold til EURO-III uden DPF. Ved full load udleder EURO-V dog højere koncentrationer end EURO-III uden DPF.

Sammenlignes med en EURO-III med DPF, der opfylder VERT kriterier, udleder begge de mere moderne motorer 100-500 gange flere nanopartikler. Udstyres moderne motorer derimod med DPF vil emissioner i forhold til EURO-III uden DPF være reduceret 0,1%, dvs. partikel koncentrationen i udstødningen vil være lavere end i trafikerede omgivelser.



Figure: Emissions of ultrafine particles in the nano-scale range at 1400 rpm at different loads of all 4 test candidates (with SMPS and PMP-sampling)



Udledning af NH<sub>3</sub> og N<sub>2</sub>O ser fint ud for EURO-V, da SCR ikke har ulemper på dette felt og udledte tæt på emissionsgrænseværdi. EURO-IV udledte høje koncentrationer af NO<sub>2</sub> ved half load. Både EURO-IV og EURO-V skal forbedres signifikant mht. partikelfiltre for at kunne konkurrere med EURO-III med DPF indenfor emissioner af nanopartikler.

Figure: NO<sub>2</sub> emissions from the EURO-V HDV

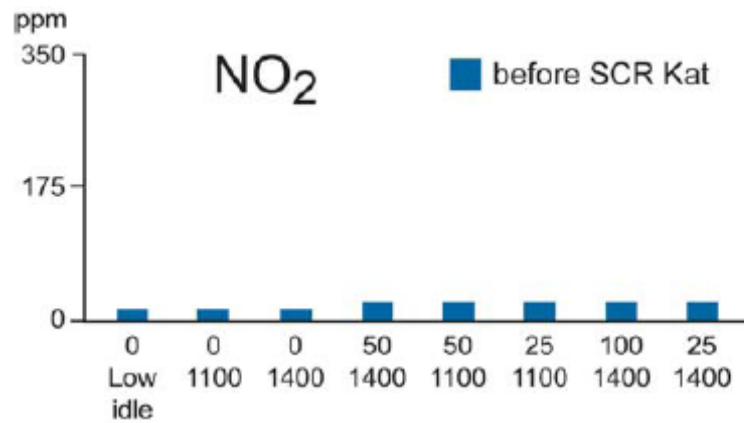
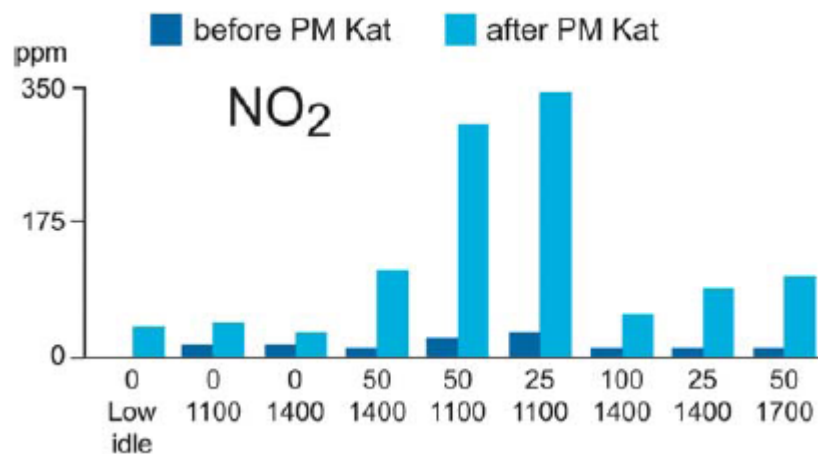


Figure: NO<sub>2</sub> emission of the EURO IV HDV



Validitet, usikkerhed og robusthed

## Kilde K: Samaras, Z. et al (2005)

Zissiz Samaras, Neville Thompson, Leonidas Ntziachristos, Diane Hall, Roger Westerholm og Paul Boulter (2005):

*Characterisation of Exhaust Particulate Emissions from Road Vehicles (Particulates)*. Brussels: DG TREN.

### Projektets aktører

Artiklen er udgivet af: Europa Kommissionens DG TREN, 5th framework.

Projektet er udført i samarbejde mellem flere europæiske aktører, heriblandt: CONCAWE (B), AB Volvo (S), AVL List GmbH (A), Swiss Federal Laboratories for Material Testing and Research (CH), MTC AB (S), Tampere University of Technology (FI), Institute for Internal Combustion Engines and Thermodynamics, Tech. University Graz (A), Institut Français du Pétrole (F), AEA Technology plc (UK), European Commission – Joint Research Centre (NL), REGIENOV - RENAULT Recherche Innovation (F), Institut National de Recherche sur les Transports et leur Sécurité (F), DEKATI Oy (FI), Department of Analytical Chemistry, Stockholm University (S), Department of Hygiene and Epidemiology, University of Athens Medical School (EL), Institut National de l' Environnement Industriel et des Risques (F), Les White Associates (UK), Transport Research Laboratory (UK), Institute for Internal Combustion Engines, Aachen University of Technology (D), VTT ENERGY - Engine Technology and Energy in Transportation (FI) og Ford Forschungszentrum Aachen GmbH (D).

### Formål og baggrund

Particulates konsortiet er etableret med henblik på, at udvikle viden på området indenfor emissioner fra køretøjer, inklusiv karakteristik af partikel størrelse og antal. Formålet med dette projekt er, at

### Metode

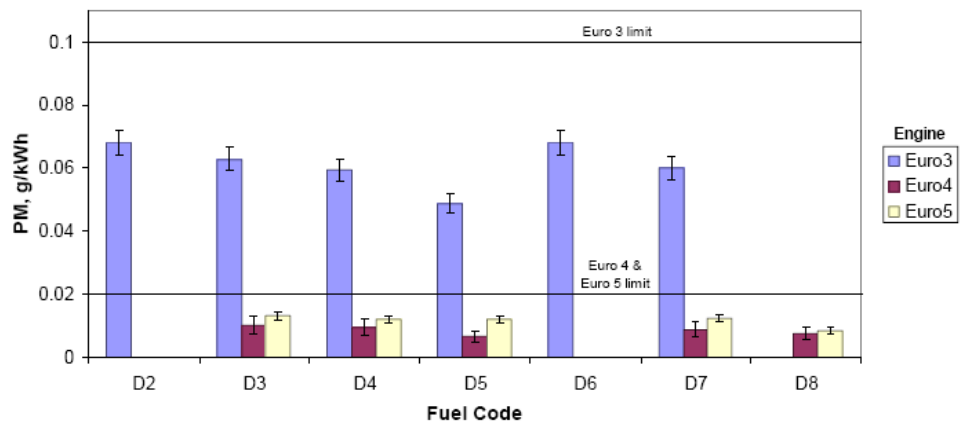
Der sammenlignes emissioner fra motorer der opfylder euronormer EURO-III, EURO-IV (CRT) og EURO-V. Der testes ved  $PM_{10}$ -> $PM_{2,5}$ , SMPS, EL-PI. Der kigges på kørecykluserne ETC og ESC, men i dette fokuseres på ESC resultaterne.

### Resultater og observationer

Partikelantallet er højere for EURO-V ved SCR/urea og NO<sub>x</sub> aftertreatment end for EURO-III med DPF, idet der er flere små partikler med mindre masse. Målinger med DPF/filter giver markant bedre resultater end uden DPF.

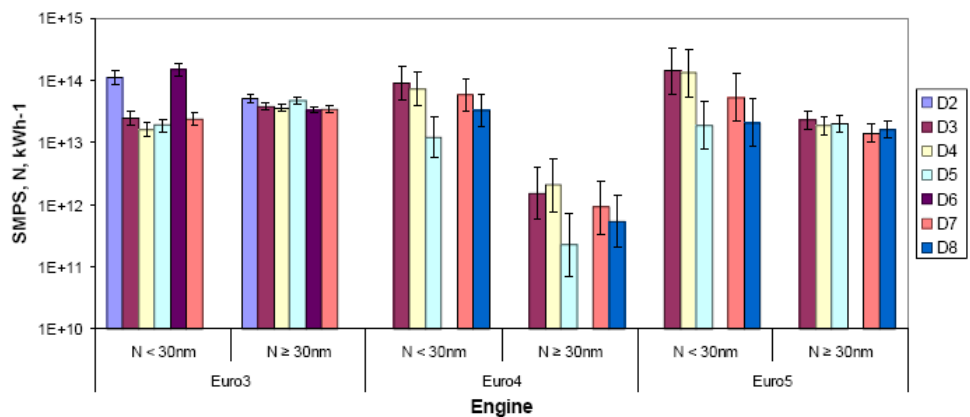
Partikelmassen er klart højest for EURO-III, mens partikelmassen er en smule højere for EURO-V end EURO-IV. EURO-IV udleder den laveste partikelmasse i dette studie.

Figure: PM emissions - ESC (HD)



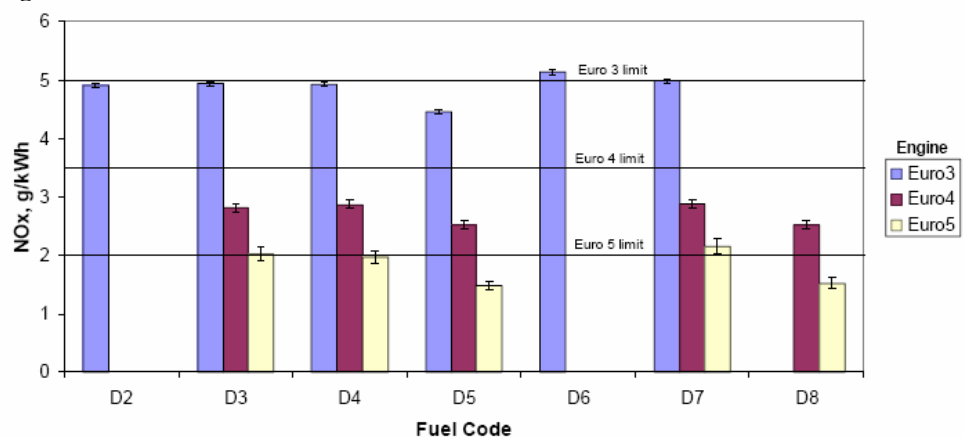
Partikeldistributionen af partikler over og under 30nm målt ved SMPS ved en ESC kørecyklus for seks forskellige brændsler ses herunder. Det ses tydeligt, at EURO-IV udleder færrest store partikler (>30nm), mens der er mere tvivl om hvilken euronorm der sikrer lavest emission af små partikler (<30nm). Det kan desuden ses, at brændselsvalget har større effekt på emissioner <30nm end på >30nm.

Figure: SMPS distributions of Euro-III to Euro-V engines from AVL over the ESC cycle, split into particles <30 nm and particles 30 nm



Projektet betragter ligeledes emissioner af NOx. Emissionen af NOx er højest for EURO-III, mens EURO-V ligger lavest af de tre. EURO-III og EURO-V emissioner ligger tæt på grænseværdierne, mens EURO-IV ligger markant under grænseværdien.

Figure: NOx emissions - ESC (HD vehicles)



Validitet, usikkerhed og robusthed

## Kilde L: Thompson, N. et al (2004)

Neville Thompson, Urban Wass, Leonidas Ntziachristos, Zissis Samaras, Stephan Hausberger, Paivi Aakko og Theodor Sams (2004):

*Overview of the European "Particulates" Project on the Characterization of Exhaust Particulate Emissions from Road Vehicles - Results for Heavy-Duty Engines.*  
Brussels: European Commission, DG TREN.

### Projektets aktører

Oplægget er udgivet af: Europa Kommissionens DG TREN, 5th framework.

Projektet er udført i samarbejde mellem flere europæiske aktører, heriblandt: CONCAWE (B), AB Volvo (S), AVL List GmbH (A), Swiss Federal Laboratories for Material Testing and Research (CH), MTC AB (S), Tampere University of Technology (FI), Institute for Internal Combustion Engines and Thermodynamics, Tech. University Graz (A), Institut Français du Pétrole (F), AEA Technology plc (UK), European Commission – Joint Research Centre (NL), REGIENOV - RENAULT Recherche Innovation (F), Institut National de Recherche sur les Transports et leur Sécurité (F), DEKATI Oy (FI), Department of Analytical Chemistry, Stockholm University (S), Department of Hygiene and Epidemiology, University of Athens Medical School (EL), Institut National de l' Environnement Industriel et des Risques (F), Les White Associates (UK), Transport Research Laboratory (UK), Institute for Internal Combustion Engines, Aachen University of Technology (D), VTT ENERGY - Engine Technology and Energy in Transportation (FI) og Ford Forschungszentrum Aachen GmbH (D).

### Formål og baggrund

Oplægget fremlegger resultater for Particulates projektet, idet der ses på resultater ved HD motorer.

### Metode

Samme metode som i Particulates (se Samaras, 2005). SMPS, DDMPS og ELPI tests er udført ved ETC og ESC kørecykluser, idet der ses på forskellige brændsler ved tests på EURO-1 til EURO-V.

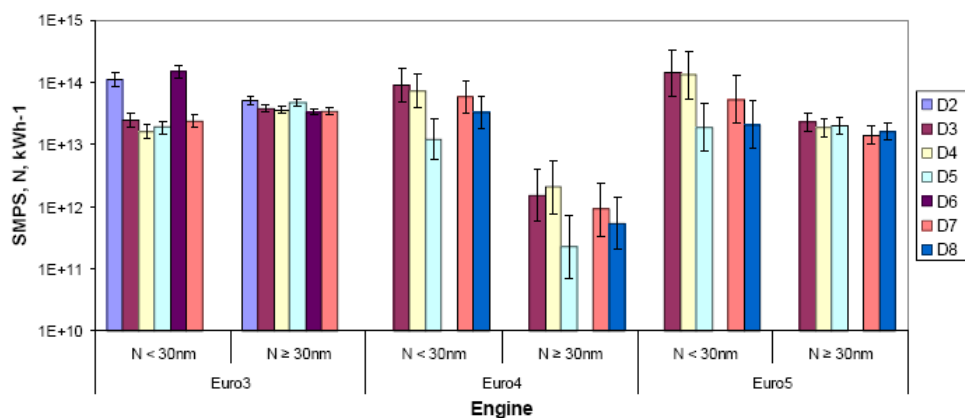
### Resultater og observationer

Der opnås lave PM emissioner ved DPF udstyrede motorer samt ved EURO-V SCR/urea uden DPF. Partikelantallet er målt ved ELPI for EURO-V motor er således lavere end en EURO-III uden DPF, men højere end EURO-III med DPF.

Partikeldistributionen illustreres ved SMPS test ved partikel antal >30nm og <30nm afhængig af brændstoftyper. Heraf ses, at brændstoftypen især påvirker emissionen af de små partikler. Det laveste antal partikler er desuden ved EURO-IV DPF system. Tilsvarende er gældende ved DDMPS test.

Figur: Particle size distribution (SMPS)





HD diesel motorer med 'particulate traps' producerer lave PM emissioner og lavt antal partikler, hvis denne køre på 'low sulphur fuels'. HD EURO-V med SCR/urea men uden DPF producerer lav PM emissioner, men partikelantallet er højere end med DPF.

### Validitet, usikkerhed og robusthed

Usikkerhed ved resultaterne er de samme som i Particulates, hvorfor der henvises til denne.



# Bilag D: Bruttoliste af litteratur

Association for Emissions Control by Catalyst (AECC) (2006). *NO<sub>2</sub> emissions from exhaust aftertreatment technology*. Association for Emissions Control by Catalyst (AECC). EU workshop on impact of direct emissions of NO<sub>2</sub> from road vehicles on NO<sub>2</sub> concentrations, 19. September 2006.

Jon D. Andersson, Dirk Bosteels, Carl A. Jemma & Robert A. Searles (2002). *Particle Emissions From a EU 3 Heavy-duty Diesel Engine with Catalyst-based Diesel Particle Filter and Selective Catalytic Reduction System: Size, Number, Mass & Chemistry*. Aachener Kolloquium Fahrzeug- und Motorentechnik. 2002

Jon D. Andersson & David Clarke (2004). *UN-GRPE PMP Phase 3 Inter-laboratory Correlation Exercise: Framework and Laboratory Guide*. Ricardo Consulting Engineers. Working paper. May 2004.

Jon D. Andersson (2006). *Lubricant Formulation Influences Nanoparticle Emissions From Light- and Heavy-duty Diesels*. Ricardo Consulting Engineers. SCAQMD Conference, 2006.

Dirk Bosteels, John May, Jon Andersson, Andrew Nicol, Chris Such & R.D. Sellers (2006). *Investigation of the Feasibility of Achieving Euro VI Heavy-Duty Diesel Emissions Limits by Advanced Emissions Controls*. Brussels, Association for Emissions Control by Catalyst (AECC). EU workshop on impact of direct emissions of NO<sub>2</sub> from road vehicles on NO<sub>2</sub> concentrations, 19. September 2006.

R. J. Brisley (2007). *Overview of the AECC Heavy-Duty Euro VI Programme and Emissions Results on European Cycles*. Brussels, Association for Emissions Control by Catalyst (AECC), 2007.

H. Burtscher & W. A. Majewski (2004). *PM Measurement: In-situ Methods*. In *DieselNet Technology Guide (Measurement of emissions, particulate matter)*. Retrieved Nov 6, 2007, from [http://www.dieselnet.com/tech/measure\\_pm\\_ins.html](http://www.dieselnet.com/tech/measure_pm_ins.html)

R. Carbone, A. Jørgensen, N. Ranchet, D.J. Rikeard, C.J. Rowntree, R.J. Stradling & P.J. Zemroch (2005). *Fuel effects on the characteristics of particle emissions from advanced motors and vehicles*. CONCAWE Fuels quality and Management Group. January 2005

David Carslaw (2006). *Direct NO<sub>2</sub> in the UK: evidence from ambient measurements*. Institute for Transport Studies, University of Leeds, Air Quality Expert Group (AQEG). EU workshop on impact of direct emissions of NO<sub>2</sub> from road vehicles on NO<sub>2</sub> concentrations, 19. September 2006.

Patrick Charbonneau (2007). *Diesel Engine Technology Near Zero Emissions*. International Truck and Engine Corporation, 2007.

- Jan Czerwinski, Andreas Mayer, Jean-Luc Péterman, Pierre Comte & J. Lemaire (2007). *Diesel NO/NO<sub>2</sub>/NO<sub>X</sub> Emissions – new experiences & challenges*. SAE International, 2007.
- Frank Dünnebeil (2007). *NO<sub>2</sub> Emissions of Urban Road Transport*. DACHNLS Meeting Nr. 20. April 2007.
- Frank Dünnebeil & Udo Lambrecht (2007). *Entwicklung der Nox- und NO<sub>2</sub>-Emissionen im Innerortsverkehr in Baden-Württemberg und Deutschland bis zum Jahr 2015*. IFEU Heidelberg. Im Auftrag des Umweltministeriums Baden-Württemberg, 2007.
- DG Environment (2006). *Directive on ambient air quality and cleaner air for Europe, COM(2005) 447*. ENV C3, DG Environment. EU workshop on impact of direct emissions of NO<sub>2</sub> from road vehicles on NO<sub>2</sub> concentrations, 19. September 2006.
- ETH Conference papers (2007). *BoA Papers*. 11th ETH Conference on Combustion Generated Particles, 2007.
- Raymond Gense (2007). *Direct NO<sub>2</sub> emissions: the state of knowledge and consequences*. EU workshop on impact of direct emissions of NO<sub>2</sub> from road vehicles on NO<sub>2</sub> concentrations, 19. September 2006.
- Yuichi Goto et. al (2005). *Particles Emission from HD diesel vehicle with urea SCR Catalyst*. Environment Research Department. 9th ETH, Zürich, 16. august 2005
- Matt Haber (2006). *Ultrafine Particles*. US Environmental Protection Agency Pacific Southwest Region 9. Maj 2006.
- Hansen, Ken Friis (2007). Email correspondence, 13. november 2007.
- D.E. Hall, R J Stradling, D J Rieckard, G Martini, A Morato-Meco, R Hagemann et al (2001). *Measurement of the number and mass weighted size distributions of exhaust particles emitted from european heavy duty engines*. CONCAWE, 2001.
- Ove Holm (2006). *Erfaringer med partikelfiltre til lastbiler*. Dansk Transport og Logistik (DTL). Høring om SCR og partikelfilterkrav, Miljø- og Planlægningsudvalget, 21. November 2006.
- Caroline Hosier (2004). *OICA presentation of ACEA PM-3 programme*. ACEA Task-force Particulates (TF-PM), Ford Motor Company. Preliminary results. June 2004.
- Markus Kasper (2006). *Nanoparticle Measurement*. Matter Engineering AG, 2006.
- Christoph Kessler, Juliane Kluge & Rainer Vogt (2006). *Analysis of urban NO<sub>2</sub> sources and the effect on NO<sub>2</sub> air quality*. AVISO GmbH, BMW Group & Ford Forschungszentrum. EU workshop on impact of direct emissions of NO<sub>2</sub> from road vehicles on NO<sub>2</sub> concentrations, 19. September 2006.

Magdi Khair, Chris Sharp & Imad Khalek (2005). *Characterization of Nanoparticles from a 2010-Type Heavy-Duty Diesel Engine*. Southwest Research Institute. August 2005

Imad A. Khalek (2006). *Volatile Nanoparticle Number Emissions from a Diesel Engine Equipped with a Catalysed Particle Filter*. 2006

David B. Kittelson (2006). *Ultrafine Particle Emission & Control Strategies*. South Coast Air Quality Management District Conference on Ultrafine Particles: The Science, Technology, and Policy Issues. Centre for Diesel Research. April-May 2006.

David B. Kittelson (2006). *Issues and concerns*. South Coast Air Quality Management District Conference on Ultrafine Particles: The Science, Technology, and Policy Issues. Centre for Diesel Research. 2006.

Udo Lambrecht, Frank Dünnebeil & Ulrich Höpfner (2006). *Findings in Germany: Nox: Development of emissions and air quality. Causes for unexpected values of ambient concentrations of NO2*. ifeu - Institute for Energy and Environmental Research Heidelberg, Tyskland. EU workshop on impact of direct emissions of NO2 from road vehicles on NO2 concentrations, 19. September 2006.

Lars Christian Larsen (2006). *Høring om SCR og partikelfilterkrav*. Dinex Emission Technology A/S. Høring om SCR og partikelfilterkrav, Miljø- og Planlægningsudvalget, 21. November 2006.

Guido Lenaers & M. Van Poppel (2003). *Measurement Report\_1*. VITO, 2003.

Guido Lenaers & M. Van Poppel (2004). *Measurement Report\_2*. VITO, 2004.

Guido Lenaers & M. Van Poppel (2004). *Report on first measurement campaign on Euro 2 bus before retrofitting with Clean Air Power system*. VITO, 2004

Guido Lenaers & M. Van Poppel (2005). *Report on measurement campaign on Euro 2 bus retrofitted with Clean Air Power system*. VITO, 2005

Steffen Loft (2006). *Sundhedseffekter af Partikelforurening*. Institut for Folkesundhedsvidenskab, Københavns Universitet. Høring om SCR og partikelfilterkrav, Miljø- og Planlægningsudvalget, 21. November 2006.

Marko Marjamäki & Jorma Keskinen (2001). *Particulates - Characterisation of Exhaust Particulate Emissions from Road Vehicles. Deliverable 2: Vehicle exhaust, particulates characterisation, properties, instrumentation and sampling requirements*. CONCAWE, DG Tren, EU Commission, 2001.

John May, Jon Andersson, Dirk Bosteels, Andrew Nicol & Chris Such (2007). *The Application of Emissions Control Technologies to a Low-Emission Engine to Evaluate the Capabilities of Future Systems for European and World-Harmonised Regulations*. Ricardo Consulting Engineer & Association for Emissions Control by Catalyst (AECC), 2007

- Andreas Mayer, J. Czerwinski, L. Matthews & T. Mosimann (2005). *Filtration of diesel soot nanoparticles and reliability in Swiss HDV retrofitting*. TTM, 2005
- Andreas Mayer (2006). *Why use Size, Substance and Number of Solid Particles instead of PM-Mass to characterize and limit Particle Emissions of IC-Engines*. TTM, 2006.
- Andreas Mayer (2006). *Experience with 10'000 DPF-Retrofits of Construction Machines, Locomotives and Transit Buses in Switzerland*. TTM, 2006.
- Andreas Mayer, M.Kasper, Th.Mosimann, F.Legerer, J.Czerwinski, L.Emmenegger et al (2006). *Emissions of Nanoparticles from HDV EURO4 or EURO5 engines compared with EURO3 with and without DPF*. TTM, 2006.
- Andreas Mayer (2006). *Ultrafine Particle Emissions of HDV Euro 4 and Euro 5 compared to Euro 3 with a VERT-Particle Filter (overheads)*. TTM. Høring om SCR og partikelfilterkrav, Miljø- og Planlægningsudvalget, 21. November 2006.
- Andreas Mayer, M. Kasper, Th. Mosimann, F. Legerer, J. Czerwinski, L. Emmenegger et al (2006). *Nanopartikel-Emmissionen von HDV Euro 4 und Euro 5 Dieselmotoren im Vergleich zu Euro 3 mit/ohne Partikelfilter*. TTM, 2006.
- Andreas Mayer, J. Czerwinski, G. D'Urbano & W. Scheidegger (2006). *Tested and approved particle filter systems for retrofitting diesel engines*. FOEN/Suva filterlist. December 2006.
- Andreas Mayer et al (2007). *Nanoparticle-Emission of EURO 4 and EURO 5 HDV Compared to EURO 3 With and Without DPF*. January 2007.
- Andreas Mayer (2007). *NOx-Reduction on Top of Particle-Elimination for Off-road Retrofit today and tomorrow. Open questions based on experience in Switzerland*. Off-road Emission Reduction Technology Forum. May 2007.
- Andreas Mayer (2007). *Introduction*. Seminar on DPF Particle Filter retrofitting Diesel engines, Munich, Germany, 27. - 28. juni, 2007
- Miljøministeriet, Danmark (2006). *Miljøministerens besvarelse af spørgsmål nr. 18 (L39) stillet af Folketingets Miljø og Planlægningsudvalg den 27. oktober 2006*. Miljøministeriet, oktober 2006.
- Miljøministeriet, Danmark (2006). *Miljøministerens besvarelse af spørgsmål nr. 19 (L39) stillet af Folketingets Miljø og Planlægningsudvalg den 27. oktober 2006*. Miljøministeriet, oktober 2006.
- Miljøministeriet, Danmark (2006). *Miljøministerens besvarelse af spørgsmål nr. 20 (L39) stillet af Folketingets Miljø og Planlægningsudvalg den 27. oktober 2006*. Miljøministeriet, oktober 2006.
- Miljøministeriet, Danmark (2006). *Miljøministerens besvarelse af spørgsmål nr. 71 (L39) stillet af Folketingets Miljø og Planlægningsudvalg den 23. november 2006*. Miljøministeriet, November 2006.

Miljøministeriet, Danmark (2006). *Miljøministerens besvarelse af spørgsmål nr. 78 (L39) stillet af Folketingets Miljø og Planlægningsudvalg den 6. december 2006*. Miljøministeriet, December 2006.

Peter Mose (2006). *Miljøzoner. Samfundet skal stille krav - ikke anvise tekniske løsninger*. De danske bilimportører. Høring om SCR og partikelfilterkrav, Miljø- og Planlægningsudvalget, 21. November 2006.

Niels-Anders Nielsen (2006). *Godkendelsesordning for SCR katalysatorer (overheads)*. Høring om SCR og partikelfilterkrav, Miljø- og Planlægningsudvalget, 21. November 2006.

Finn Palmgren (2006). *Miljøeffekt af miljøzoner*. Danmarks Miljøundersøgelser (DMU). Høring om SCR og partikelfilterkrav, Miljø- og Planlægningsudvalget, 21. November 2006.

Klaus-Peter Schindler (2006). *LDV technology: state of the art and anticipated developments*. Volkswagen AG, Germany. EU workshop on impact of direct emissions of NO<sub>2</sub> from road vehicles on NO<sub>2</sub> concentrations, 19. September 2006.

Zissis Samaras, Neville Thompson, Leonidas Ntziachristos, Diane Hall, Roger Westerholm & Paul Boulter (2005). *Characterisation of Exhaust Particulate Emissions from Road Vehicles (Particulates)*. 2005

Aniket Sawant (2006). *On-Road Demonstration of Ultrafine Particle Control using Continuously Regenerating Diesel Particulate Filters*. Johnson Matthey Inc., 2006.

Neville Thompson, Urban Wass, Leonidas Ntziachristos, Zissis Samaras, Stephan Hausberger, Paivi Aakko & Theodor Sams (2004). *Overview of the European "Particulates" Project on the Characterization of Exhaust Particulate Emissions from Road Vehicles - Results for Heavy-Duty Engines*. CONCAWE, Volvo Technology (Sweden), Laboratory of Applied Thermodynamics (Aristotle University Thessaloniki), Technical University of Graz (Austria), VTT (Finland), AVL List GmbH (Graz Austria), 2004.

UNECE Working Party on Pollution and Energy (GRPE) (2004). *Conclusions on Improving Particulate Mass Measurement Procedures and New Particle Number Measurement Procedures Relative to The Requirements of The 05 Series of Amendments to Regulation No. 83*. 48th GRPE, Agenda item 2, 1.-4. juni 2004

UNECE Working Party on Pollution and Energy (GRPE) (2007). *Working papers on the 19th session of the informal group on the Particle Measurement Programme (PMP), Geneva, 6 June 2007. United Nations Economic commission for Europe*. Update: 11/09/2007 11:40:13. Retrieved November 13, 2007, from <http://www.unece.org/trans/main/wp29/wp29wgs/wp29grpe/pmp19.html>.

Michael P. Walsh (2006). *Direct NO<sub>2</sub> Emissions & Their Influence on Measured Ambient NO<sub>2</sub>: The US Situation*. EU workshop on impact of direct emissions of NO<sub>2</sub> from road vehicles on NO<sub>2</sub> concentrations, 19. September 2006.

Peter Wiesen (2006). *The Atmospheric Chemistry of Nitrogen Dioxide (NO<sub>2</sub>)*. Belgische Universität Wuppertal, EU workshop on impact of direct emissions of NO<sub>2</sub> from road vehicles on NO<sub>2</sub> concentrations, 19. September 2006.

Chun Hwan Lee (2007). *A Characteristics of Particle Number Distribution for the Urea Solution Injection to Urea SCR System of Commercial Diesel Engine for an Emission Regulation*. Society of Automobile Engineers (SAE). Document Number: 2007-01-3455

Forfatter (år). *Nano Particle Emission Evaluation of State of the Art Diesel After-treatment Technologies (DPF, urea-SCR and DOC), Gasoline Combustion Systems (Lean Burn / Stoichiometric DISI and MPI) and Fuel Qualities Effects*. Society of Automobile Engineers (SAE). (EtOH, ETBE, FAME, Aromatics Document Number: 2007-01-4083

Klaus Rusch, Lothar Hofmann, Juergen Zuerbig & Brian Scarnegie (2003). *PM Reduction By SCR Catalyst*. Society of Automobile Engineers (SAE). Document Number: 2003-01-0777



# Bilag D: Forkortelser

ASC	Ammonia Slip Catalyst
C-DPF	Catalysed Diesel Particulate Filter
CB-DPF	Catalyst-Based Diesel Particulate Filter
CNC	Condensation Nucleus Counters
CRT	Continuously Regeneration Trap
CPC	Condensation Particle Counter
DMPS	Differential Mobility Particle Sizer
DOC	Diesel Oxidation Catalyst
DPF	Diesel Particulate Filter
DPM	Diesel Particulate Matter
EGR	Exhaust Gas Recirculation
ELPI	Electrical Low-Pressure Impactor
ELR	European Load Response Test
ESC	European Steady State
ETC	European Transient Cycle
FAS	Free Acceleration Smoke
HD	Heavy-Duty
HDV	Heavy-Duty Vehicle
ICP-MS	Inductively Coupled Plasma Mass Spectroscopy
NEDC	New European Drive Cycle
NO <sub>2</sub>	Nitrogen Dioxide
NO <sub>x</sub>	Nitrogen Oxides
PAS	Photoelectric Aerosol Sensor
PASS	Photo Acoustic Soot Sensor
PM	Particle Emissions/Particulate Matter
PM-Kat	Particulate Matter Catalyst
PMP	UN-ECE Europe Particle Measurement Programme
SCR	Selective Catalyst Reduction
SMPS	Scanning Mobility Particle Sizer
TEOM	Tampered Element Microbalance mass monitor
VERT	EC funded project BRPR-CT97-0461
WHTC	World-wide Harmonised Transient Cycle (for Heavy Duty Engines)



# Bilag E: Litteraturscreening

Dette bilag viser den første screening der er foretaget af samtlige kilder med henblik på at udvælge de væsentligste til den videre behandling i litteraturanalysen. Litteraturen er valgt ud fra denne bruttoliste ud fra følgende kriterier:

- Skal omtale Euronorm IV og V
- Skal omhandle tunge køretøjer
- Skal omhandle partikler og/eller NO<sub>2</sub>