

# Opgradering af efterbehandlings- systemer på Movias Euro IV, Euro V og EEV busser

Miljøprojekt nr. 1795, 2015



**Titel:**

Opgradering af efterbehandlings-systemer på  
Movias Euro IV, Euro V og EEV busser

**Redaktion:**

Frantz Bræstrup,  
FORCE Technology på vegne af Trafikselskabet Movia

**Udgiver:**

Miljøstyrelsen  
Strandgade 29  
1401 København K  
www.mst.dk

**År:**

2015

**ISBN nr.**

978-87-93352-83-4

**Ansvarsfraskrivelse:**

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.

Må citeres med kildeangivelse.

# Indhold

<b>Forkortelser .....</b>	<b>4</b>
<b>Sammenfatning og konklusion .....</b>	<b>5</b>
<b>Summary and Conclusion.....</b>	<b>9</b>
<b>Forord.....</b>	<b>12</b>
<b>1. Baggrund .....</b>	<b>13</b>
<b>2. Systembeskrivelse .....</b>	<b>15</b>
2.1 Amminex Emissions Technology A/S.....	15
2.2 Emicon Systems.....	16
2.3 Purefi A/S.....	18
<b>3. Systemernes evne til at reducere udledningen af NO<sub>x</sub> ved bykørsel .....</b>	<b>21</b>
3.1 Datalogning.....	22
3.2 Måleprincip for NO <sub>x</sub> sensorerne.....	23
3.3 Databehandling.....	24
3.3.1 Bemærkninger vedrørende reduktionskriterierne .....	24
3.4 Beregnede nøgletal for busserne .....	25
3.5 Modtryk over systemerne .....	39
<b>4. Driftserfaringer.....</b>	<b>43</b>
4.1 Systemleverandører .....	43
4.1.1 Amminex Emissions Technology A/S.....	43
4.1.2 Emicon Systems .....	44
4.1.3 Purefi A/S .....	46
4.2 Busoperatører .....	48
4.2.1 Anchersen ApS .....	48
4.2.2 Keolis Bus Danmark A/S (tidligere City-Trafik).....	49
4.2.3 Keolis Bus Danmark A/S (tidligere NettBuss).....	49
4.2.4 Arriva Danmark A/S .....	50
<b>5. Nøgleresultater fra test på rullefelt .....</b>	<b>51</b>
5.1 Resultater og vurderinger fra test på rullefelt .....	52
5.1.1 Ammoniakslip .....	53
<b>Referencer .....</b>	<b>55</b>
<b>Bilag 1: Dataloggede parametre .....</b>	<b>56</b>
<b>Bilag 2: Databehandling .....</b>	<b>67</b>
<b>Bilag 3: Modtryk over kombinationssystemerne .....</b>	<b>69</b>

# Forkortelser

ASC	Ammonia Slip Catalyst
ASDS™	Ammonia Storage and Delivery System
ATC	Active Temperature Control
CANbus	Controller Area Network, vehicle bus standard
DOC	Diesel Oxidations Catalyst (forkatalysator)
DPF	Diesel Particulate Filter (dieselfilter)
ECU	Engine Control Unit
EEV	Enhanced Environmentally (Friendly) Vehicle
EGR	Exhaust Gas Recirculation
FTIR	Fourier Transform InfraRed spektrometer
GPS	Global Positioning System
HC	Hydro Carbon (kulbrinter)
NO <sub>x</sub>	Kvælstof forbindelserne NO og NO <sub>2</sub>
OBD	On-Board Diagnostics
OEM	Original Equipment Manufacturer
PN	Particle Number
SCR	Selective Catalytic Reduction
SCRT®	Selective Catalytic Reduction Technology
WHTC	World Harmonized Transient Cycle
WHVC	World Harmonized Vehicle Cycle

# Sammenfatning og konklusion

Trafikskabet Movia har med dette projekt haft til formål at udvikle og teste nye metoder til at reducere NO<sub>x</sub>-emissioner og partikler fra dieselbusser ved eftermontering af nye efterbehandlingssystemer (retrofitsystemer). Testen er primært baseret på kørsel under normal drift. Målet har været at opgradere eksisterende Euro IV, Euro V og EEV-busser til så tæt på eller bedre end Euro VI-normen.

Projektet blev iværksat i 2013 af Movia og gennemført i samarbejde med FORCE Technology og med støtte fra Miljøstyrelsens program for Grøn Teknologi. Projektet har været fulgt af en arbejdsgruppe bestående af Christian Lange Fogh og Mariane Hounum fra Miljøstyrelsen, Victor Clemens Hug og Jakob Villien fra Movia, Niels-Anders Nielsen fra Trafikstyrelsen, René Bauer fra Dansk Handels Consult og Frantz Bræstrup og Karsten Fuglsang fra FORCE Technology.

En række leverandører af systemer til reduktion af partikler og NO<sub>x</sub>-emissioner fra tunge køretøjer har i de senere år udviklet prototyper af nye efterbehandlingssystemer. Deltagelse i projektet har gjort det muligt for tre danske leverandører af retrofitsystemer at udvikle og afprøve systemerne til en række relevante busmodeller samt at teste systemerne under almindelige driftsforhold. Systemleverandørerne i projektet var:

- Amminex Emissions Technology A/S
- Emicon Systems
- Purefi A/S

Leverandørernes systemer blev testet på i alt ni busser, der var klassificeret som enten Euro IV, Euro V eller EEV. Data blev desuden indsamlet for to dieselbusser (hhv. Euro IV og EEV), som har beholdt det oprindelige efterbehandlingssystem og derfor er anvendt som referencebusser.

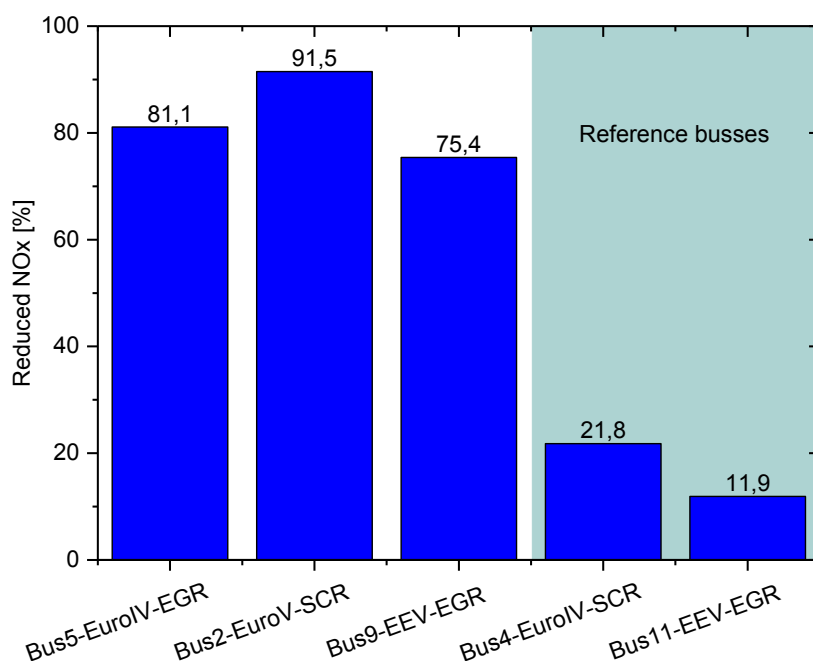
Følgende busoperatører har deltaget i projektet ved at stille busser til rådighed:

- Arriva Danmark A/S
- Keolis Bus Danmark A/S
- Anchersen ApS

Data er indsamlet for drift af systemerne fra august 2014 til og med april 2015, hvoraf de første 3 måneder primært var tilegnet en indkøring af systemerne. Denne afsluttende rapport omfatter derfor alene testperioden fra november 2014 til og med april 2015. Foruden indsamlede data for drift af systemerne har Teknologisk Institut i Århus udført test på fem busser på rullefelt ved WHVC (World Harmonized Vehicle Cycle) kørselscyklus.

Erfaringer med kontinuert logging af driftsdata viste, at der er muligt at indsamle valide driftsdata over en længere testperiode, og at disse data kan anvendes til at karakterisere bussens emissionsudledning og generelle køremønstre. Ligeledes blev det demonstreret, at det er muligt at opnå en betydelig NO<sub>x</sub>-reduktion med samtlige af de eftermonterede systemer i forhold til referencebusser (busser med originalt fabriksmonteret emissionsreducerende udstyr). Følgende tekniske konklusioner og resultater blev opnået fra indsamlingen af driftsdata:

- Systemer med lavere virkningsgrader har generelt en større temperaturafhængighed.
- Busser med velfungerende eftermonterede systemer, havde generelt mange driftstimer.
- Gennem testperioden opnåede Emicon Systems højeste gennemsnitlige reduktionsgrad af NO<sub>x</sub> på Euro IV busserne (ca. 80%), se Figur 1.
- Systemet fra Amminex Emissions Technology opnåede højeste reduktionsgrad af NO<sub>x</sub> for Euro V busserne (ca. 90%), se Figur 1.
- Systemløsningen fra Purefi A/S opnåede højeste reduktionsgrad af NO<sub>x</sub> (ca. 75%) for EEV busserne, se Figur 1.
- Generelt er der ingen umiddelbar sammenhæng mellem en høj virkningsgrad for NO<sub>x</sub>-reduktion og udledningen af NO<sub>x</sub> fra motoren.
- Modtrykket over systemerne var alle mindre en 20 kPa, som Trafikstyrelsen angiver som den øvre grænseværdi for eftermontering af filtre, dog målt ved maksimal belastning på motoren, hvilket ikke umiddelbart kan aflæses i den indsamlede data.
- Visse systemenheder bør tilpasses de kørselsmønstre, som busserne har i daglig drift. Køres busserne eksempelvis under anderledes driftsforhold, hvor højere driftstemperaturer opnås, kan rensningseffektiviteten af partikelfilteret øges så meget, at rensningsgraden reduceres på grund af manglende ”sodkage”. Varigheden af nedsat reduktionsgrad afhænger af, hvor længe bussen fortsætter i ”unormal drift”. Ligeledes blev det erfaret, at drift af SCR-funktionen ved brug af AdBlue® for NO<sub>x</sub>-reduktion skal tilpasses/kalibreres til det aktuelle kørselsmønster.



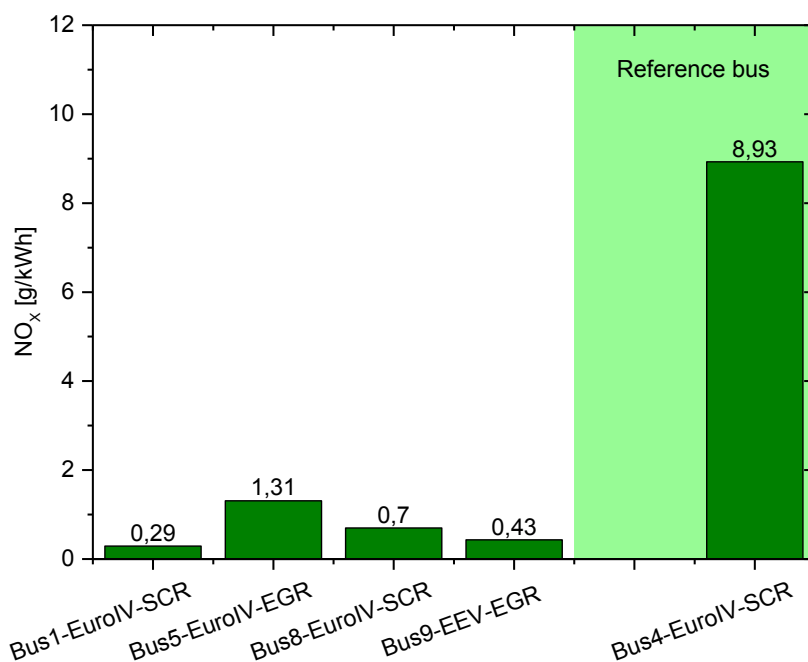
**FIGUR 1**

GENNEMSNITLIG REDUKTION AF NO<sub>x</sub> FOR UDVALGTE DEMONSTRATIONSBUSSER. PERIODEN DÆKKER NOVEMBER 2014 TIL OG MED APRIL 2015. BUS2-EUROV-SCR (AMMINEX EMISSIONS TECHNOLOGY A/S), BUS5-EUROIV-EGR (EMICON SYSTEMS) OG BUS9-EEV-EGR (PUREFI A/S). [AVERAGE REDUCTION OF NO<sub>x</sub> FROM SELECTED BUSES. THE TEST PERIOD COVERS NOVEMBER 2014 TO APRIL 2015. BUS2-EURO V-SCR (AMMINEX EMISSIONS TECHNOLOGY A/S), BUS5-EURO IV-EGR (EMICON SYSTEMS) OG BUS9-EEV-EGR (PUREFI A/S).]

Test af busser på rullefelt hos Teknologisk Institut viste, forudsat korrekt justering og vedligeholdelse, at det er muligt med eftermonterede SCRT®-baseret kombinationssystemer at opnå emissionsgrænser for NO<sub>x</sub> og partikler, der enten når tæt på eller opfylder kravene for Euro VI. Dog krævede de eftermonterede systemer nogen grad af optimering. Resultaterne viste yderligere:

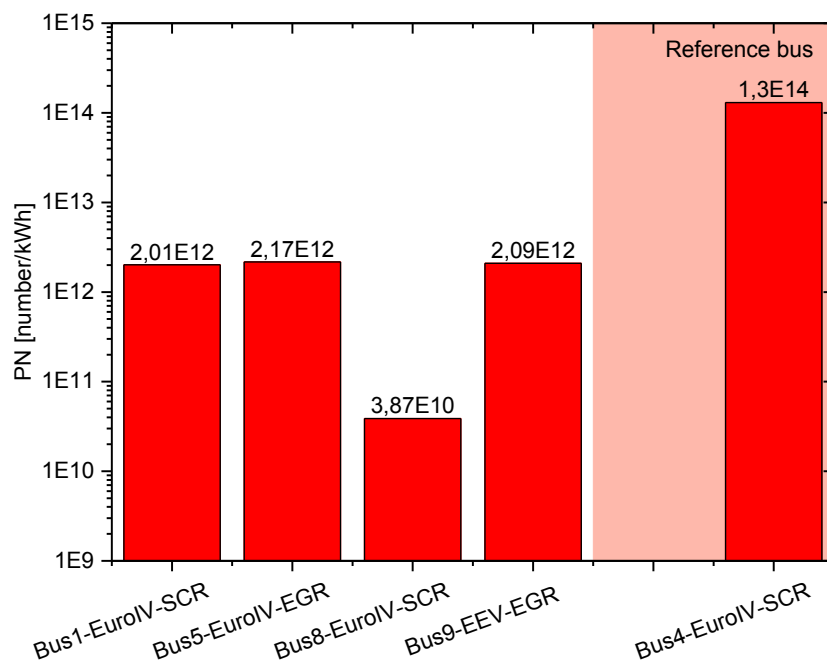
- Trods visse udfald i almindelig drift, som influerede negativt på gennemsnitsværdien for NO<sub>x</sub>-fjernelsen, opnåede Amminex Emissions Technology's Euro IV-bus den højeste NO<sub>x</sub>-omsætning af alle busser testet på rullefelt (se Figur 2).
- Systemet fra Purefi A/S viste også høje NO<sub>x</sub>-reduktioner, og udledningen fra EEV bussen var under grænseværdien for Euro VI-busser (se Figur 2).
- Resultaterne med Emicon Systems teknologiløsning viste ligeledes, at det var muligt at opnå en NO<sub>x</sub>-reduktion, der var bedre end den tilhørende referencebus samt gældende grænseværdi for bussens respektive Euro-norm (se Figur 2).
- De bedste resultater for reduktion af partikeludledning blev opnået af Purefi A/S, der opnåede dette ved at anvende en ny type filter med en mindre porestørrelse end de øvrige testede busser. Partikeludledningen fra Bus8-EuroIV-SCR overholdt grænseværdien for Euro VI (6,00E+11 [antal/kWh]) med en reduktion på 99,97% i forhold til en Euro IV referencebus. Den vægtede partikeludledning for de øvrige busser var omkring 2E+12 [antal/kWh], der derved ikke helt nåede grænseværdien for Euro VI (se Figur 3). Reduktionen af partikelantal var dog omkring 98%.
- Udledning af ammoniak i udstødningsgassen blev ligeledes målt. Euro IV-busserne fra Emicon Systems og Purefi A/S havde udfordringer med at overholde grænseværdien på 10 ppm for Euro VI, mens systemet fra Amminex Emissions Technology A/S samt EEV-bussen med systemet fra Purefi A/S begge overholdt grænseværdien for Euro VI ved test på kold og varm motor.

Det vurderes og anbefales, at man følger op på systemernes virkningsgrad og stabilitet under normale driftsforhold. Dette kan eksempelvis gennemføres ved hjælp af regelmæssige miljøsyn.



**FIGUR 2**

UDLEDNING AF NO<sub>x</sub> FRA BUSSE RÅLT PÅ RULLEFELT VED WHVC. REFERENCEBUSSEN ER VIST TIL HØJRE PÅ FIGUREN. BUS1-EUROIV-SCR (AMMINEX EMISSIONS TECHNOLOGY A/S), BUS5-EUROIV-EGR (EMICON SYSTEM), BUS8-EUROIV-SCR (PUREFI A/S) OG BUS9-EEV-EGR (PUREFI A/S). [NO<sub>x</sub> EMISSION FROM BUSES TESTED UNDER WHVC CONDITIONS IN AT CHASSIS DYNAMOMETER. THE REFERENCE BUS IS SHOWN IN THE RIGHT SIDE OF THE FIGURE. BUS1-EURO IV-SCR (AMMINEX EMISSIONS TECHNOLOGY A/S), BUS5-EURO IV-EGR (EMICON SYSTEM), BUS8-EURO IV-SCR (PUREFI A/S) OG BUS9-EEV-EGR (PUREFI A/S).]



**FIGUR 3**

UDLEDNING AF PARTIKELANTAL FRA BUSSE R MÅLT PÅ RULLEFELT VED WHVC. REFERENCEBUSSEN ER VIST TIL HØJRE PÅ FIGUREN. BUS1-EUROIV-SCR (AMMINEX EMISSIONS TECHNOLOGY A/S), BUS5-EUROIV-EGR (EMICON SYSTEM), BUS8-EUROIV-SCR (PUREFI A/S) OG BUS9-EEV-EGR (PUREFI A/S). [EMISSIONS OF PARTICLE NUMBER FROM BUSES TESTED UNDER WHVC CONDITIONS IN AT CHASSIS DYNAMOMETER. THE REFERENCE BUS IS SHOWN IN THE RIGHT SIDE OF THE FIGURE. BUS1-EURO IV-SCR (AMMINEX EMISSIONS TECHNOLOGY A/S), BUS5-EURO IV-EGR (EMICON SYSTEM), BUS8-EURO IV-SCR (PUREFI A/S) OG BUS9-EEV-EGR (PUREFI A/S).]

Foruden de tekniske aspekter, har projektet indsamlet værdifulde erfaringer vedrørende driftsforhold og samspil mellem systemleverandører og busoperatører. Sidstnævntes vurdering af systemerne har fokuseret på de daglige driftsbetingelser, og deres vurdering afspejler derfor det umiddelbare indtryk af de eftermonterede systemer samt samarbejdet med systemleverandørerne. Følgende generelle erfaringer for samspillet mellem systemleverandører og busoperatører blev indhentet:

- Generelt krævede det en tilpasning fra systemleverandørernes side til at forstå, at adgangen til busserne var betinget af driften. Dvs. at busserne ikke altid kunne bese, når systemleverandøren havde behov for dette. Der opstod dog en gradvis forståelse herfor i løbet af projektet.
- Systemleverandørerne oplevede dog også i flere tilfælde, at busserne ikke kom hjem som aftalt, hvilket øgede udfordringen med at servicere og udbedre fejl på systemerne. Denne udfordring blev dog gradvis løst undervejs i projektet.
- Generelt har buschaufførerne ikke rapporteret i tilstrækkelig grad tilbage til værkstedet, hvis der havde været en alarm på bussen. Flere af systemleverandørerne fik dog til dels afhjulpet denne udfordring ved selv at overvåge alarmerne undervejs i projektet.

Projektet har som helhed tilvejebragt data og erfaringer fra drift af busser med retrofitsystemer. Projektet har ligeledes bidraget med et teknisk veldokumenteret grundlag for at reducere NO<sub>x</sub>-forurening med op til ca. 90% fra busser, som endnu har en betydelig teknisk levetid. Ligeledes har projektet vist, at eftermontering af partikelfiltre kan reducere udledningen af partikler fra Euro IV busser med 98 og 99,97%.



# Summary and Conclusion

Movia initiated this project with the purpose of developing and testing new methods to reduce NO<sub>x</sub> and particle emissions from diesel buses by applying a retrofit emission reduction system. The goal has been to upgrade existing Euro IV, Euro V and EEV-buses to the emissions standards of Euro VI, or better.

The project was initiated and undertaken in 2013 by Movia in collaboration with FORCE Technology. The project received financial support from the program for Green Technology of The Danish Environmental Protection Agency, and it was supported by a working group consisting of Christian Lange Fogh and Mariane Hounum from The Danish Environmental Protection Agency, Victor Clemens Hug and Jakob Villien from Movia, Niels-Anders Nielsen from the Danish Transport and Construction Agency, René Bauer from Dansk Handels Consult and Frantz Bræstrup and Karsten Fuglsang from FORCE Technology.

Over the past few years, suppliers of retrofit systems for after-treatment of NO<sub>x</sub> and particle emissions from heavy duty vehicles have developed different prototype systems. This project has made it possible for three Danish suppliers of retrofit systems to develop and test their technologies on a series of common models of diesel buses during normal conditions of operation. The three suppliers were:

- Amminex Emissions Technology A/S
- Emicon Systems
- Purefi A/S

The prototype systems were tested on nine buses, which had been previously type approved as either Euro IV, Euro V, or EEV. Two additional buses (Euro IV and EEV) equipped with original systems for after treatment of flue gasses were also tested. These buses were used as reference buses. The following bus operators provided test buses to the project:

- Arriva Danmark A/S
- Keolis Bus Danmark A/S
- Anchersen ApS

Data was collected from city buses running under normal conditions of operation from August 2014 to April 2015. During the first three months, the system suppliers made adjustments to the different systems. Therefore, this report covers only the test period from November 2014 to April 2015. Additional measurements on system performance were made on a chassis dynamometer by the Danish Technological Institute in Århus. Data were collected from five different buses tested under the World Harmonized Vehicle driving Cycle (WHVC).

Results from the relatively long time series of data during actual operation have shown it being possible to collect valid information on the emission patterns and general driving patterns from buses running at normal conditions of operation in urban areas. Furthermore, it has shown that a significant NO<sub>x</sub> reduction could be obtained with all retrofitted systems compared to reference buses (buses equipped with original systems for after treatment). The following technical results were obtained from the continuous collection of data:

- Systems with lower performance for NO<sub>x</sub> reduction show greater temperature dependence.
- In general, buses with a well functioning retrofit system had more hours of operation.
- Through the test period, Emicon Systems obtained the highest reduction rate for NO<sub>x</sub> of the tested Euro IV buses (ca. 80%), see Figure 1.
- The system from Amminex Emission Technology obtained the highest rate for NO<sub>x</sub> reduction of the tested Euro V buses (ca. 90%), see Figure 1.
- The system technology from Purefi A/S obtained the highest reduction rate for NO<sub>x</sub> measured on EEV buses (ca. 70%), see Figure 1.
- There is no direct correlation between a high level of NO<sub>x</sub> reduction and the amount of NO<sub>x</sub> emitted directly from the engine.
- The measured back pressure of all the retrofitted systems were below 20 kPa, which are the maximum back pressure (at maximum engine effect) allowed by the Danish Transport and Construction Agency. However, the engine output was not measured directly.
- Certain system units should be adjusted to the driving pattern of the individual buses. If a bus operates at conditions different from its normal routine, the efficiency of the particle filter may vary considerable for shorter periods of time. Similar observations were seen on SCR units where the amount of injected AdBlue® needed to be optimized to the actual driving pattern of the bus.

Buses tested on the chassis dynamometer showed that, provided correct adjustments and maintenance of the retrofitted SCRT® based systems, it is possible to achieve an emission of NO<sub>x</sub> and particles, which are comparable with the Euro IV emission standard. However, the systems are still prototypes and need various degrees of optimization. Furthermore, the results from the chassis dynamometer test showed that:

- Despite periods where the system was inactive during the continuously sampling of data in urban areas, the bus from Amminex Emissions Technology A/S achieved the highest NO<sub>x</sub> conversion of all tested buses on the chassis dynamometer (see Figure 2).
- The system from Purefi A/S also showed high levels of NO<sub>x</sub> conversion and the emission from their EEV bus was below the emission limit for Euro VI (see Figure 2).
- Results of measurement from the bus equipped with the technology from Emicon Systems showed that it was possible to achieve a NO<sub>x</sub> reduction that was significant better than the reference bus (see Figure 2).
- The best result for the reduction of particle emission was achieved by Purefi A/S by using a particle filter with a smaller pore size compared to the other buses. The particle emission from Bus8-EuroIV-SCR was below the emission limit of Euro VI ( $6.00E+11$  [number/kWh]) with a reduction rate of 99.97% compared to the Euro IV reference bus. The weighted particle emission from the other buses were around  $2E+12$  [number/kWh], which is higher than the emission limit of Euro VI (see Figure 3). However, the reduction rate was still around 98%.
- Tests of the tailpipe emissions of ammonia showed that Euro IV buses equipped with systems from Emicon Systems and Purefi A/S exceeded the emission threshold of Euro VI (10 ppm). The systems from Amminex Emissions Technology A/S on Euro IV bus and the EEV bus from Purefi A/S were both below 10 ppm measured on both a cold and hot engine.

It is recommended that performance and stability of the different systems are tested regularly by routine inspection under normal conditions of operation.

Besides covering the technical aspects of the different systems, the project has gathered valuable information about conditions of operation and the joined ensemble between bus operators and the supplier of the retrofitted systems. The bus operators have evaluated the systems with focus on the

daily conditions for operating the buses. The collaboration between bus operators and the supplier of the retrofitted systems is summarized as the following:

- The suppliers of retrofit systems had to accept that the access to the buses depended on the conditions of operation. As an example, buses were not always available when the suppliers needed to adjust or change parameters on their systems. However, these issues were gradually overcome and a common understanding was achieved through the test period.
- Some of the suppliers did experience cases where buses did not return to their garage as agreed upon with the bus operators. This challenged the need to insure that defect systems could be repaired within a short time frame. These issues were also gradually overcome through the test period.
- In general, the bus drivers did not report sufficiently when alarms related to the retrofitted systems were activated. A few suppliers solved that by monitoring all alarms themselves in order to be able to make a quick response.

The project has provided valuable information about conditions of operation for buses with retrofitted emission controlled systems. The results of this project also provided knowledge about the possibilities to reduce NO<sub>x</sub> and particle emissions from older buses that will remain in service for a substantial period of time. Results show that some of the retrofit systems can reduce NO<sub>x</sub> emission by 75 - 90% and particle emissions from Euro IV buses by 98 - 99.97%.

# Forord

Denne rapport er et resultat af et projekt, der blev iværksat i 2013 af Movia med støtte fra Miljøstyrelsens program for Grøn Teknologi. Projektet har haft til formål at udvikle og teste nye metoder til at reducere NO<sub>x</sub>-emissioner (kvælstof forbindelserne NO og NO<sub>2</sub>) og partikler fra dieselbusser ved eftermontering af nye efterbehandlingssystemer (retrofitsystemer). Målet har været at opgradere eksisterende Euro IV, Euro V og EEV-busser til så tæt på eller bedre end Euro VI-normen.

En række leverandører af systemer til reduktion af partikler og NO<sub>x</sub>-emissioner fra tunge køretøjer har i de senere år udviklet prototyper af nye efterbehandlingssystemer. Deltagelse i projektet har gjort det muligt for tre danske leverandører af retrofitsystemer, Amminex Emissions Technology A/S, Emicon Systems og Purefi A/S at udvikle og afprøve retrofitsystemer til en række relevante busmodeller samt at teste systemerne over en længere testperiode og under almindelige driftsforhold. De tre systemleverandører har som led i projektet hver installeret SCR/DPF systemer på i alt ni busser. Disse ni busser er i projektet sammen med to referencebusser testet over en periode på i alt 9 måneder.

Producenternes systemer er testet på i alt ni Euro IV, Euro V og EEV-busser. Data er desuden indsamlet for to dieselbusser (hhv. Euro IV og EEV), som har beholdt det oprindelige efterbehandlingssystem, og som er anvendt som referencebusser. Følgende busoperatører har deltaget i projektet ved at stille busser til rådighed: Arriva Danmark A/S, Keolis Bus Danmark A/S og Anchersen ApS. Data er indsamlet for drift af systemerne fra august 2014 til og med april 2015, hvoraf de første 3 måneder primært var tilegnet en indkøring af systemerne. Datarapportering omfatter derfor alene testperioden fra november 2014 til og med april 2015.

Projektet har tilvejebragt data og erfaringer fra drift af busser med retrofitsystemer, og projektet har bidraget med et teknisk veldokumenteret grundlag for at reducere NO<sub>x</sub>-forurening fra busser, som endnu har en betydelig teknisk levetid.

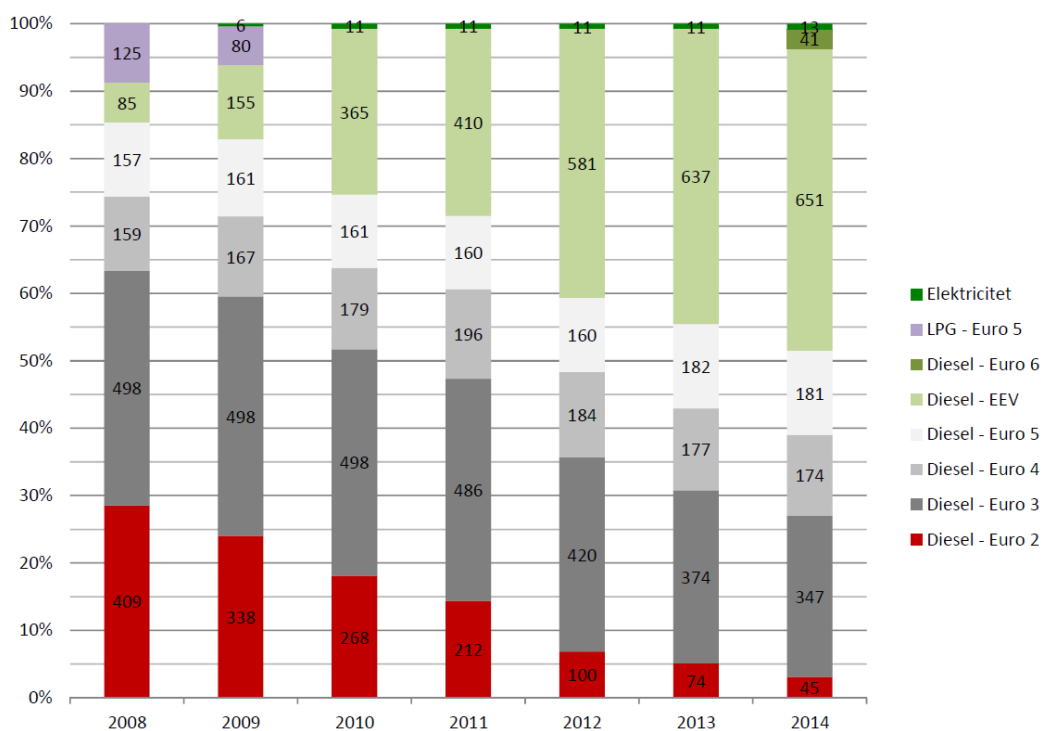
Projektet har været fulgt af en arbejdsgruppe bestående af Christian Lange Fogh og Mariane Hounum fra Miljøstyrelsen, Victor Clemens Hug og Jakob Villien fra Movia, Niels-Anders Nielsen fra Trafikstyrelsen, René Bauer fra Dansk Handels Consult og Frantz Bræstrup og Karsten Fuglsang fra FORCE Technology. Rapporten er udarbejdet af FORCE Technology ved projektleder Frantz Bræstrup.

# 1. Baggrund

Udledning af lokal luftforurening fra nye køretøjer er i EU reguleret gennem EU's emissionsstandard, også kaldet Euronorm. Fra Euro I-normen for tunge køretøjer blev indført i 1992, til Euro VI-normen trådte i kraft i 2013, er grænseværdien for nye bussers udledning af NO<sub>x</sub> og partikler blevet reduceret med hhv. 95% og 98%. Al Movias busdrift er udlagt til private operatører, hvor kontrakterne har en løbetid på 6 år med mulighed for forlængelse med op til yderligere 6 år. Movia stiller sædvanligvis et mindstekrav om Euro III materiel i nye kontrakter, men der gives point for busmateriel, som indfrier mere skrappe krav, dvs. Euro VI, Euro V, EEV og Euro VI. Movias busser har en forventet levetid på 12 år. Movia forventer således først, at alle busser i Movias kontrakter vil indfri Euro VI fra 2026. Ønskes en hurtigere udfasning af busser, som ikke møder emissionsudledninger fra Euro VI, vil det være nødvendigt at eftermontere retrofitsystemer på eksisterende busser.

Movias flåde af busser omfatter ca. 1450 busser. Figur 4 viser Movias busflåde fordelt på Euronorm.

**Antal busser fordelt på Euronorm**



**FIGUR 4**

MOVIAS BUSFLÅDE FORDELT PÅ EURONORM FOR PERIODEN 2008-14. Y-AKSEN VISER PROCENTANDELEN, MENS TALLENE PÅ SØJLEN VISER DET FAKTISKE ANTAL BUSSE. I HELE DEN VISTE PERIODE HAR DER PÅ EURO II OG EURO III VÆRET EFTERMONTERET PARTIKELFILTER. EN STOR DEL AF DISSE BUSSE HAR LIGELEDES HAFT ET NO<sub>x</sub>-EFTERBEHANDLINGSSYSTEM EFTERMONTERET.

Løbende indfasning af busser, som indfrier nyeste Euro-norm betyder, at emissionerne fra busflåden konstant reduceres. Langt hovedparten af de tilbagelagte kilometer køres i de nyeste busser med de laveste emissioner. Euro II og Euro III busser vil i de kommende år blive faset ud af Movias busflåde, hvorfor det er af begrænset interesse for Movia, at der udvikles efterbehandlingssystemer til disse busser.

Movias ejere (Region Hovedstaden, Region Sjælland og de to regioners 45 kommuner) har stillet et miljømål for 2020 om en 75% reduktion i udledning af NO<sub>x</sub> og partikler fra busdriften i forhold til 2008. I 2014 havde Movia allerede realiseret en reduktion på 62% i udledning af NO<sub>x</sub> og 78% i udledning af partikler. Selvom udledning af NO<sub>x</sub> og partikler fra Movias busflåde er blevet reduceret markant, udgør busflåden et betydeligt bidrag til den lokale luftforurening. Dette gør sig særligt gældende i København, hvor der i visse områder er problemer med at overholde EU-fastsatte grænseværdier for udledning af NO<sub>x</sub> og partikler.

Der er betydelige forskelle på faktiske emissioner fra tunge køretøjer og de emissionsstandarder, som køretøjerne er godkendt til. Køretøjernes udledning testes under forhold, som adskiller sig fra faktiske driftsforhold, hvilket betyder, at mange køretøjer har større udledninger ved praktisk drift end de grænseværdier, som de er godkendt til. Movia har således en stor interesse i, at der udvikles effektive, billige og driftssikre efterbehandlingssystemer, som kan eftermonteres i Movias busflåde af Euro IV, Euro V og EEV-busser.

## 2. Systembeskrivelse

### 2.1 Amminex Emissions Technology A/S

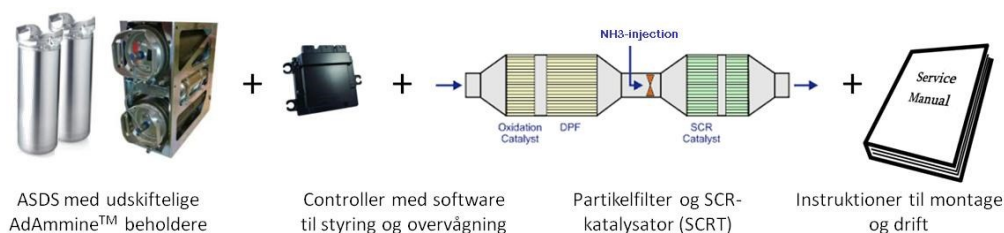
Systemløsningen fra Amminex Emissions Technology A/S er en kombination af partikelfilter (DPF), en SCR-katalysator (Selective Catalytic Reduction) og ASDS-enheden, som doserer ammoniakgas ( $\text{NH}_3$ ) til SCR-katalysatoren og dermed sikrer høj  $\text{NO}_x$ -fjernelse ved bykørsel.

Purefi A/S har i dette projekt stået for den mekaniske del af projektet bestående af design samt systemintegrering af partikelfilter samt katalysatorenheder i emissionsudstyret.

Partikelfilterenheden er af typen Purefi Active System, som består af en metallisk forkatalysator samt en coated Silicium Carbid filterkerne. Systemet er designet til aktiv regenerering ved hjælp af diesel injektion i udstødningen. Partikelfilteret er på listen over Trafikstyrelsens godkendte filtre til eftermontering [ref1].

SCR-enheden er designet med et forkammer til optimal opblanding af udstødningsgas og ammoniakgas. Afslutningsvis er SCR-enheden forsynet med en ammoniak "slipcat" (ASC). SCR-katalysatoren og tilhørende slipcat er udviklet med fokus på lav SCR-temperatur.

Amminex' løsning adskiller sig fra andre SCR-systemer ved, at additivet til  $\text{NO}_x$ -reduktion doseres fra Amminex ASDS™ direkte som ammoniak til forskel fra en traditionelt vandig opløsning af urea (AdBlue®). Dette forbedrer fjernelse af  $\text{NO}_x$  – specielt ved langsom kørsel. Signalet fra  $\text{NO}_x$ -sensorerne, der er implementeret i softwaren, benyttes til både at beregne ammoniakdosering til overvågning af effektiviteten og generel diagnostik af den samlede løsning. Figur 5 viser de vigtigste kernelementer i systemet:



FIGUR 5  
DE VÆSENTLIGSTE ELEMENTER I DEN SAMLEDE ASDS-SCR-T LØSNING.

- CE-mærket ASDS™ (**A**mmonia **S**torage and **D**elivery **S**ystem) med genfyldelige AdAmmine™-beholdere til  $\text{NO}_x$ -reduktion via ammoniakdosering, der aktiverer SCR-katalysatoren optimalt ved lav driftstemperatur (bykørsel).
- SCRT®-enhed (Selective Catalytic Reduction Technology)<sup>1</sup> med godkendt partikelfilter og state-of-the-art SCR-katalysator.  $\text{NO}_x$ -senserer placeret før og efter katalysatoren bruges til doseringsalgoritmerne og til overvågning af  $\text{NO}_x$ -effektiviteten.
- Elektronisk styringsenhed (controller) med software til ammoniakdosering samt overvågning af system/effektivitet med advarselssystem til brugeren i tilfælde af

<sup>1</sup> En SCRT® enhed er en kombination af en SCR enhed (Selective Reduction Catalyst) og et partikelfilter (Regenerating Trap).

uregelmæssig drift eller mangel på additiv. Kalibreringen af ammoniakdoseringen for NO<sub>x</sub>-reduktionen er robust og kræver typisk ingen justering efter montage.

- Relevante instruktioner til montage og drift.

ASDS™-enheden er opbygget modulært omkring den patenterede AdAmmine™-beholder og de systemkomponenter, som står for doseringen af ammoniakken til SCR'en. Systemet er en standardkonfiguration, hvor kun rammen for installation tilpasses de forskellige busser.

ASDS™-enheden doserer gasformig ammoniak direkte til SCR katalysatoren i SCRT®-enheden, og ammoniakken frigives gradvist fra det faste stof i AdAmmine™-beholderen, som vist i Figur 6. Hver AdAmmine™-beholder har en kapacitet på 4 kg NH<sub>3</sub>, og medfører en fjernelse af 10 kg NO<sub>x</sub> på bussen (1 gNH<sub>3</sub> fjerner 2.5 g NO<sub>x</sub>). I stedet for at genfylde en tank med AdBlue®-væske skal denne beholder blot ombyttes med en genmættet.



### **1 stk. AdAmmine™ beholder:**

- **11 liter rumfang**
- **4kg absorberet ammoniak**
- **Fjerner 10 kg NO<sub>x</sub>**

**FIGUR 6**

*EN ADAMMINE-BEHOLDER PÅ 11 LITER MED KAPACITET PÅ 4 KG LAGRET AMMONIAK. INDHOLDET SVARER TIL 20 LITER ADBLUE®.*

SCRT®-enheden indbygges efter motoren i busserne og erstatter det eksisterende udstødningssystem. Partikelfilter og SCR-katalysator til SCRT®-enheden er kendte teknologier. ASDS™-enheden sammen med SCR-katalysatoren giver bedre betingelser for NO<sub>x</sub>-fjernelse end de traditionelle begrænsninger for dosering af AdBlue® ved lav SCR-temperatur. Der doseres ammoniak ved SCR-temperaturer ned til 150 – 160 °C, hvor AdBlue® typisk først virker ved ca. 220 °C ved retrofit. NO<sub>x</sub>-reduktionen opnås uden negativ indflydelse på bussens dieselforbrug.

## **2.2 Emicon Systems**

Emicon Systems anvendte et SCRT® system, som kombinerer to velkendte teknologier; en SCR-katalysator og et partikelfilter. For reduktion af partikler, baserer Emicons løsning sig på passiv<sup>2</sup> regenerering af partikler og en diesel oxidations katalysator (DOC). Emicon Systems anvender Liqtech 200psi filterteknologi (Principgodkendelse 18E), som har et modtryksmønster, der ligger lavere end de tidligere anvendte 90 og 150 cpsi filter teknologier. Partikelfiltrene blev tilpasset på motoren med EGR-ventiler (Exhaust Gas Recirculation) uden at foretage en 100 % EGR-blending.

I SCRT®-kombinationssystemet havde DOC og den katalytiske filter coating op til 3 funktioner.

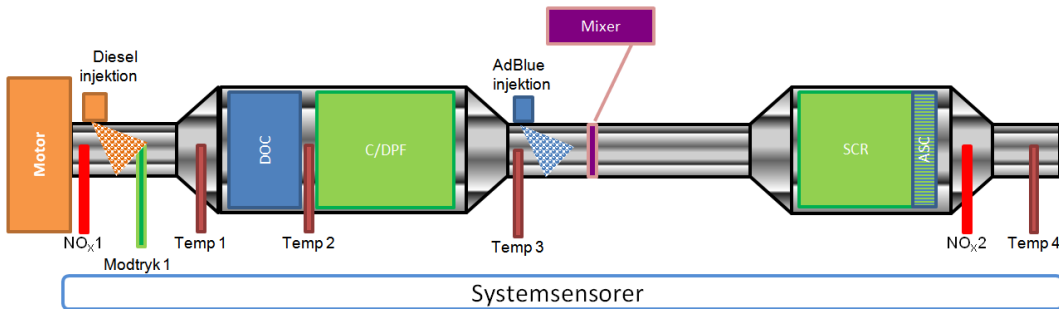
- Primær funktion 1; at producere NO<sub>2</sub> for passiv regenerering ved driftstemperaturer over 250 °C.
- Primær funktion 2; at oxidere injiceret HC (kulbrinter) for aktiv regenerering af partikelfilteret ved driftstemperaturer under 250 °C, og når modtrykket er for højt. I driftsperioden blev denne funktion dog ikke anvendt.

<sup>2</sup> Passiv regenerering af partikelfilteret foregår under normal kørsel og anvender temperaturen i udstødningsgassen til at oxidere partiklerne. Oxidationstemperaturen kan reduceres ved eksempelvis at øge andelen af NO<sub>2</sub> i udstødningsgassen ved indgangen til partikelfiltret. I kombination med dette kan partikelfilteret også være forsynet med en katalytisk coating, der ligeledes øger andelen af NO<sub>2</sub> i røggassen.

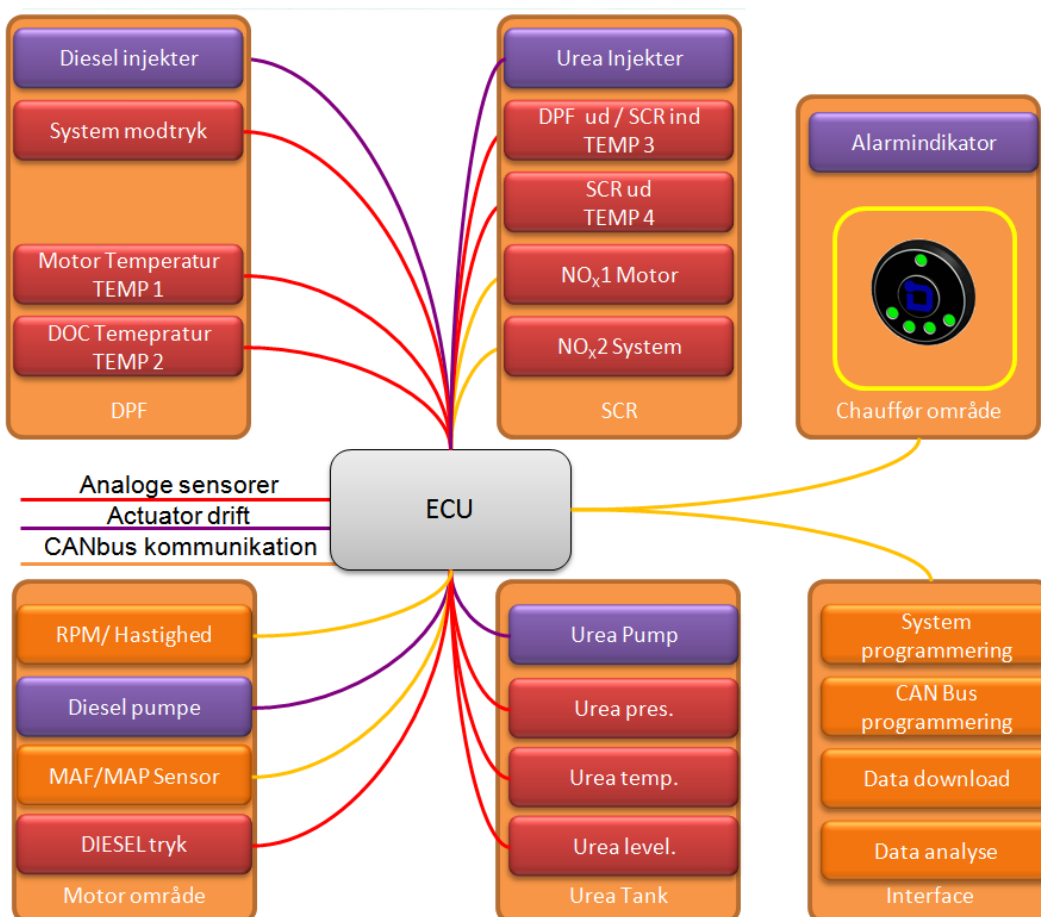


- Sekundær funktion; at øge mængden af NO<sub>2</sub> i røggassen i forholdet 50% NO og 50% NO<sub>2</sub> for optimering af NO<sub>x</sub>-reduktionen.

Til NO<sub>x</sub> reduktionen anvendes Haldor Topsøes TiO<sub>2</sub> SCR med ammoniakslip-katalysator (ASC). Kombinationssystemet er designet således, at der i emissionssystemet opsamles varme nok til at opnå en effektiv NO<sub>x</sub>-reduktion under forholdsvis ringe temperaturforhold samtidig med, at der i systemet er indbygget en varmevekslerfunktion, der sikrer en optimeret varmebehandling af den doserede AdBlue®. Hvert system specielt designes til den enkelte køretøjsmodel. Figur 7 og Figur 8 viser en skematisk opbygning af systemet.



FIGUR 7  
SKEMATISK TEGNING AF EMICON SYSTEMS KOMBINATIONSSYSTEM.



FIGUR 8  
ECU-MODUL (ENGINE CONTROL UNIT) FOR EMICON'S SYSTEMS TEKNOLOGI.

Derudover anvender Emicon Systems en avanceret ECU til overvågning af systemet via forskellige sensorer og forbindelse til køretøjets CANbus. Der er i grundopstillingen 153 forskellige

alarmfunktioner, som kan overvåges. Blandt et udvalg af de alarmer, der er koblet til systemet, kan nævnes følgende:

- Væskeniveauet i AdBlue®-beholderen.
- Sensor alarmer (alle sensorer overvåges mod kortslutning og ledningsbrud), herunder eksempelvis sodbelastningen i filtet, modtryk i alle belastningsområder, CANbus-signal, temperatur, service (tid), ureatryk og dieseltryk.
- Pumper og injektorer, hvor alle dele overvåges mod kortslutning og ledningsbrud.

Der var ikke aktiveret nødprogramsfunktioner i prototype-systemerne, der eksempelvis kunne reducere motorens effekt i forbindelsen med væsentlige systemfejl, som det kendes på nye køretøjer.

### **2.3 Purefi A/S**

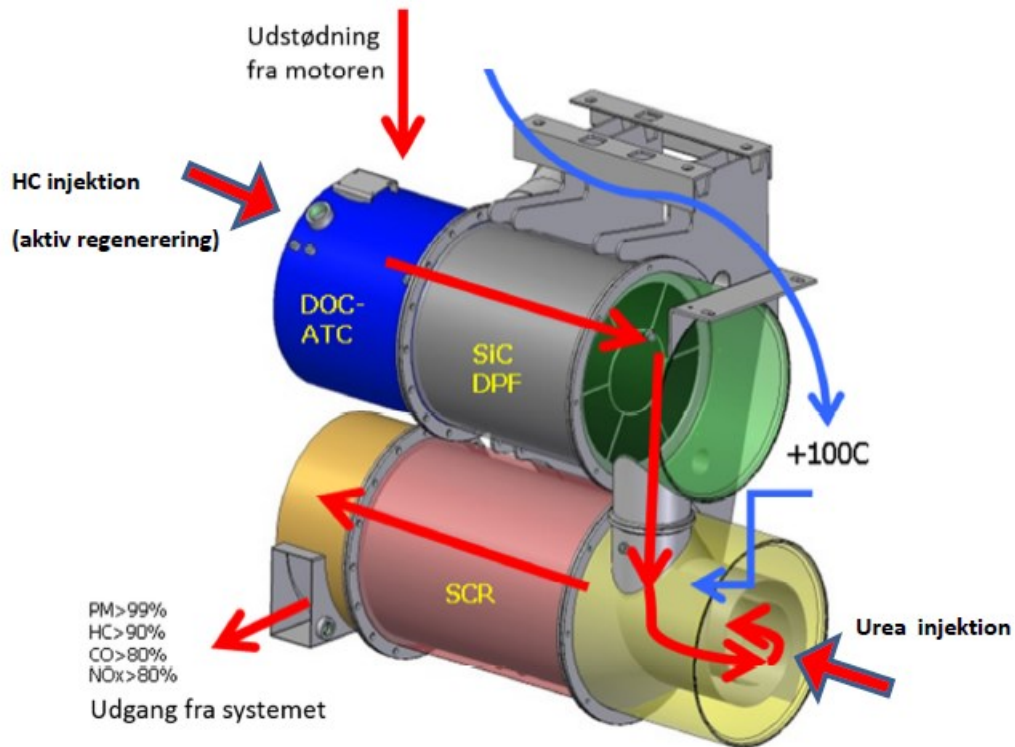
Purefi A/S deltager i projektet med 3 busser, som alle er blevet eftermonteret med et kombinationsprodukt af partikelfilter samt AdBlue® baseret SCR system med lavtemperaturteknologi og temperaturregulering (ATC) samt et aktiv regenerering af partikelfilter. Figur 9 viser den skematiske opbygning af Purefi DPF\_SCR-ATC kombinationssystem.

Teknologien fra Purefi A/S er optimeret til bykørsel, hvor udstødningstemperaturer generelt er lave. Purefi A/S anvender en nyudviklet partikelfilterkerne, der er baseret på Silicium Carbid og optimeret til Euro VI normen. Denne teknologi, kombineret med aktiv regenerering, som anvendes til opvarmning af filtersystemet sikrer imod, at filteret tilstopper pga. lave udstødningstemperaturer. Den aktive regenerering gør også, at modtrykket kan holdes konstant lavt, og dermed sker ingen forøgelse af brændstoføkonomien. Denne kombination af filtermateriale og strukturen i filteret muliggør en reduktionsgrad på mere end 99,9% af partiklerne. Denne type partikelfilter kan ligeledes monteres på busser med EGR-ventil uden yderligere indgreb.

Den anvendte SCR-katalysator er i mange henseender identisk med en fabriksmonteret enhed, som findes på f.eks. Euro VI køretøjer. Purefi A/S anvender OEM-dele (Original Equipment Manufacturer) til opbygning af SCR-systemet. Purefi's teknologi udmærker sig ved, at systemet selv kan hæve indgangstemperaturen i filteret samt SCR-katalysatoren fra under 200 °C til en udstødningstemperatur, hvor både partikelfilter og SCR-katalysatoren fungerer effektivt. Temperaturstigningen opnås ved at dosere en meget lille mængde diesel direkte ved forkatalysatoren (DOC), som har den egenskab at kunne antænde diesel og dermed hæve temperaturen over hele systemet som vist på Figur 10 og Figur 11.

AdBlue® påfyldes på samme måde som på eksisterende SCR-busser, og forbruget ligger på 2-5% af brændstofforbruget, afhængig af driftsbetingelserne.

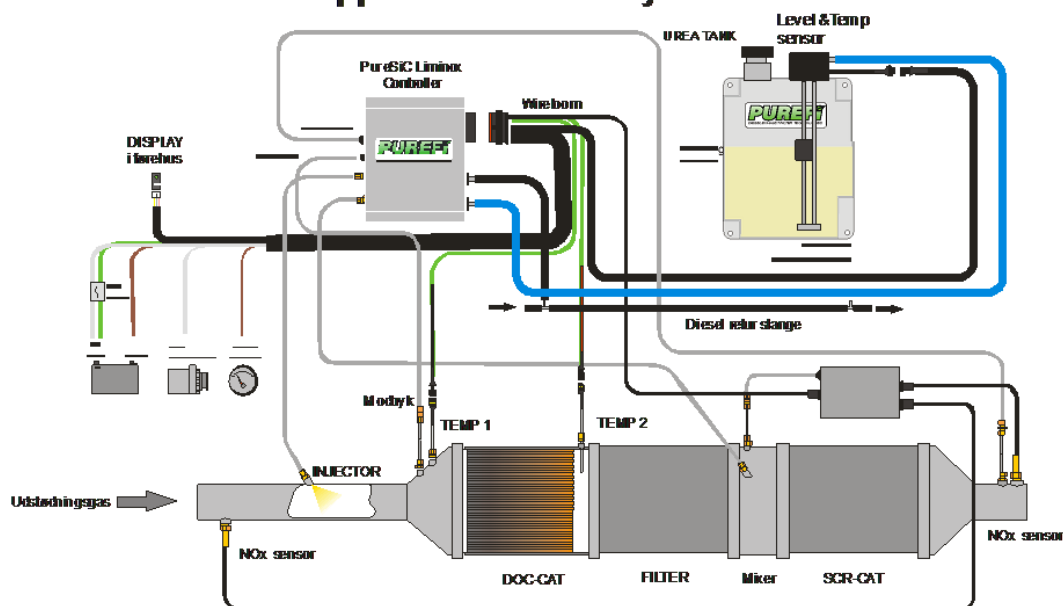
Purefi A/S anvender egenudviklet software, som kan tilpasses de forskellige køretøjer for at sikre, at der opnås den bedst mulige reduktion af de skadelige gasser.



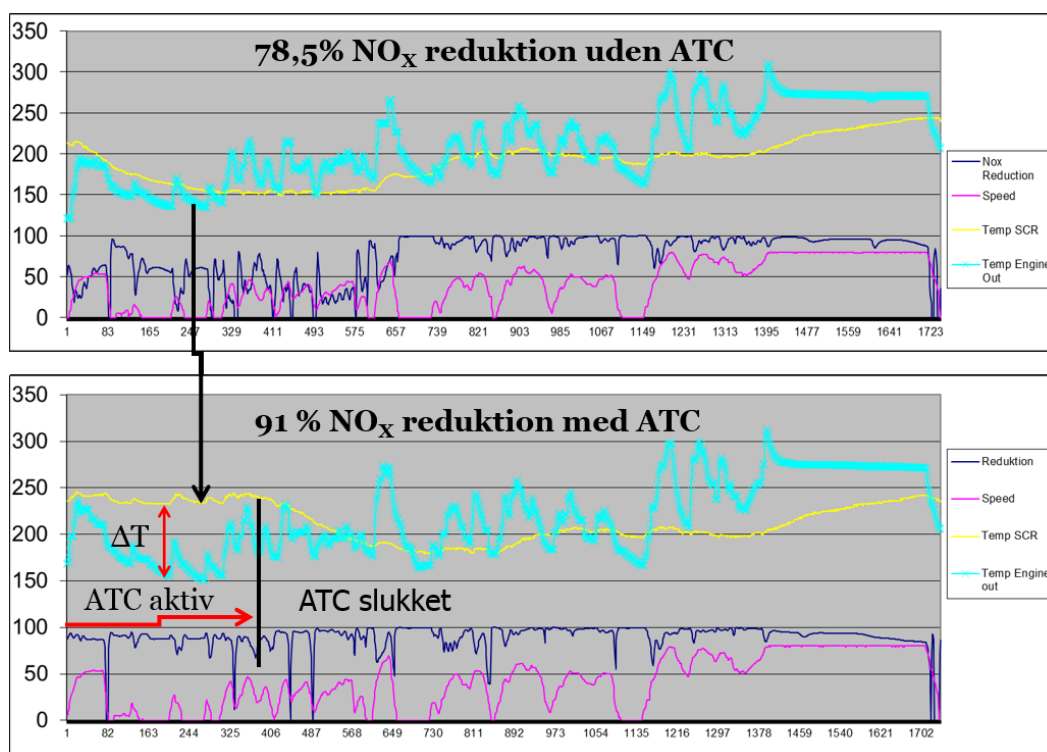
**FIGUR 9**  
 SKEMATISK OVERSIGT OVER ENHEDERNE I SYSTEMET FRA PUREFI A/S. RØDE PILE VISER FLOWRETNINGEN AF UDS TØDNINGEN FRA MOTOREN. BLÅ PILE VISER, HVOR TEMPERATURFORØGELSEN PÅ CA. 100 °C FINDER STED OVER SYSTEMET.

Purefi A/S anvender LOG-link, der overvåger systemets tilstand via gsm transmission, hvilket gør det muligt for busoperatøren at planlægge service og fremvise dokumentation af driften over flere måneders kørsel.

## Princippet for LimiNox systemet



FIGUR 10  
SKEMATISK OVERSIGT OVER KOMBINATIONSSYSTEMET, DER ANVENDES AF PUREFI A/S.



FIGUR 11  
ØVERSTE GRAF VISER EN BUS UDEN PUREFI'S TEMPERATURREGULERING (ATC). I DEN FØRSTE DEL AF TESTEN ER TEMPERATUREN I UDSTØDNINGSGASSEN LAV OG NO<sub>x</sub> REDUKTIONEN (BLÅ GRAFER) BEGRÆNSET. NEDERSTE GRAF VISER EN BUS MED TEMPERATURREGULERING OVER SCR KATALYSATOREN. TEMPERATUREN LØFTES (FORSKELLEN MELLEM DEN GRØNNE OG GULE GRAF) MED CA. 50 °C, HVILKET RESULTERER I EN ØGET NO<sub>x</sub>-REDUKTION.

### 3. Systemernes evne til at reducere udledningen af NO<sub>x</sub> ved bykørsel

De tre systemleverandører har som led i projektet hver installeret SCR/DPF systemer på i alt ni busser. Derudover blev der installeret dataloggere på 2 referencebusser (dvs. busser uden leverandørernes eftermonterede SCR/DPF systemer).

Tabel 1 angiver de enkelte demonstrationsbussers Euronorm, fabriksmonterede emissionsreducerende systemer samt leverandørerne af det eftermonterede emissionsreducerende systemer.

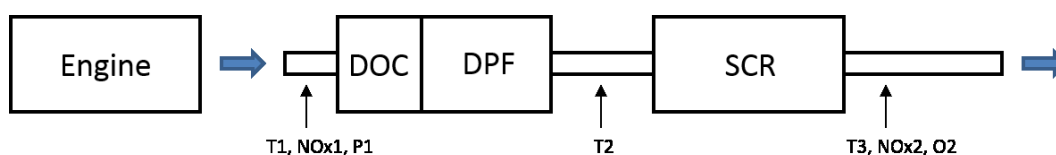
Køretøj	Euronorm	Fabriksmonteret emissionsreducerende system	Leverandør af nyt eftermonteret NO <sub>x</sub> reducerende system
Bus1	IV	SCR	Amminex Emissions Technology A/S
Bus2	V	SCR	Amminex Emissions Technology A/S
Bus3	V	SCR	Amminex Emissions Technology A/S
Bus5	IV	EGR	Emicon Systems
Bus6	V	SCR	Emicon Systems
Bus7	EEV	EGR	Emicon Systems
Bus8	IV	SCR	Purefi A/S
Bus9	EEV	EGR	Purefi A/S
Bus10	V	SCR	Purefi A/S
<b>Referencebusser</b>			
Bus4	IV	SCR	Referencebus med originalt emissionsreducerende system
Bus11	EEV	EGR	Referencebus med originalt emissionsreducerende system

**TABEL 1**  
 OVERSIGT OVER DE 11 TESTEDE BUSSE. EURONORM, ORIGINALE FABRIKSMONTEREDE EMISSIONSREDUCERENDE SYSTEMER SAMT LEVERANDØREN AF DE NYE EFTERMONTEREDE SYSTEMER. EN BESKRIVELSE AF DE ENKELTE LEVERANDØRERS SYSTEMER KAN FINDES I KAPITEL 2. DET SKAL UNDERSTREGES, AT REFERENCEBUSSENE IKKE ER Udstyret med nogen af de tre leverandørers emissionsreducerende systemer.

Dataloggerne på de i alt 11 busser har i perioden fra august 2014 til og med april 2015 indsamlet data for udvalgte parametre. Dette kapitel omfatter databehandlingen af de indsamlede data og en beskrivelse af sorteringen af rådata samt beregnede nøgleparametre til vurdering af effektiviteten af SCR/DPF systemerne til reduktion af NO<sub>x</sub> ved bykørsel. Desuden beskrives de overordnede driftsresultater omkring partikelfiltrene ved hjælp af de tilgængelige loggede parametre.

### 3.1 Datalogning

Tabel 2 viser en oversigt over de parametre, der blev logget under testperioden, herunder dato og klokkeslæt. Målinger af NO<sub>x</sub> blev foretaget før partikelfilteret (NO<sub>x1</sub>) og ved udgangen af katalysatoren (NO<sub>x2</sub>), hvilket gør det muligt at beregne virkningsgraden (reduktionen af NO<sub>x</sub>). Iltindholdet i gassen (O<sub>2</sub>) blev målt til brug for den efterfølgende beregning af CO<sub>2</sub>-indholdet i gassen [ref2]. Iltsensoren blev placeret ved siden af NO<sub>x2</sub> sensoren eller som en integreret del af denne (se Figur 12). Temperaturen logges ligeledes før (T<sub>2</sub>) og efter katalysatoren (T<sub>3</sub>), hvilket gør det muligt at sammenholde eksempelvis virkningsgraden med den gennemsnitlige temperatur (T<sub>SCR</sub>) over katalysatoren. Hastighed (H<sub>1</sub>), omdrejningstal (RPM), brændstofforbrug (B<sub>1</sub>) m.m. hentes fra bussens CANbus eller via GPS-modul, der er monteret af systemleverandøren. Temperaturen før filter (T<sub>1</sub>) og udetemperaturen (T<sub>4</sub>) blev ligeledes logget men ikke direkte anvendt i de efterfølgende beregninger af nøgleparametre. Modtryksensoren (P<sub>1</sub>) blev monteret i busserne foran partikelfiltrene for at overvåge og sikre driftsstabilitet, da et partikelfilter med et højt modtryk, foruden et øget brændstofforbrug også vil overbelaste bussens motor unødigt. Hvis dette fortsætter over en længere periode kan det resultere i et driftsnedbrud af bussen.



FIGUR 12  
SKEMATISK OVERSIGT OVER PLACERINGS AF UDVALGE MÅLESENSORER.

Tankstatus (S<sub>1</sub>) for AdBlue® (eller status for indhold af beholderes niveau af Adammine™) blev logget med det formål at bortreducere data, såfremt bussen løb tør for en af disse NO<sub>x</sub>-reducerende additiver. Hvis S<sub>1</sub> = 1, er niveauet af emissionsadditiverne i orden. Hvis S<sub>1</sub> = 0, er niveauet under den kritiske grænse, hvor systemerne anvendes optimalt.

For de busser, hvor det var muligt at indhente forbrugsdata fra busoperatørerne (brændstofforbrug, antal kørte kilometer og forbrug af AdBlue® eller Adammine™), blev dette også indsamlet. Resultaterne er vist i Tabel 3, 4 og 5.

Data blev indsamlet som en middelværdi over 10 sekunder. En mere detaljeret gennemgang af, hvorfra de loggede parametre er hentet, kan findes i Bilag 1.

Foruden de dataloggede parametre blev alle ændringer af systemet, som kunne influere på målingerne, beskrevet i en logbog. Dette kunne eksempelvis være defekte sensorer, skader på systemet, betydelige ændringer i driften, manglende påfyldning af AdBlue® eller udskiftning af beholderen med Adammine™ etc. Logbøgerne blev efterfølgende anvendt til at identificere og forstå årsagen til pludselige ændringer af virkningsgraden eller lignede undervejs i projektet.

### 3.2 Måleprincip for NO<sub>x</sub> sensorerne

NO<sub>x</sub> og O<sub>2</sub> sensorerne baserer sig på et elektrokeramisk måleprincip. Sensoren er konstrueret med en lagdelt struktur bestående af en ilt-ion ledende zirkonium baseret elektrolyt og platinelektroder. Sensoren er designet med et 2-kammer system i den lagdelte struktur, hvor en delstrøm af udstødningsskassen diffunderer gennem et barrierelag ind i det første kammer. CO, HC, H<sub>2</sub> m.m. oxideres væk og efterlader NO<sub>x</sub> og O<sub>2</sub> tilbage. Herefter fjernes først O<sub>2</sub> og efterfølgende reduceres NO<sub>x</sub> til N<sub>2</sub> + O<sub>2</sub>. Koncentrationen af NO<sub>x</sub> bestemmes amperimetrisk ud fra dannelsen af O<sub>2</sub> ved at iltten pumpes gennem den ilt-ion ledende elektrolyt. Signalet sendes herefter til køretøjets CANbus.

Parameter	Beskrivelse	Enhed
Dato	Dato for målingen	dd-mm-yyyy
Tid	Tidspunktet for målingen	hh:mm:ss
T1	Temperatur før partikelfilteret	°C
T2	Temperatur mellem partikelfilter og SCR	°C
T3	Temperatur efter SCR	°C
T4	Udetemperaturen	°C
P1	Modtryk i systemet	kPa
NO <sub>x1</sub> *	NO <sub>x</sub> -niveauet ved indgangen til systemet	ppm
NO <sub>x2</sub> *	NO <sub>x</sub> -niveauet efter udgangen af systemet	ppm
O <sub>2</sub> *	O <sub>2</sub> -niveauet efter udgangen af systemet	%
RPM	Motoromdrejninger	1/min
H1	Hastighed for køretøjet	km/h
B1	Brændstofforbrug	l/h
S1	Statusniveau af AdBlue® eller AdAmmine™	0 eller 1

\*ANGIVET SOM VÅD GAS.

**TABEL 2**  
LOGGEDE PARAMETRE FRA BUSSE. PÅ ENKELTE BUSSE VAR DET IKKE MULIGT AT INDSAMLE ALLE PARAMETRE (SE BILAG 1).

### 3.3 Databehandling

For at kunne beregne nøgleparametre fra de enkelte busser, var det nødvendigt at foretage en sortering/reducering af rådata. Følgende fremgangsmåde blev anvendt:

- Reduktionskriterium 0:
  - Datalinjer med manglende loggede værdier fjernes.
- Reduktionskriterium 1:
  - Datalinjer med negative værdier for NO<sub>x1</sub>, NO<sub>x2</sub>, O<sub>2</sub>, brændstofforbrug, motoromdrejning samt hastighed fjernes.
  - Datalinjer med loggede hastigheder over 120 km/h fjernes.
  - Datalinjer med loggede O<sub>2</sub>-værdier over 20,9 vol% fjernes.
- Reduktionskriterium 2:
  - Såfremt NO<sub>x2</sub> ≥ NO<sub>x1</sub>, fjernes hele datalinjen.
- Reduktionskriterium 3:
  - Hvis S<sub>1</sub> = 0, fjernes hele datalinjen.
- Reduktionskriterium 4:
  - Hvis 6 på hinanden følgende NO<sub>x</sub>-værdier (NO<sub>x1</sub> eller NO<sub>x2</sub>) er identiske, så fjernes de 5 af datalinjerne.

De valide data, der er tilbage efter datareduktion efter kriterium 0–4, anvendes til efterfølgende beregning af de enkelte bussers nøgletal.

#### 3.3.1 Bemærkninger vedrørende reduktionskriterierne

Datalinjer med manglende loggede værdier blev fundet i dataserier fra alle 11 busser. Disse datalinjer bortreduceres under reduktionskriterium 0, medmindre parametrene generelt ikke kan logges fra bussen. Eksempelvis har det ikke været muligt at logge brændstofforbruget på alle busser, hvilket ikke betyder, at alt data fjernes af den grund. Derudover vil visse dataloggere begynde at opsamle data, når der sættes strøm til batteriet, dvs. før der er tænding på motoren. I det tilfælde vil de pågældende datalinjer kun indeholde dato og klokkeslæt, og disse datalinjer bortreduceres derfor under kriterium 0.

Negative dataværdier for NO<sub>x1</sub>, NO<sub>x2</sub>, O<sub>2</sub>, brændstofforbrug, motoromdrejning, hastighed samt O<sub>2</sub>-værdier over 20,9 vol% fjernes under datareduktionskriterium 1, idet der ikke er foretaget en nulpunktsjustering af sensorsignalet. At der kun tillades en maksimum hastighed på 120 km/h skyldes fejl i det opsamlede data, hvor de loggede hastigheden til tider har vist urealistiske høje værdier.

Det er principielt muligt at opnå NO<sub>x2</sub>-værdier, som er større end NO<sub>x1</sub>, som ikke er en effekt af en defekt/nulpunktsforskuet sensor eller et resultat af måleusikkerheder. Dette kan eksempelvis skyldes den naturlige tidsforsinkelse, fra røggas passerer NO<sub>x1</sub>-sensoren til den passerer NO<sub>x2</sub>-sensoren. Dette fænomen vil være mest udbredt under kraftig acceleration eller opbremsning. De opsamlede data er som nævnt middelværdier over 10 sekunder, og derfor må det forventes, at dette scenarium er reduceret betydeligt i de loggede 10-sekunders middelværdier (idet opholdstiden af røggassen fra NO<sub>x1</sub> sensoren til NO<sub>x2</sub> sensoren vurderes at være betydeligt mindre end 10 sekunder). En anden mulighed for at den målte NO<sub>x</sub> på udgangen af katalysatoren kan være større end ved indgangen på katalysatoren, kan skyldes rester af NO<sub>x</sub>, urea (aktivt stof i AdBlue®) eller ammoniak i katalysatoren. NO<sub>x</sub>-sensorerne er krydsfølsomme over for ammoniak og urea [ref3] [ref4] og vil derfor reagere, hvis der er rester af disse NO<sub>x</sub>-reducerende additiver i røggassen. Dette fænomen ses typisk i forbindelsen med opstart af en motor. Af grunde som disse anvendes reduktionskriterium 2 derfor på datasættet.

Anvendelsen af reduktionskriterium 3 skyldes hensynet til systemernes tab af virkningsgrad på grund af manglende NO<sub>x</sub>-reducerende additiver til røggassen. Parameteren gør det muligt automatisk at bortreducere inkohærent data, som ikke afspejler et repræsentativt driftsmønster.



Reduktionskriterium 4 anvendes til det formål at fjerne datalinjer, hvor loggerne er fastfrosset ved en given værdi. Dette fænomen er observeret på flere busser og knytter sig til opstart af bussen og senere, når tændingen slukkes. Det antages, at mindst en af disse dataværdier i en sekvens af identiske loggede parametre er korrekt. I de tilfælde, hvor NO<sub>x</sub>-reduktionen eksempelvis er fuldstændig over en periode, dvs. NO<sub>x2</sub> = 0, vil reduktionskriterium 4 også bortreducere disse datalinjer. Denne risiko for tab af valide data anses for at være af relativ mindre betydning og er accepteret af projektgruppen. Et eksempel på en beregning af nøgleparametre fra en bus med en høj virkningsgrad, uden brug af reduktionskriterium 4, er vist i Tabel 6, afsnit 3.4.

Såfremt der er datalinjer, som vil kunne bortreduceres under flere kriterier, vil fjernelsen af disse datalinjer ske under det først fremkomne reduktionskriterium. Eksempelvis vil datalinjer med negative NO<sub>x</sub>-værdier blive fjernet under kriterium 1, uanset om samme datalinjer også indeholder S1-værdier lig 0, som ellers først fjernes under det efterfølge kriterium 3.

### 3.4 Beregnede nøgletal for busserne

På baggrund af de dataloggede parametre er følgende nøgleparametre beregnet for hver af de 11 busser:

- Hastighed [km/h]
- Antal valide driftstimer [h]
- Reduceret NO<sub>x</sub> [%]
- NO<sub>x</sub> [g/kg CO<sub>2</sub>]
- NO<sub>x</sub> [g/km]
- NO<sub>x</sub> [g/kWh]

Nøgleparametrene er vist i Tabel 3, 4 og 5 for hver af de tre systemleverandører. Det var ikke muligt at indsamle samtlige parametre fra alle 11 busser, og derfor mangler enkelte af nøgleparametrene.

Nøgleparametrene er beregnet som middelværdier over måleperioden. Beregning af udledningen af NO<sub>x</sub> er foretaget efter beregningsmetoden for data-binning, hvor hastighedsdata grupperes i intervaller, og der beregnes den dertilhørende sum af NO<sub>x</sub> [g/mol røggas], CO<sub>2</sub> [kg/mol røggas], hastighed og brændstofforbrug (se Bilag 2). Ud fra disse værdier beregnes NO<sub>x</sub> [g/kg CO<sub>2</sub>], NO<sub>x</sub> [g/kWh] og NO<sub>x</sub> [g/km]. Desuden beregnes de tilhørende gennemsnitsværdier af omdannet NO<sub>x</sub> [%] og SCR-temperaturen [°C] inden for hvert af de førnævnte hastighedsintervaller.

De referencebusser, som systemleverandørerne havde ansvar for at indsamle data fra, er ligeledes vist i tabellerne. Referencebusserne har ikke fået ændret deres originale emissionsreducerende system men har kun fået monteret og installeret dataloggere. Nøgleparametrene fra referencebusserne er derfor baseret på det originale fabriksmonterede emissionsreducerende udstyr.

I Tabel 3, 4 og 5 er resultaterne for NO<sub>x</sub> [g/kWh] sammenlignet med emissionsgrænsen for NO<sub>x</sub> fra en Euro VI bus. Det understreges, at en direkte sammenligning med Euro VI ikke er mulig, idet Euro VI grænseværdien for NO<sub>x</sub> er fremkommet ud fra en standardiseret testcyklus/belastning jf. forordning EU nr. 582/2011. Grænseværdien er angivet for at vurdere effekten af de tre testede systemer over for en forventet udledning af NO<sub>x</sub> fra Euro VI busser.

Systemleverandør	Amminex Emissions Technology A/S			
Periode	November 2014 – April 2015			
Køretøj	Bus1-EuroIV-SCR	Bus2-EuroV-SCR	Bus3-EuroV-SCR	Bus4-EuroIV-SCR (ref)
<b>Middelværdi for perioden</b>				
Hastighed [km/h]	22,6	17,6	17,6	17,5
Antal valide driftstimer [h]	387	1249	1136	562
Reduceret NO <sub>x</sub> [%]	62,4*	91,5	89,4	21,8
NO <sub>x</sub> [g/kg CO <sub>2</sub> ]	4,96*	1,10	1,44	11,39
NO <sub>x</sub> [g/km]	5,48*	Ingen data**	Ingen data**	17,59
NO <sub>x</sub> [g/kWh]	3,10*	0,69	0,90	7,12
NO <sub>x</sub> [g/kWh] (Grænseværdi Euro VI)			0,46	
<b>Total for perioden</b>				
Brændstofforbrug [L]	13686	25067	13289	13477
Adammine [kg]/AdBlue [L]	42 kg**	136,1 kg	160,1 kg	117,6 L
Antal kørte kilometer [km]	35124	40358	31897	30516

\*Systemet på Bus1-EuroIV-SCR har i en længere periode kørt under forhold, der ikke afspejler en normal driftssituation. Bussen blev testet med forskellige afskærmninger af systemet i forhold til vand, mudder etc. (se Figur 19 og afsnit 4.1 for yderligere information. Ved test på rullefelt (kapitel 5) opnåede bussen derfor lavere udledninger af NO<sub>x</sub>.

\*\*Data kunne ikke beregnes, eftersom brændstofforbruget ikke kunne logges af tekniske årsager.

\*\*\*Intet forbrug i januar 2015. Bussen har desuden været taget ud af drift i en længere periode grundet generel vedligeholdelse.

### TABEL 3

BEREGNEDE NØGLEPARAMETRE FOR BUSSE, Udstyret med et emissionsbegrænsende system fra Amminex Emissions Technology A/S. Det skal understreges, at Bus4-EuroIV-SCR er en referencebus med originalt fabriksmonteret emissionsreducerende udstyr. Nøgleparametre fra referencebussen er derfor baseret på det originalt emissionsreducerende udstyr.

Som beskrevet under afsnit 3.3 kan kriterierne for datareduktion under specielle forhold have en utilsigtet effekt på mængden af bortreducerede data. Tabel 6 viser de beregnede nøgleparametre for bus 2 uden anvendelse af reduktionskriterium 4 (Hvis 6 på hinanden følgende NO<sub>x</sub>-værdier er identiske, så fjernes de 5 af datalinjerne). Hastigheden samt udledningen af NO<sub>x</sub> reduceres i forhold til nøgleparametrene i Tabel 3. Dette indikerer, at reduktionskriterium 4 primært influerer data ved relativt lave hastigheder og med høje NO<sub>x</sub>-reduktioner. Det ses, at NO<sub>x</sub>-reduktionen ændres til fra 91,5% til 92,1%.

Systemleverandør		Emicon Systems		
Periode		November 2014 – April 2015		
Køretøj	Bus5-EuroIV-EGR	Bus6-EuroV-SCR*	Bus7-EEV-EGR	
<b>Middelværdi for perioden</b>				
Hastighed [km/h]	23,6	16,7	20,6	
Antal valide driftstimer [h]	1122	625	1124	
Reduceret NOx [%]	81,1	54,2	49,3	
NOx [g/kg CO <sub>2</sub> ]	2,80	7,10	6,01	
NOx [g/km]	3,40	Ingen data*	6,80	
NOx [g/kWh]	1,75	4,44	3,76	
NOx [g/kWh] (Grænseværdi Euro VI)		0,46		
<b>Total for perioden</b>				
Brændstofforbrug [L]	16923	Ikke oplyst	7273**	
AdBlue [L]	674,2	Ikke oplyst	71,2**	
Antal kørte kilometer [km]	31300	Ikke oplyst	11065**	

\* Data kunne ikke beregnes, eftersom brændstofforbruget ikke kunne logges af tekniske årsager.

\*\*Kun data fra februar – april 2015.

**TABEL 4**

BEREGNEDE NØGLEPARAMETRE FOR BUSSE, Udstyret med et emissionsbegrænsende system fra Emicon Systems.

Systemleverandør		Purefi A/S			
Periode		November 2014 – April 2015			
Køretøj	Bus8-EuroIV- CSR	Bus9-EEV-EGR	Bus10-EuroV- SCR	Bus11-EEV- EGR (ref)	
<b>Middelværdi for perioden</b>					
Hastighed [km/h]	22,7	22,0	Ingen data*	17,2	
Antal valide driftstimer [h]	952	1408	1002	243	
Reduceret NOx [%]	68,8	75,4	72,9	11,9	
NOx [g/kg CO <sub>2</sub> ]	4,54	2,21	4,54	10,44	
NOx [g/km]	5,51	2,04	Ingen data*	12,24	
NOx [g/kWh]	2,84	1,38	2,84	6,52	
NOx [g/kWh] (Grænseværdi Euro VI)			0,46		
<b>Total for perioden</b>					
Brændstofforbrug [L]	Ikke oplyst	6850**	Ikke oplyst	Ikke oplyst	
AdBlue [L]	Ikke oplyst	178**	Ikke oplyst	Ikke oplyst	
Antal kørte kilometer [km]	Ikke oplyst	17300**	Ikke oplyst	Ikke oplyst	

\* Data kunne ikke beregnes, eftersom brændstofforbruget ikke kunne logges af tekniske årsager.

\*\*Ingen data fra februar – april 2015.\*\*Kun data fra november 2014 - januar 2015.

#### TABEL 5

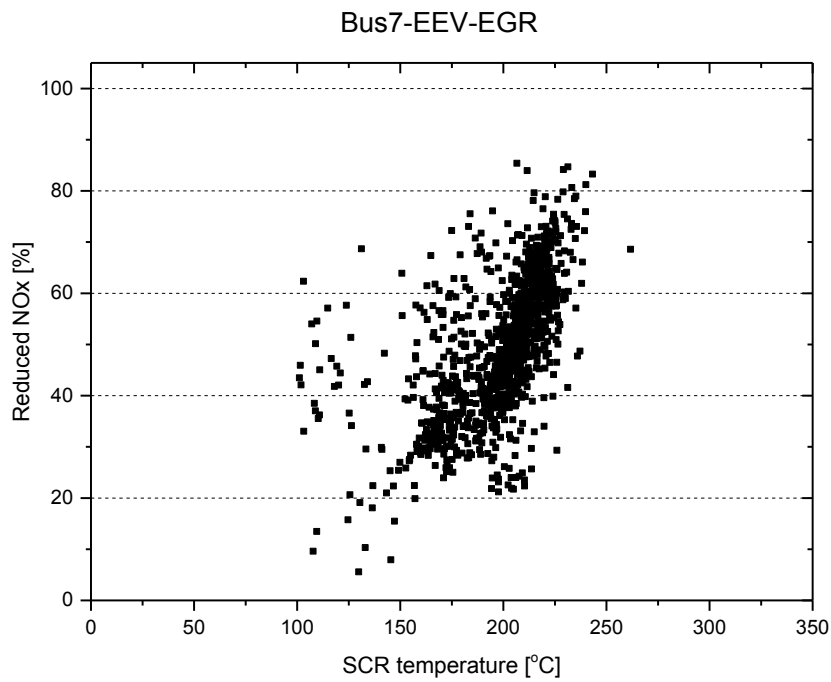
BEREGNEDE NØGLEPARAMETRE FOR BUSSE, Udstyret med et emissionsbegrænsende system fra Purefi A/S. Det skal understreges, at Bus11-EEV-EGR er en referencebus med originalt fabriksmonteret emissionsreducerende udstyr. Nøgleparametre fra referencebusen er derfor baseret på det originalt fabriksmonterede emissionsreducerende udstyr.

<b>Systemleverandør</b>	<b>Amminex Emissions Technology A/S</b>
<b>Periode</b>	November 2014 – April 2015
<b>Køretøj</b>	Bus2-EuroV-SCR
<b>Middelværdi for perioden</b>	
<b>Hastighed [km/h]</b>	16,7
<b>Antal valide driftstimer [h]</b>	1354
<b>Reduceret NO<sub>x</sub> [%]</b>	92,1
<b>NO<sub>x</sub> [g/kg CO<sub>2</sub>]</b>	1,03
<b>NO<sub>x</sub> [g/km]</b>	Ingen data*
<b>NO<sub>x</sub> [g/kWh]</b>	0,64
<b>NO<sub>x</sub> [g/kWh] (Grænseværdi Euro VI)</b>	0,46

\*Data kunne ikke beregnes, eftersom brændstofforbruget ikke kunne logges af tekniske årsager.

**TABEL 6**  
NØGLEPARAMETRE FOR BUS2-EUROV-SCR UDEN DATAREDUKTIONSKRITERIUM 4. BRÆNDSTOFFORBRUGET  
LOGGES IKKE PÅ BUSSEN.

Figur 13 viser et eksempel på den reducerede NO<sub>x</sub> som funktion af SCR-temperaturen. Hvert målepunkt er beregnede middelværdier over en time. Der ses umiddelbare tegn på en temperaturafhængighed af det emissionsreducerende system. En granskning af systemet og temperaturprofilen for katalysatoren viser, at spredningen af temperatur, især i det lidt lavere temperaturområde, synes at være influeret af en periode med intens krystallisation af urea (fra AdBlue®). Den udkrystalliserede urea var placeret omkring T2-sensoren (se Figur 14), hvilket har bevirket, at sensoren i perioder har været skærmet fra røggassen og derved målt lavere værdier end forventet. Generelt sås det, at systemer med lavere virkningsgrader havde en større temperaturafhængighed. Som en undtagelse kan nævnes Bus1-EuroIV-SCR, hvor doseringssystemet til styringen af NO<sub>x</sub> reduktionen i perioder var sat ud af drift, hvilket havde en negativt effekt på virkningsgraden (se Figur 23).

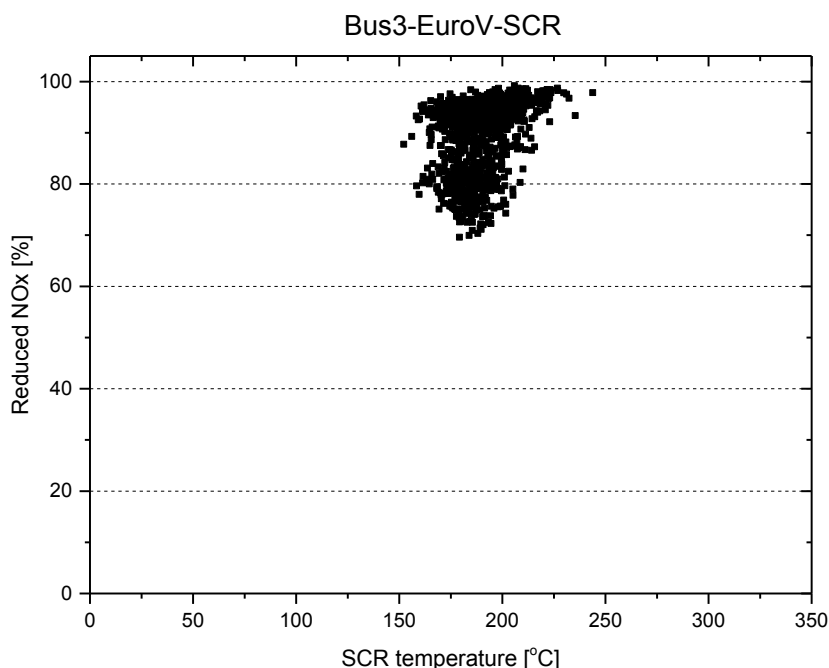


**FIGUR 13**  
REDUCERET NO<sub>x</sub> SOM FUNKTION AF DEN GENNEMSITLIGE SCR-TEMPERATUR. HVERT DATAPUNKT ER EN MIDDELVÆRDI OVER 1 TIME.



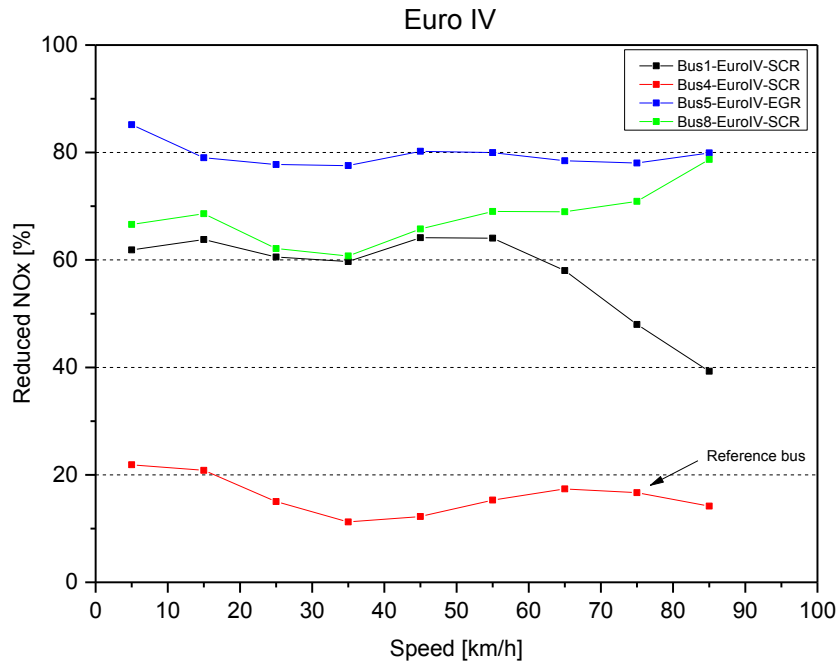
**FIGUR 14**  
UDKRSTALLISERING AF UREA (HVIDE AFLEJRINGER) MELLEM FILTER OF KATALYSATOR (BUS7-EEV-EGR). KRYSTALLISERINGEN ER BEGYNDT 10-20 CM EFTER INJEKTIONSPUNKTET FOR ADBLUE® OG HAR DEREFTER ARBEJDET SIG MOD FLOWRETNINGEN HEN MOD PARTIKELFILTERET.

Figur 15 viser et eksempel på en bus, hvor der ikke kunne ses en tydelig sammenhæng mellem variationer af SCR-temperaturen og evnen til at reducere NO<sub>x</sub>. Det eftermonterede system på bussen havde en generel høj virkningsgrad over et relativt bredt temperaturområde (se Figur 28 og Figur 29). Det skal dog understøttes, at der er tale om middelværdier over 1 time, og da temperaturen ved T<sub>2</sub> (før SCR-katalysatoren) og T<sub>3</sub> (efter SCR-katalysatoren) relativt hurtigt når op på høje temperaturer, ses der meget få middeltemperaturer under 150 °C. Dette er generelt for de fleste af de testede busser.

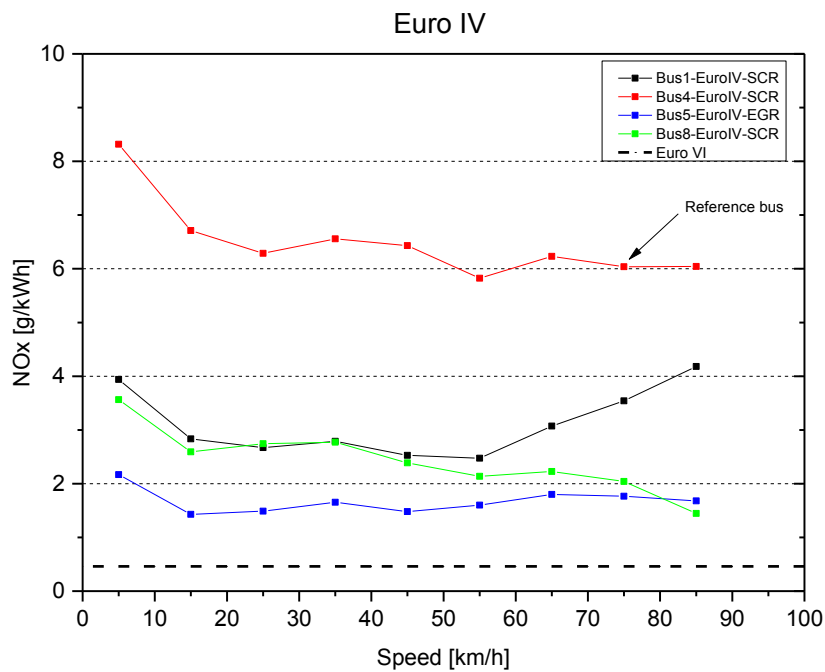


**FIGUR 15**  
REDUCERET NO<sub>x</sub> SOM FUNKTION AF DEN GENNEMSNITLIGE SCR-TEMPERATUR. DATAPUNKTERNE ER MIDDELVÆRDIER TAGET OVER 1 TIME.

En mere detaljeret grafisk fremstilling af virkningsgraden for NO<sub>x</sub>-reduktion samt udledt NO<sub>x</sub> [g/kWh] som funktionen af hastigheden er vist på Figur 16 - 21. Data blev logget med intervaller af 10 sekunder og grupperet i hastighedsintervaller af 10 km/h. Busserne i de forskellige grafer er grupperet på basis af deres euronorm. Det understreges, at en direkte sammenligning mellem busserne ikke er muligt, da de dækker over forskellige vedligehold og køremønstre, herunder rute og chaufførens evne til at køre optimalt. Dog ses det, at alle de eftermonterede systemer har betydelig bedre virkningsgrad sammenlignet med referencebusserne. Forskellen er så signifikant, at dette ikke alene kan forklares med forskellige køremønstre. Eksempelvis ses det, at referencebussen (Bus4-EuroIV-SCR) for Euro IV på Figur 17 har en betydeligt højere udledning af NO<sub>x</sub> efter katalysatoren sammenlignet med de andre Euro IV busser med eftermonterede systemer. Figur 17, 19 og 21 viser ligeledes grænseværdien for Euro VI, men det skal igen understreges, at en direkte sammenligning med Euro VI ikke er mulig, idet Euro VI grænseværdien for NO<sub>x</sub> er fremkommet ud fra en standardiseret testcyklus/belastning. Grænseværdien er dog indtil videre en af de få måder at holde virkningsgraden af de tre testede systemer op imod udledningen af NO<sub>x</sub> fra Euro VI busser, da der ikke er foretaget en tilsvarende test af Euro VI bybusser.

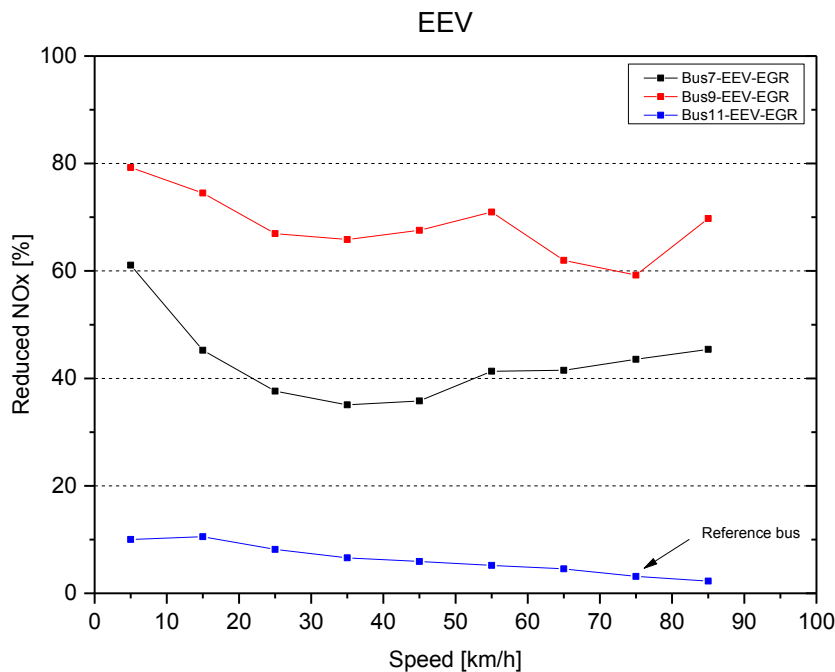


**FIGUR 16**  
REDUCERET NO<sub>x</sub> SOM FUNKTION AF HASTIGHEDEN. GRAFEN VISER KUN DE EURO IV BUSSER, HVOR HASTIGHEDEN LOGGES.

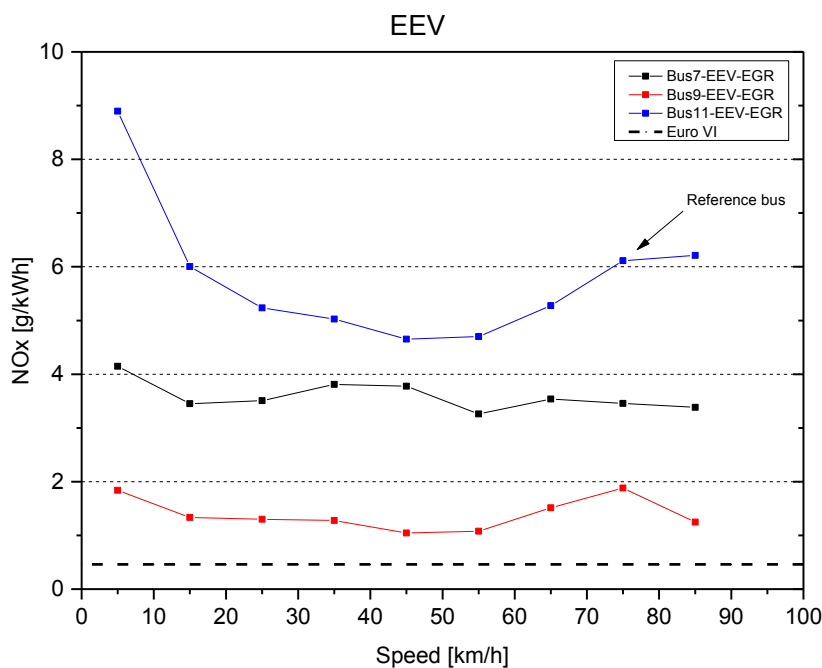


**FIGUR 17**  
UDLEDNINGEN AF NO<sub>x</sub> SOM FUNKTION AF HASTIGHEDEN. DEN STIPLEDE LINJE ANGIVER EMISSIONSGRÆNSEN FOR NO<sub>x</sub>, EURO VI. DET UNDERSTREGES, AT EN DIREKTE SAMMENHÆNG MED EURO VI IKKE ER MULIG, IDET GRÆNSEVÆRDIE ER FREMKOMMET UD FRA EN STANDARDISERET TESTCYKLUS. GRAFEN VISER KUN DE EURO IV BUSSER, HVOR HASTIGHEDEN LOGGES.

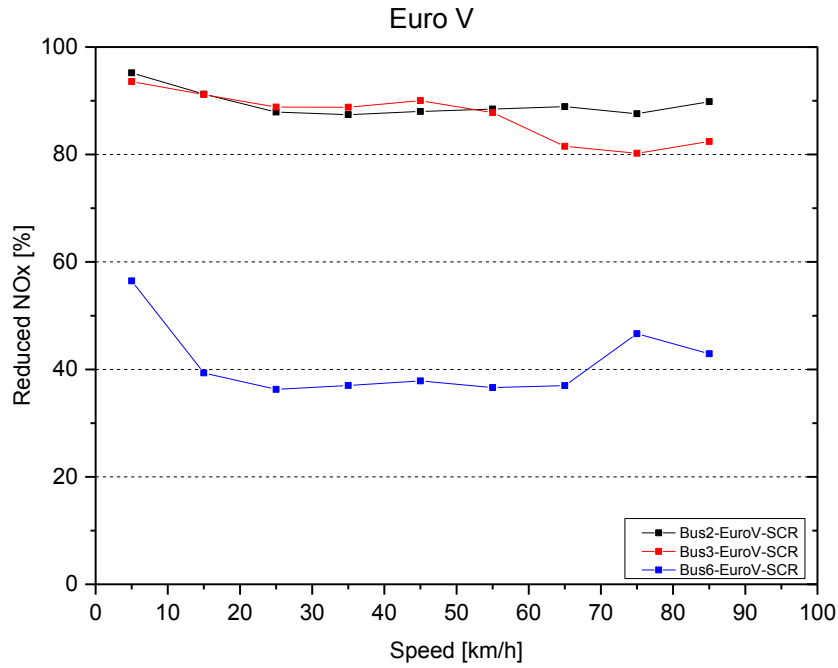




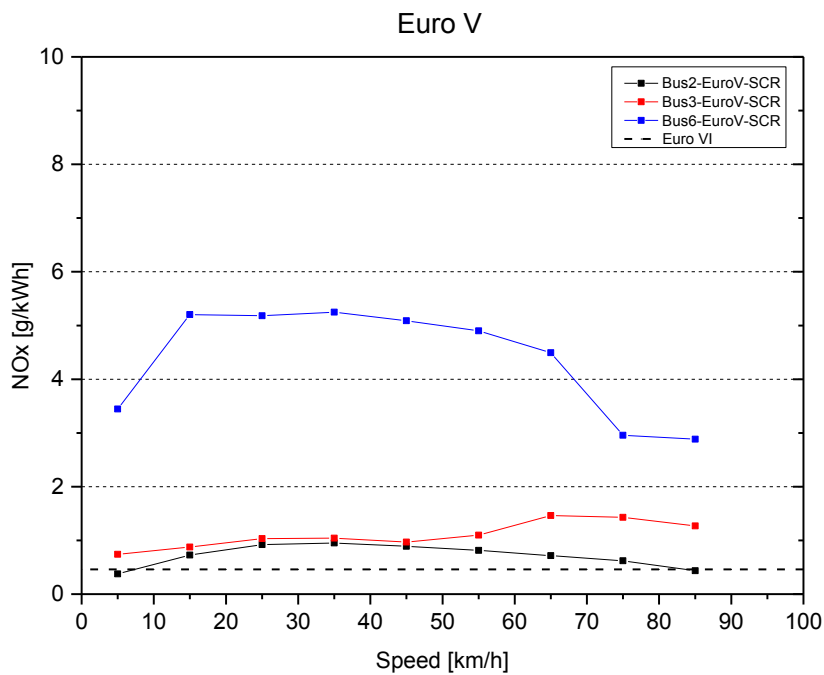
**FIGUR 18**  
REDUCERET NO<sub>x</sub> SOM FUNKTION AF HASTIGHEDEN. GRAFEN VISER KUN DE EEV BUSSE, HVOR HASTIGHEDEN LOGGES.



**FIGUR 19**  
UDLEDNINGEN AF NO<sub>x</sub> SOM FUNKTION AF HASTIGHEDEN. DEN STIPLEDE LINJE ANGIVER EMISSIONSGRÆNSEN FOR NO<sub>x</sub>, EURO VI. DET UNDERSTREGES, AT EN DIREKTE SAMMENHÆNG MED EURO VI IKKE ER MULIG, IDET GRÆNSEVÆRDIEN ER FREMKOMMET UD FRA EN STANDARDISERET TESTCYKLUS. GRAFEN VISER KUN DE EEV BUSSE, HVOR HASTIGHEDEN LOGGES.



**FIGUR 20**  
REDUCERET NO<sub>x</sub> SOM FUNKTION AF HASTIGHEDEN. GRAFEN VISER KUN DE EURO V BUSSE, HVOR HASTIGHEDEN LOGGES.

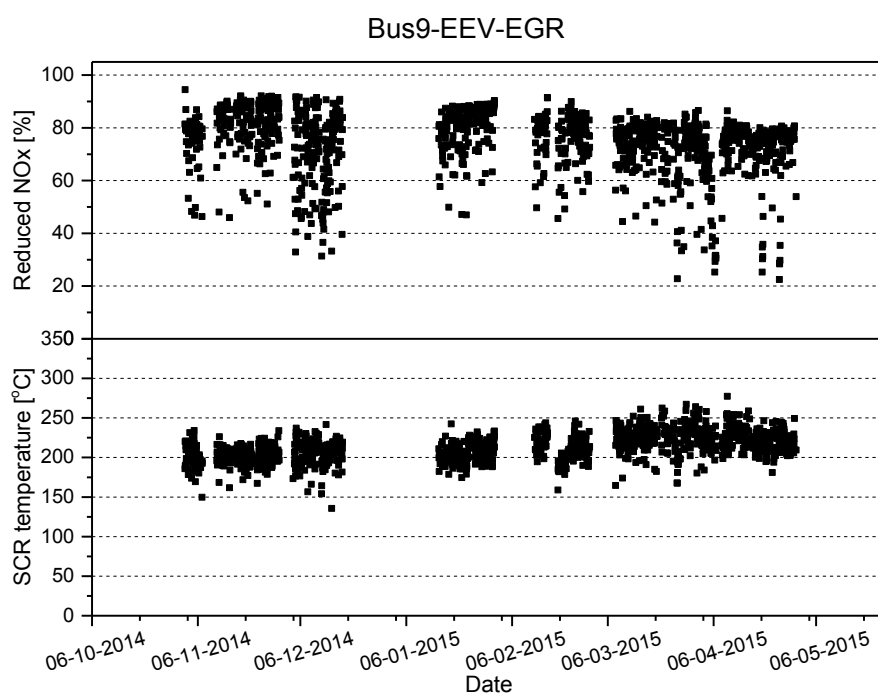


**FIGUR 21**  
UDLEDNINGEN AF NO<sub>x</sub> SOM FUNKTION AF HASTIGHEDEN. DEN STIPLEDE LINJE ANGIVER EMISSIONSGRÆNSEN FOR NO<sub>x</sub>, EURO VI. DET UNDERSTREGES, AT EN DIREKTE SAMMENHÆNG MED EURO VI IKKE ER MULIG, IDET GRÆNSEVÆRDIEN ER FREMKOMMET UD FRA EN STANDARDISERET TESTCYKLUS. GRAFEN VISER KUN DE EURO V BUSSE, HVOR HASTIGHEDEN LOGGES.

På graferne 16 – 21 ses det, at flere af kurverne har tydelige ”knæk”. Dette synes at være en effekt af forskellige typer køremønstre, eller at det emissionsreducerende system ikke har virket optimalt i en periode. Figur 22 til 24 viser tre eksempler på variationer af den valide data, der kan forklare disse ”knæk” på kurverne.

#### Eksempel 1:

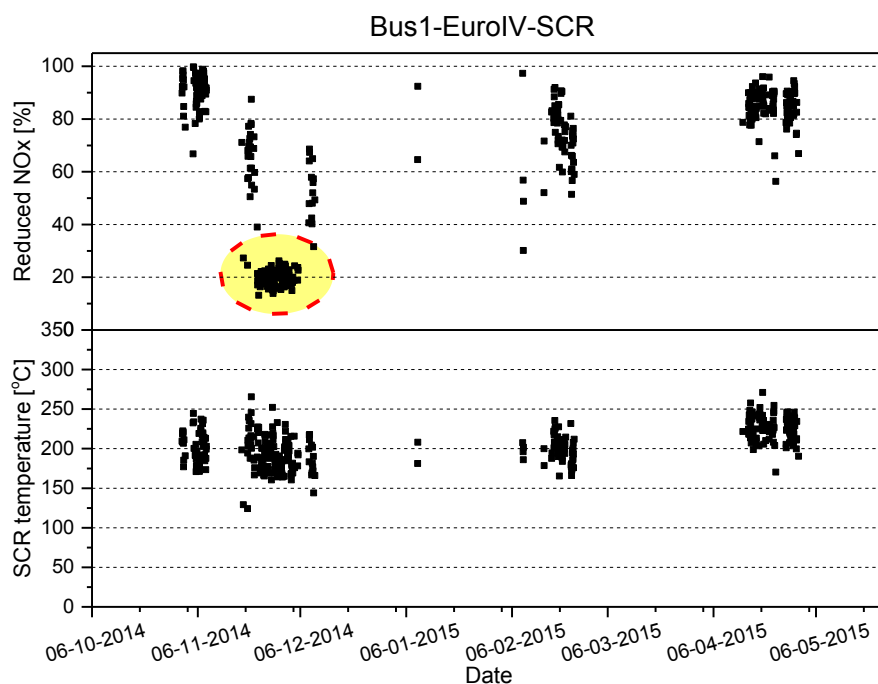
Figur 22 viser en faldende NO<sub>x</sub>-reduktion fra ca. 80% til ca. 70% hen imod slutningen af måleperioden. SCR temperaturen ses i samme periode at være svagt stigende. Dette skyldes, at indløbet til SCR-katalysatoren blev efterisoleret i februar, samtidigt med at der blev eksperimenteret end en alternativ placering af doseringssystemet. Det lidt ujævne kurveforløb på Figur 18, der viser middelværdien af NO<sub>x</sub>-reduktionen over testperioden, er derfor et resultat af forskellige ændringer på systemet undervejs i testen.



**FIGUR 22**  
REDUCERET NO<sub>x</sub> SAMT GENNEMSITLIG SCR TEMPERATUR SOM FUNKTION AF TIDEN. DATA ER VIST SOM  
MIDDELVÆRDIER PR. TIME.

#### Eksempel 2:

Figur 23 viser virkningsgraden for NO<sub>x</sub>-reduktion samt SCR-temperaturen som funktion af tiden for Bus1-EuroIV-SCR. Der var her visse udfordringer med at få systemet til at virke optimalt, hvilket skyldes placeringen af systemet, som ikke har været skærmet tilstrækkeligt imod snavs og korrosion. Systemleverandøren valgte dog at køre videre med systemet for at opnå erfaringer med systemet ved test af forskellige afskærmninger. Doseringssystemet til det NO<sub>x</sub>-reducerende additiv var ikke i drift i perioden markeret med gult på Figur 23. Omsætningen af NO<sub>x</sub> på ca. 20% skyldes den passive effekt af forkatalysatoren, der sikrer en mindre grad af katalytisk omdannelse af NO<sub>x</sub> i partikelfilteret. Hertil kommer, at bussen i en længere periode blev taget ud af driften af busoperatøren grundet almindelig vedligehold. Effekten er, at mængden af valide data er stærkt begrænset.



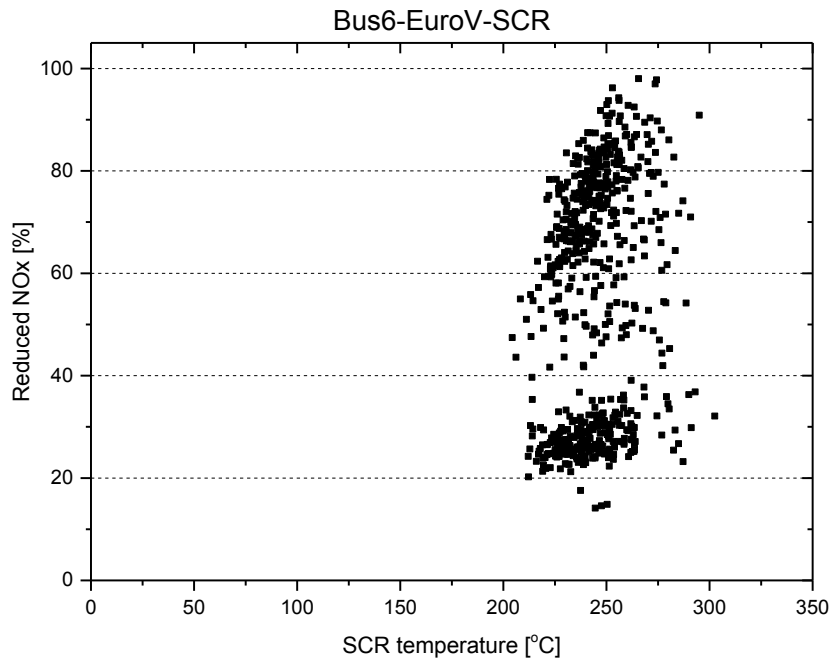
**FIGUR 23**  
 REDUCERET NO<sub>x</sub> SAMT GENNEMSNITLIG SCR TEMPERATUR SOM FUNKTION AF TIDEN. DATA ER VIST SOM MIDDELVÆRDIER PR. TIME. DOSERINGSSYSTEMET ER IKKE I DRIFT I PERIODEN MARKERT MED GULT. OMSÆTNINGEN AF NO<sub>x</sub> PÅ CA. 20% SKYLDES DEN PASSIVE EFFEKT AF PRE-OXIDATIONSKATALYSATOREN FORAN PARTIKELFILTERET.

### Eksempel 3:

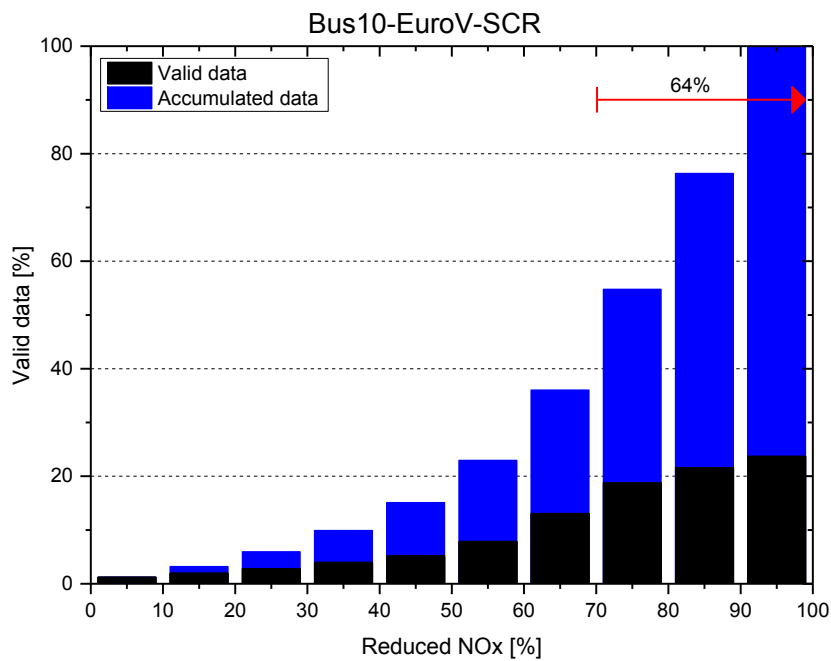
Figur 24 viser virkningsgraden for NO<sub>x</sub>-reduktion som funktion af SCR-temperaturen for Bus6-EuroV-SCR. Det ses, at datasættet indeholder to forskellige populationer. Dette skyldes til dels det emissionsreducerende systems stabilitet, men den pågældende bus har også været indsat i forskellige ruter og derfor haft meget varierende kørselsmønstre. Derfor indeholder kurveforløbet for den pågældende bus på Figur 21 flere ”knæk” sammenlignet med eksempelvis Bus2-EuroV-SCR.

Figur 25 viser et frekvensplot fra en udvalgt bus (Bus10-EuroV-SCR) over fordelingen af valide data som funktion af virkningsgraden (sorte kolonner). Valide data er her angivet som de data, der er tilbage efter datareduktion efter kriterium 1 – 4 samt fjernelsen af tomme eller ufuldstændige datalinjer (kriterium 0). Akkumuleret data er vist med blå kolonner. Det ses på grafen for den pågældende bus, at ca. 64% af de valide data, repræsenterer en NO<sub>x</sub>-reduktion på over 70%.

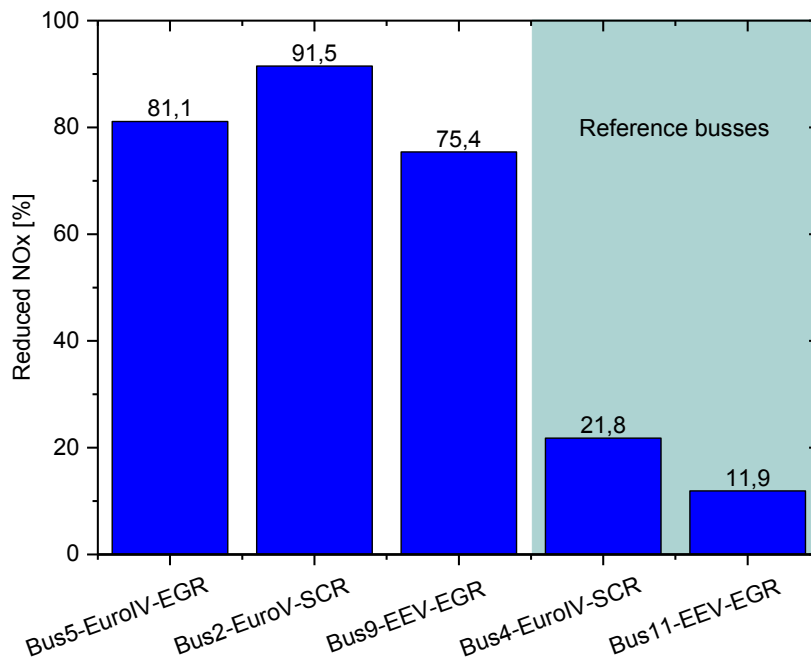
Resultaterne fra den kontinuerte logning af data viste, at der er muligt at indsamle valid driftsdata over en længere testperiode, der kan anvendes til at karakterisere bussens emissionsudledning og generelle køremønstre. Ligeledes blev det demonstreret, at det er muligt at opnå en betydelig NO<sub>x</sub>-reduktion med samtlige af de eftermonterede systemer i forhold til referencebusserne. Gennem testperioden opnåede Emicon Systems højeste gennemsnitlige reduktionsgrad for NO<sub>x</sub> på Euro IV busserne (ca. 80%). Systemet fra Amminex Emissions Technology opnåede højeste reduktionsgrad for Euro V busserne (ca. 90%), mens Purefi A/S opnåede med deres system højeste reduktionsgrad (ca. 75%) for EEV busserne (se Figur 26). Amminex Emissions Technology opnåede dog med Bus1-EuroIV-SCR den laveste NO<sub>x</sub> udledning ved test på rullefelt ved Teknologisk Institut i Århus (se kapitel 5). Generelt er der ingen umiddelbar sammenhæng mellem en høj virkningsgrad for NO<sub>x</sub>-reduktion og udledningen af NO<sub>x</sub> fra motoren (se Figur 27).



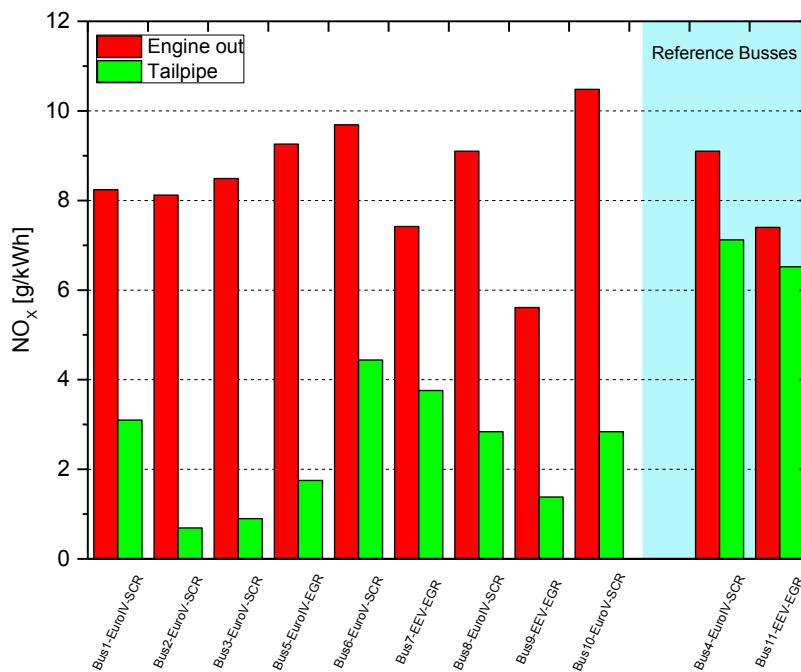
**FIGUR 24**  
 REDUCERET NO<sub>x</sub> SOM FUNKTION AF DEN GENNEMSITLIGE SCR-TEMPERATUR. DATAPUNKTERNE ER  
 MIDDELVÆRDIER TAGET OVER 1 TIME.



**FIGUR 25**  
 ANDEL AF VALIDE DATALINJER (SORTE KOLONNER) SOM FUNKTION AF REDUCERET NO<sub>x</sub>. BLÅ KOLONNER VISER  
 DEN AKUMMULERDE FORDELING. DET FREMGÅR AT, SYSTEMET PÅ BUSSEN HAR HAFT EN NO<sub>x</sub> REDUKTION PÅ  
 OVER 70% I 64% AF TIDEN. BUSSEN ER MONTERET MED ET KOMBINATIONSSYSTEM.



**FIGUR 26**  
 GENNEMSNITLIG REDUKTION AF NOX FOR UDVALGTE DEMONSTRATIONSBUSSE. PERIODEN DÆKKER  
 NOVEMBER 2014 TIL OG MED APRIL 2015. BUS2-EUROV-SCR (AMMINEX EMISSIONS TECHNOLOGY A/S), BUS5-  
 EUROIV-EGR (EMICON SYSTEMS) OG BUS9-EEV-EGR (PUREFI A/S).



**FIGUR 27**  
 UDLEDNING AF NOX FRA KØRETØJETS MOTOR (ENGINE OUT) OG VED UDSFØDNINGEN (TAILPIPE). ENGINE OUT  
 ER BEREGNET PÅ BAGGRUND AF NØGLETALLENE TABEL 3 – 5.

### 3.5 Modtryk over systemerne

I hvert af de eftermonterede systemer blev der monteret partikelfiltre og modtryksensorer som supplement til den NO<sub>x</sub> reducerende enhed. Partikelfilterne på Bus1-EuroIV-SCR, Bus2-EuroV-SCR, Bus3-EuroV-SCR, Bus8-EuroIV-SCR, Bus9-EEV-EGR og Bus10-EuroV-SCR blev monteret af Purefi A/S, mens Emicon Systems monterede partikelfiltrene til Bus5-EuroIV-EGR, Bus6-EuroV-SCR og Bus7-EEV-EGR (se Tabel 7). Alle partikelfiltre var lukkede filtre. Modtryksensoren blev monteret i busserne, da et partikelfilter med et for højt modtryk vil medføre et øget brændstofforbrug og desuden belaste bussens motor unødigt. Hvis et forhøjet modtryk fortsætter over en længere periode, kan det resultere i et driftsnedbrud af bussen.

Køretøj	Euronorm	Filtertype	Regenerering af partikelfilter	Leverandør af nyt eftermonteret partikelfilter
Bus1	IV	Lukket	Aktivt	Purefi A/S
Bus2	V	Lukket	Aktivt	Purefi A/S
Bus3	V	Lukket	Aktivt	Purefi A/S
Bus5	IV	Lukket	Passivt	Emicon Systems
Bus6	V	Lukket	Passivt	Emicon Systems
Bus7	EEV	Lukket	Passivt	Emicon Systems
Bus8	IV	Lukket	Aktivt	Purefi A/S
Bus9	EEV	Lukket	Aktivt	Purefi A/S
Bus10	V	Lukket	Aktivt	Purefi A/S
<b>Referencebusser</b>				
Bus4	IV	Referencebussen er ikke udstyret med originalt fabriksmonteret partikelfilter. Bussen er kun udstyret med SCR-katalysator		
Bus11	EEV	Referencebussen er ikke udstyret med originalt fabriksmonteret partikelfilter. Bussen er kun udstyret med oxidationskatalysator		

**TABEL 7**  
 OVERSIGT OVER DE 11 TESTEDE BUSSE. EURONORM, ORIGINALE FABRIKSMONTEREDE EMISSIONSREDUCERENDE SYSTEMER SAMT LEVERANDØREN AF DE NYE EFTERMONTEREDE PARTIKELFILTRE. EN BESKRIVELSE AF DE ENKELTE LEVERANDØRERS SYSTEMER KAN FINDES I KAPITEL 2. DET SKAL UNDERSTREGES, AT REFERENCEBUSSENE IKKE ER UDSTYRET MED NOGEN AF DE TRE LEVERANDØRERS EMISSIONSREDUCERENDE SYSTEMER.

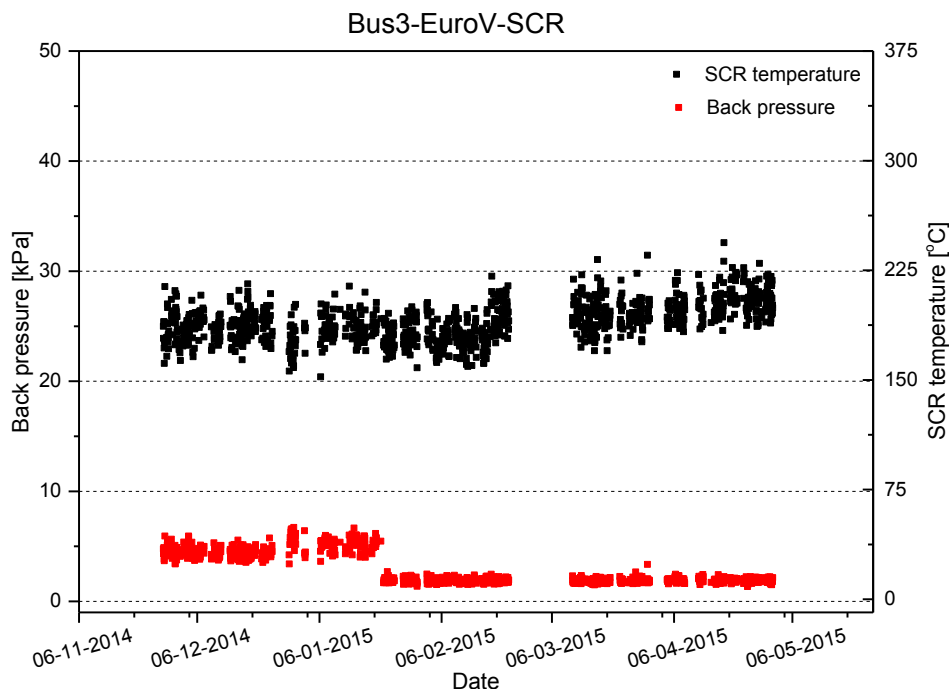
Alle busserne havde gennem perioden målt modtryk på mindre en 20 kPa. Dette er af Trafikstyrelsen, jf. principgodkendelse for partikelfiltre [ref1], angivet som øvre grænse for eftermonterede partikelfiltre, dog målt ved maksimal belastning på motoren, hvilket ikke umiddelbart kan aflæses af i den indsamlede data.

Figur 28 viser et eksempel på et velfungerende partikelfilter. Grafen viser det målte modtryk (back pressure) og temperaturen over katalysatoren som funktion af tiden. De plottede data er middelværdier over 1 time. Figuren viser, at der undervejs i måleperioden blev udført et service på partikelfilteret og systemet, hvilket resulterer i en tydeligt reduktion af modtrykket. Efter service forbliver modtrykket lavt og stabilt gennem resten af perioden. Der ses en svag stigning af temperaturen over katalysatoren mod slutningen af måleperioden, der dog ikke umiddelbart synes relateret til det førnævnte service af systemet. En nøgleparameter, som derimod er influeret af dette serviceeftersyn/rensning, er reduktionen af NO<sub>x</sub> som vist på Figur 29. Før service ses en svag faldende trend fra omkring 85% til 80% NO<sub>x</sub>-reduktion. Efter service på systemet stiger NO<sub>x</sub>-reduktionen til ca. 95% og forbliver stabil resten af perioden.

Figur 30 viser et eksempel på et system, hvor der opbygges et modtryk over tid. Mod slutningen af testperioden viser modtrykket omkring 15 kPa, dog med kortere perioder, hvor modtrykket har ligget omkring 20 kPa. Problemerne med opbygning af modtryk skyldes en strategi for passiv regenerering, hvilket ikke var tilstrækkeligt i forhold til de relativ lave udstødningstemperaturer.

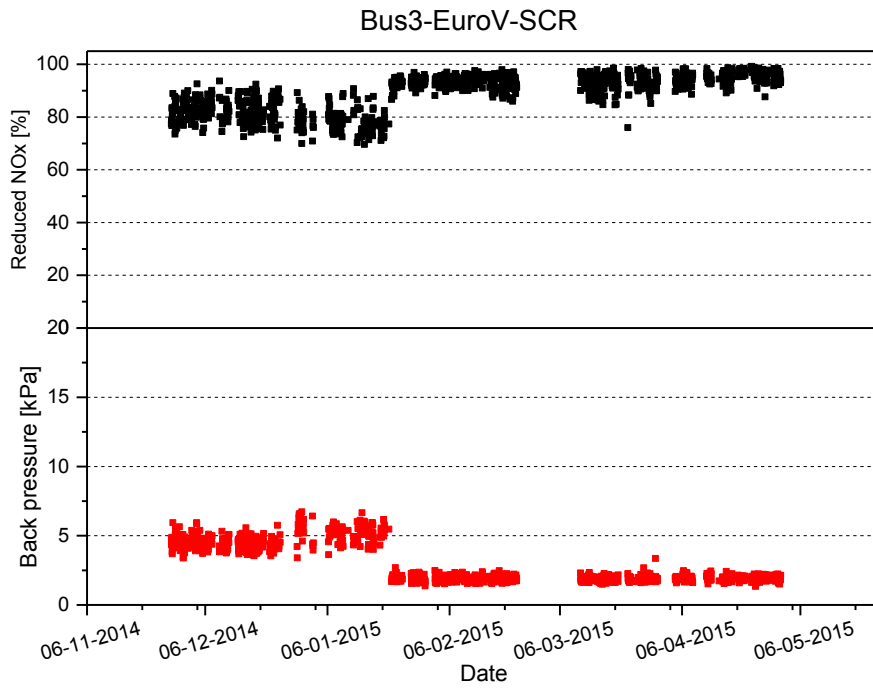
Et højt modtryk i systemet er dog ikke nødvendigvis et udtryk for, at partikelfilteret ikke fungerer optimalt. Figur 31 viser modtrykstigningen fra november til midten af december 2014. Dette skyldes krystallisation af urea ved katalysatoren (se Figur 14), hvilket har resulteret i en delvis blokering af flowet gennem systemet. Den udkrystalliserede urea var placeret omkring T2-sensoren, hvilket har bevirket, at sensoren i perioder har været skærmet fra røggassen og derved målt lavere gennemsnitlige SCR-temperaturer end forventet.

Forudsat korrekt justering og vedligeholdelse af systemerne viser testen, at alle systemer kan overholde et modtryk på maksimalt 20 kPa. FORCE Technology anbefaler, at man følger op på systemernes stabilitet under normale driftsforhold, eksempelvis ved hjælp af regelmæssige miljøsyn.

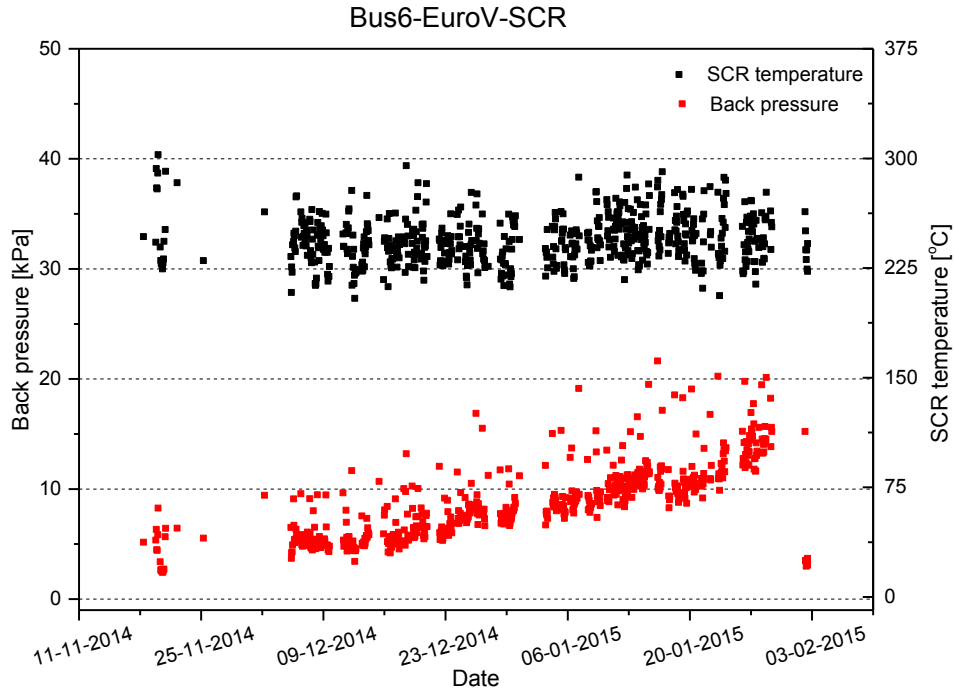


**FIGUR 28**  
MODTRYK OG DEN GENNEMSITLIGE SCR-TEMPERATUR SOM FUNKTION AF TIDEN. HVERT DATAPUNKT ER EN MIDDELVÆRDI OVER 1 TIME.

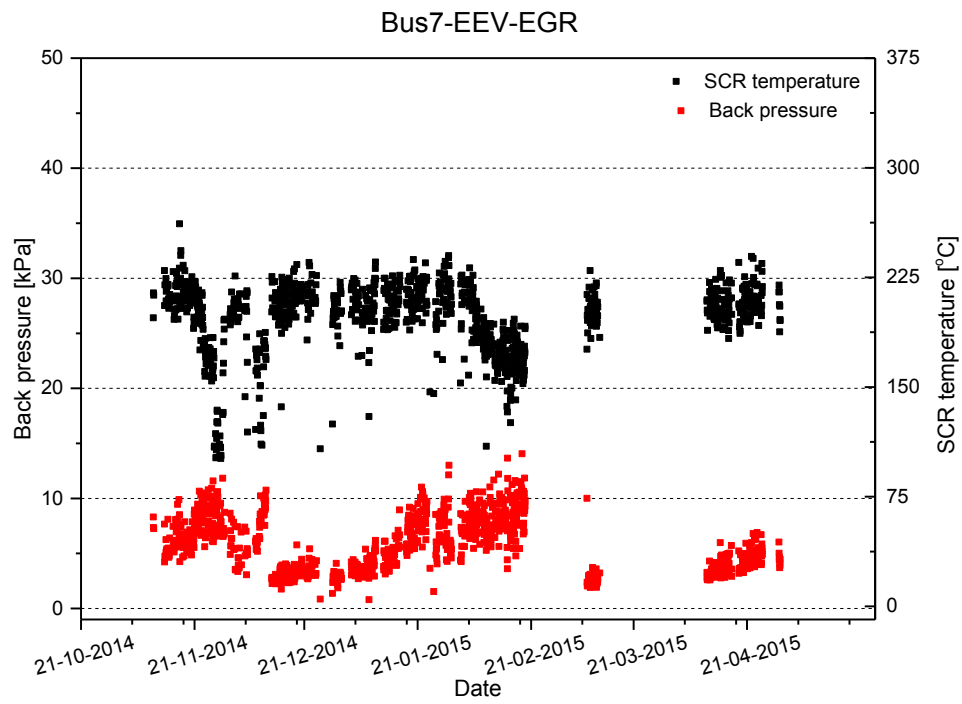




**FIGUR 29**  
 MODTRYK OG REDUCERET NO<sub>x</sub> SOM FUNKTION AF TIDEN. HVERT DATAPUNKT ER EN MIDDELVÆRDI OVER 1 TIME.



**FIGUR 30**  
 MODTRYK OG DEN GENNEMSITLIGE SCR-TEMPERATUR SOM FUNKTION AF TIDEN. HVERT DATAPUNKT ER EN MIDDELVÆRDI OVER 1 TIME.



**FIGUR 31**  
 MODTRYKKET OVER SYSTEMET I BUS7-EEV-EGR. MODTRYKSSTIGNINGEN FRA NOVEMBER TIL DECEMBER SKYLDES UDKRISTALLISERING AF UREA VED SCR-KATALYSATOREN.

# 4. Driftserfaringer

I testperioden, hvor demonstrationsbusserne har leveret kontinuert data fra deres færden i bytrafikken, har systemleverandørerne haft mulighed for at teste systemløsningerne under reelle driftssituationer. Dette gælder frem for alt de tekniske aspekter af systemerne, men det har ligeledes været muligt at afprøve, hvordan samspillet med busoperatørerne kan komme til at fungere optimalt. Det har været meget vigtigt for projektet at indsamle de forskellige driftserfaringer fra felttesten. Dette kapitel beskriver driftserfaringerne i projektet.

## 4.1 Systemleverandører

### 4.1.1 Amminex Emissions Technology A/S

Alle tre busser fik monteret systemerne i løbet af maj-juni 2014 og har været i drift frem til testperiodens afslutning i april 2015. Undervejs er der gjort flere erfaringer med både drift og vedligehold af systemerne. Amminex Emissions Technology A/S har undervejs optimeret på systemernes software og lavet små konstruktionsændringer på systemerne. Generelt har busserne kørt det meste af tiden uden fejl, og de fleste af Amminex's servicebesøg på busserne er udført for at optimere på software eller f.eks. lave service på de dataloggere som ikke er en del af selve systemet men som havde nogle driftsproblemer især i starten af projektet.

Alle tre systemer fik skiftet en plastskinne i beholderbefæstningen, som var prototype-fremstillet, inden den gav driftsproblemer. Flere forskellige tilgange til denne udskiftning blev afprøvet. I fremtiden vil udskiftning af hovedkomponenter være optimeret for pris og krav til holdbarhed.

I forbindelse med den daglige drift var det en udfordring at få skiftet beholderne med Adammine™, når de var tomme. En AdAmmine™-beholder rækker til 3-7 dages drift, alt efter antal timer bussen er i drift. I starten skulle beholderene skiftes af værkstedspersonalet, da det ikke blev regnet for rentabelt at vedligeholdelsespersonalet skulle optrænes, når det kun var på én bus ved hver operatør. Selve skiftet er forholdsvis nemt, men det var et problem at få det ind i værkstedernes daglige rutine at tjekke, om en beholder var tom. Så i flere omgang kørte busserne rundt med tomme beholdere. Senere i projektet blev dette afhjulpet ved, at Amminex selv kørte rundt til operatørerne og skiftede beholderne, når busserne var hjemme om natten.

#### 4.1.1.1 Erfaringer fra de enkelte busser

##### Bus1-EuroIV-SCR

For hardwaren kom der en udfordring på Bus1-EuroIV-SCR i forbindelse med vinterhalvårets kommen. Bussen havde forud for dette kørt 4 måneders fejlfri drift men begyndte derefter at have flere problemer, som alle kunne relateres til, at systemet sad et udsat sted, lige bag ved baghjulet (se Figur 32). Efter at have skiftet flere enkelte komponenter, blev hele systemet udskiftet. Forskellige grader af afskærmning for vand, sne og mudder fra vejen blev afprøvet med et godt resultat til følge. Selvom et af de andre systemer havde en tilsvarende position bag baghjulet, havde det ikke klimaproblemer.



**FIGUR 32**  
MUDDER PÅ ASDS™-SYSTEMET PÅ BUS1-EUROIV-SCR.

#### **Bus2-EuroV-SCR**

Bus2-EuroV-SCR blev først monteret med det nye system og er den med flest driftstimer i testperioden. Bussen har kørt næsten fejlfrit i over et år. Eneste komponentudskiftning var førnævnte plasticskinne. Systemet havde ikke problemer med vand, sne eller mudder i testperioden.

#### **Bus3-EuroV-SCR**

Bus3-EuroV-SCR havde 8 måneders fejlfri drift, inden hele systemet blev skiftet. Udskiftningen skyldtes en fejl på strømforsyningen til ASDS™-enheden. Herefter fungerede systemet fejlfrit i driften. Systemet havde ikke problemer med vand, sne eller mudder i testperioden.

#### **4.1.2 Emicon Systems**

En meget vigtig erfaring i projektet er, at de katalytiske coatninger af partikelfiltret bør tilpasses de kørselsmønstre, som busserne har i daglig drift. Køres busserne i anderledes drift, hvor højere driftstemperaturer opnås, kan rensningseffektiviteten af partikelfilter øges så meget, så rensningsgraden kortvarigt falder fra 95-99% til 75-80%, på grund af manglende "sodkage", der er med til at sikre, at partiklerne "fanges". Varigheden af nedsat reduktionsgrad afhænger af, hvor længe bussen fortsætter i "unormal drift".

Det blev yderligere erfaret, at med en optimal katalytisk coating og den rette størrelse partikelfilter, kan regenereringen af enheden fungere passivt i længere perioder. Regenereringseffektiviteten er dog ikke 100%, hvorfor serviceperioden for et passivt fungerende system ligger på 1.000 - 2.000 driftstimer. I sammenligning med et aktivt regenererende system kan serviceperioden være op til 4.000 timer eller en gang årligt.

Drift af SCR-funktionen har vist, at brug af AdBlue® for NO<sub>x</sub>-reduktion skal tilpasses/kalibreres til det aktuelle kørselsmønster. Generelle injektionsindstillinger kan anvendes, som ved OEM

systemer, det medfører dog risiko for krystallisering i rørsystemer; en krystallisering, som kan fjernes ved service. En mere fatal krystallisering kan indtræffe i selve SCR katalysatoren, idet krystalliseringen ikke umiddelbart er reversibel. Yderligere vil generelle basisindstillinger medføre en begrænset NO<sub>x</sub>-reduktion.

Busoperatørerne stillede busser til rådighed for projektet, dog med det vigtige forbehold, at bussen skulle være i drift. Det skabte undervejs et logistisk pres i forhold til at få den nødvendige adgang til busserne. Dog skal nævnes, at busoperatørerne for det meste har været tålmodige i forhold til at stille projektbusser til rådighed for reparation og service. Desværre oplevede systemleverandøren flere tilfælde, hvor busserne ikke kom hjem som aftalt.

Generelt ignoreredes systemalarmerne, selv efter at lydalarmerne aktiveredes, som supplement til lysalarmerne. I ét tilfælde har et system afgivet næste 20.000 alarmer over en 3-ugers periode, hvor én fejl medførte nye fejlalarmer. Yderligere blev et alarmdisplay fjernet fra instrumentbrættet af en enkelt operatør. Konklusionen på det er, at fjernovervågning af systemalarmer er den rigtige løsning, selv om det er en væsentlig omkostningsforøgelse, hardwaremæssigt og administrativt.

#### **4.1.2.1 Erfaringer fra de enkelte busser**

##### **Bus5-EuroIV-EGR**

Efter en uheldig opstart med et overophedet system, der smeltede flere ledninger mv. grundet en defekt EGR-ventil, blev systemet det umiddelbart bedst fungerende. Præcise og kontinuerlige NO<sub>x</sub> reduktionsresultater mangler i flere perioder, fordi operatøren ikke påfyldte AdBlue® som foreskrevet. Manglende AdBlue® medførte, at den nødvendige NH<sub>3</sub>-mætning af SCR-katalysatoren, blev hindrende for en god NO<sub>x</sub>-reduktion i ydre belastningsområder (lav/høj). Det gjorde kalibreringsprocessen utrolig vanskelig og det betød, at det i starten blev antaget, at systemet underdoserede en smule. Derfor blev doseringen af AdBlue® øget, hvilket uheldigvis medførte krystallisering i SCR-katalysatoren, som slutteligt medførte en middelgod WHVC test (se kapitel 5).

Partikelfilteret fungerede fint i samarbejde med den vacuumstyrede EGR-ventil (passiv EGR-ventil), som periodevis blev neddroppet for at øge iltoverskuddet i udstødningsgassen og derved forsøge at øge regenereringen af partikelfilteret.

##### **BUS6-EuroV-SCR**

Pladsforholdene på bus6-EuroV-SCR var begrænsede, og det var ikke muligt at få plads til et kombineret system, der var designet med et partikelfilter, som er nummeret større end det, der er anvendt i projektet. Den særlige udfordring var, at AdBlue®-injektoren skulle placeres mellem partikelfilteret og SCR-katalysatoren, hvilket indebærer, at der kunne opstå nedkølingsproblemer.

De ECU- og styringsteknologier, der er til rådighed for NO<sub>x</sub>-reduktionssystemer pt., giver ikke mulighed for megen fleksibilitet i den overordnede systemkonstruktion, primært pga. af systemernes temperaturfølsomhed. Specielt har AdBlue®-injektorerne vist sig ekstrem temperaturfølsomme, hvilket medførte, at systemdesignet måtte opgives. Der var dog hverken tid eller ressourcer til at gennemføre yderligere nye systemdesign ud over de 2 ombygninger, der var forsøgt.

Systemmodtrykket holdt nogenlunde til ordinær drift. Blev der kørt uden for rute med højere belastning (omdrejninger, temperatur, belastning), blev modtrykket i systemet for højt.

##### **Bus7-EEV-EGR**

Partikelfiltertest og afstemning i forhold til OBD-overvåget EGR funktion viste, at motoren til en vis grad korrigerer EGR-ventilens position i forhold til systemmodtrykket. På trods af de meget lave

driftstemperaturer holdt modtrykket sig på et lavt regenereringsniveau. Systemdesignet og opsætninger ændres fra 1 x SCR-katalysator til 2 x SCR-katalysator med henblik på at øge reduktionen i det lave temperaturområde, motoren arbejder i. Manglende reageren på systemalarmerne fra operatøren førte til, at problemer med forbruget af AdBlue® ikke var optimalt.

De driftserfaringer, Emicon Systems har fra projektet, har bidraget til en stor erfaring i, hvordan SCR-systemer tilpasses aktuelle og specifikke driftsforhold og hvilke kombinations- og tillægsteknologier, der kan bidrage til at optimere virkningsgraden, effektiviteten og holdbarheden.

#### **4.1.3 Purefi A/S**

Purefi A/S har undervejs i perioden udført adskillige mekaniske, elektroniske og softwaremæssige ændringer på systemerne. Eksempelvis blev utætte slangetilslutninger, nye elektroniske styringer såsom styreelektronik til nye typer sensorer, pumper, dyser mv. løst og forbedret. Der blev også arbejdet en del på videreudvikling af elektronikken (styreenheden), idet Purefi A/S har anvendt helt nye komponenter, som ikke tidligere har været anvendt i Purefi's systemer. Generelt har Purefi A/S vægтет at udvikle, undersøge og teste forskellige løsninger frem for at fokusere på en og samme løsning gennem hele projektet.

Resultater fra test på rullefelt hos Teknologisk Institut i Århus (se kapitel 5) viste, at en partikeludledning svarende til Euro VI niveau kunne opnås ved at anvende en ny type Silicium Carbide-filter med meget finere porer. Denne type blev monteret på samtlige busser under de planlagte filterservices.

Type 1 SCR-katalysatorer var fabriksmonteret på alle 3 busser og blev anvendt indledningsvis i testperioden. Purefi A/S valgte desuden at teste en ny type SCR-katalysator (type 2), som også anvendes til OEM Euro VI køretøjer i dag. Forskellen mellem type 1 og type 2 SCR-katalysatorer er følsomheden overfor uforbrændte kulbrinter samt absorptionsgraden af urea, som er det aktive stof i Adblue®. Type 1 er en katalysator, som ikke kræver stor nøjagtighed for dosering af urea og som dermed er mindre følsom over for overdosering, mens type 2 ikke har samme grad af urea absorption, hvilket betyder, at styringslogikken for urea dosering kræver større opmærksomhed. Sidstnævnte er dog ikke følsom over for uforbrændte kulbrinter, hvilket er vigtigt i sammenhæng med Purefi aktiv regenerering samt SCR-ATC. Denne type 2 SCR-katalysator blev monteret på samtlige busser under de planlagte service.

##### **4.1.3.1 Erfaringer fra de enkelte busser**

###### **Bus8-EuroIV-SCR**

Denne bus havde kørt ca. 1.0 mio. km ved monteringsstidspunktet og var udstyret fra fabrikken med SCR-katalysator og et meget begrænset alarmniveau. Det originale system blev afmonteret og erstattet af et komplet Purefi DPF\_SCR. Efter at diverse varmeproblemer samt andre elektroniske relaterede problemer blev løst, har systemet generelt fungeret meget fint med tilfredsstillende resultater til følge. Purefi A/S oplevede ingen problemer med sammenkobling af systemet eller andre former for driftsproblemer med bussen.

AdBlue®-tanksignalet viste sig dog at være sporadisk fejlbehæftet, hvilket resulterede i flere dataudfald, dvs. ingen AdBlue® dosering pga. signal om manglende AdBlue® og dermed ingen NO<sub>x</sub> reduktion. Det lykkedes ikke at afhjælpe denne fejl undervejs i testperioden. Emissionssystemet har ikke givet anledning til dage, hvor bussen har måtte tages ud af drift. Partikelfilteret har virket upåklageligt i hele perioden.

### **Bus9-EEV-EGR**

Bussen er fabriksmonteret med en EGR-ventil og uden andre former for hjælpemidler til reduktion af NO<sub>x</sub> eller partikler. En sammenkobling med bussens alarmsystem og Purefi's system har ikke givet anledning til problemer. Der var ligesom for de øvrige busser opstartsproblemer mht. varme og utætte slanger til AdBlue® samt udskiftning af diverse elektronikheder mv. Alle disse udfordringer blev dog løst og udbedret undervejs i testperioden.

I hele testperioden har systemet ikke forårsaget driftsproblemer, hvor bussen har måtte blive i garageanlægget. Partikelfilteret har fungeret problemfrit mht. EGR-ventilen og den meget lave udstødningstemperatur på ca. 200 °C.

### **Bus10-EuroV-SCR**

Bussen er fabriksmonteret med en SCR-katalysator og intet partikelfilter. Purefi A/S udskiftede SCR katalysatoren til en kombination af DPF og SCR men valgte at bibeholde doseringssystemet til AdBlue®, således at de to systemenheder kørte parallelt med hinanden. Tanken var at undgå nogen form for frakobling af det oprindelige system af hensyn til eksisterende godkendelse på bussen. Det er normalt ikke tilladt at fjerne alarmsystemer eller frakoble enheder. Derfor var det vigtigt at sammenkoble det nye system med det oprindelige.

Dette system kaldes for et Add-on system og er optimeret til at reducere NO<sub>x</sub> uden for normal udstødningstemperatur, som ligger over ca. 250 °C. Under denne temperatur blev systemet programmeret til at reducere NO<sub>x</sub> til, hvad der svarer til bykørsel. Denne sammenkædning viste sig ikke at være helt optimal og problemfri, da det originale system var fejlbehæftet med det resultat, at doseringen af urea ikke var korrekt og med kraftig overdosering til følge. Dette var helt uafhængigt af, om Purefi's system var til eller frakoblet.

I perioder, hvor den fabriksmonterede urea dosering virkede korrekt, kunne der opnås meget høje reduktionsgrader, helt op til 90% NO<sub>x</sub>-reduktion. Figur 33 viser den originale dyse med ukorrekt dosering af urea, som gav anledning til tilstopning af systemet i form af urea-krystallisering. Ovenstående blev løst ved at koble den originale dyse fra, således at der kun blev doseret med Purefi's doseringspumpe.



**FIGUR 33**  
UDSTØDNINGSRØR FRA BUS10-EUROV-SCR UMIDDELBART EFTER ORIGINAL MONTERET INDSPRØJTNINGSDYSSE. SYSTEMET VAR FEJLBEHÆFTET OG UREA-DOSERINGEN VAR MEGET TILFÆLDIG. UREA KRYSTALLER DANNES OMKRING DEN ORIGINALE DYSSE OG VIL MED TIDEN TILSTOPPE GASGENNEMSTRØMNINGEN.

## **4.2 Busoperatører**

Alle systemerne var prototyper, som derfor krævede en større eller mindre grad af tilpasning og optimering. Operatørernes vurdering af systemerne har fokuseret på de daglige driftsbetingelser, og deres vurdering afspejler derfor det umiddelbare indtryk af de eftermonterede systemer. Eftersom referencebusserne kun var blevet udstyret med dataloggere, er disse busser ikke omfattet af operatørernes vurdering.

Generelt krævede det en tilpasning fra systemleverandørernes side til at forstå, at adgangen til busserne var betinget af driften. Dvs. at busserne ikke altid har kunne bese, når og hvor leverandøren havde behov for det. Der opstod dog en gradvis forståelse for dette forhold i løbet af projektet.

### **4.2.1 Anchersen ApS**

Følgende busser har Anchersen ApS stillet til rådighed for projektet:

- Bus7-EEV-EGR, Emicon Systems
- Bus9-EEV-EGR, Purefi A/S
- Bus11-EEV-EGR, (referencebus), Purefi A/S



**Purefi A/S:**

Partikelfilteret fungerede upåklageligt, men der var generelle problemer med SCR-systemet i testperioden. Generelt har chaufførerne i busserne ikke være gode til at rapportere tilbage til værkstedet, hvis der har været en alarm på bussen.

**Emicon Systems:**

Systemet var præget af mange nedbrud, og der var generelt mange problemer. Anchersen ApS vurderer, at Emicon Systems havde udpræget mangel på interne ressourcer. Der har desuden ikke foreligget en aftale mellem Anchersen ApS og Emicon Systems om, hvordan alarmer skulle håndteres. Generelt har chaufførerne i busserne ikke være gode til at rapportere tilbage til værkstedet, hvis der har været en alarm på bussen.

**4.2.2 Keolis Bus Danmark A/S (tidligere City-Trafik)**

Følgende busser har Keolis Bus Danmark A/S stillet til rådighed for projektet:

- Bus1-EuroIV-SCR, Amminex Emissions Technology A/S
- Bus4-EuroIV-SCR, (referencebus), Amminex Emissions Technology A/S
- Bus8-EuroIV-SCR, Purefi A/S

**Amminex Emissions Technology A/S:**

Teknisk udfordring med at få skiftet beholdere. Det vurderedes, at dette ikke kan løftes af 'vaskefolkene', der normalt foretager den regelmæssige service på busserne. Amminex Emissions Technology overtog senere i forløbet udskiftningen af beholdere, når busserne holdt stille om natten. Alle alarmer blev overvåget af Amminex Emissions Technology A/S. Informationsniveauet var rigtig fint og professionelt. Driftssikkert NO<sub>x</sub>-reducerende system. Partikelfilteret, der blev leveret og serviceret af Purefi A/S, var ligeledes driftssikkert gennem testperioden.

**Purefi A/S:**

Ingen generelle problemer med driftsforstyrrelser af busserne, dog vurderes placering af udstødningen som u hensigtsmæssigt i forhold til den daglige drift. Keolis savnede generelt mere information fra Purefi A/S. Generelt har chaufførerne i busserne ikke været gode til at rapportere tilbage til værkstedet, hvis der var alarmer på bussen. Dette kunne eventuelt afhjælpes, hvis alarmerne kunne placeres mere synligt. Der har desuden ikke foreligget en aftale mellem Keolis og Purefi A/S om, hvordan dette forhold skulle håndteres. Busserne blev taget til rutinemæssigt eftersyn hver 10.000 km, og her blev alarmerne opdaget af værkstedet.

**4.2.3 Keolis Bus Danmark A/S (tidligere NettBus)**

Følgende busser havde Keolis Bus Danmark A/S stillet til rådighed for projektet:

- Bus2-EuroV-SCR, Amminex Emissions Technology A/S
- Bus6-EuroV-SCR, Emicon Systems

**Amminex Emissions Technology A/S:**

SCR/ASDS systemet har virket driftssikkert gennem hele perioden. Ligeledes har partikelfilteret, der blev leveret af Purefi A/S, rent driftsmæssigt virket upåklageligt i testperioden. Udskiftning af AdAmine™-beholdere var dog en logistisk udfordring, og Keolis vurderer, at det ville være fordelagtigt, hvis beholderne kunne gøres større. Amminex Emissions Technology A/S overtog i løbet af testperioden ansvaret for udskiftningen af beholdere, når busserne holdt stille om natten, hvilke afhjælp problemet. Dialog og informationsniveauet har været godt.

**Emicon Systems:**

Systemet har virket driftssikkert i længere perioder af gangen. Det vurderes af operatøren, at Emicon Systems generelt har manglet interne ressourcer til at løse en række problemer.

**4.2.4 Arriva Danmark A/S**

Følgende busser har Arriva Danmark A/S stillet til rådighed for projektet:

- Bus3-EuroV-SCR, Amminex Emissions Technology A/S
- Bus5-EuroIV-SCR, Emicon Systems
- Bus10-EuroV-SCR, Purefi A/S

**Amminex Emissions Technology A/S:**

Det NO<sub>x</sub>-reducerende systemet virkede driftssikkert gennem hele perioden. Ligeledes har partikelfilteret, der blev leveret og serviceret af Purefi A/S, virket upåklageligt gennem testperioden. Udskiftning af beholdere var dog en logistisk udfordring. Senere overtog de udskiftningen af beholdere, når busserne holdt stille om natten som en konsekvens af flere tilfælde, hvor beholderne var kørt tomme og ikke skiftet rettidigt. Alle alarmer blev overvåget af Amminex Emissions Technology A/S. God kommunikation med værkstedet.

**Emicon Systems:**

Systemet har virket ustabil i måleperioden. Mange system- og hardwarefejl. Fejlene blev dog rettet løbende. Problemer med partikelfilter og SCR-systemet igennem hele måleperioden. Meget fin kommunikation med værkstedet.

**Purefi A/S:**

Partikelfilteret virkede upåklageligt gennem testperioden. SCR-systemet virkede ustabil og designet lignede en tidlig prototype. Generelt er chaufførerne i busserne ikke gode til at rapportere tilbage til værkstedet, hvis der er alarmer på bussen, men der har ikke ligget en aftale om, hvordan dette skulle håndteres. Mangel på generel information og kommunikation.

# 5. Nøgleresultater fra test på rullefelt

Fem busser blev testet på rullefelt ved WHVC (World Harmonized Vehicle Cycle) kørselscyklussen, der simulerer by-, landevejs-, og motorvejskørsel. Testen blev udført på både kold og varm motor hos Teknologis Institut i Århus. WHVC er ikke en del af den officielle målemetode for godkendelse af Euro VI køretøjer, der i stedet anvender WHTC (World Harmonized Transient Cycle), hvor motoren alene opspændes i en prøvebænk tilsluttet et dynamometer.

Følgende fem busser blev testet på rullefelt.

- Bus1-EuroIV-SCR
- Bus4-EuroIV-SCR (referencebus)
- Bus5-EuroIV-EGR
- Bus8-EuroIV-SCR
- Bus9-EEV-SCR

Alle busser var udstyret med et SCRT®-baseret system (Selective Catalytic Regenerating Trap), som kombinerer SCR-katalysatoren og partikelfilteret. Foruden de førnævnte busser, blev der også testet en Euro VI bus for at kunne sammenligne resultaterne fra de fem busser.

Testen blev udført under transiente forhold (målecyklussen indeholder perioder med acceleration og opbremsning) på et dynamisk virkende rullefelt. Data for hastighed, tab og motoreffekt blev registreret 10 gange pr. sekund. Et udsnit af det anvendte prøvningsudstyr er vist i Tabel 8.

Komponent	Producent/model	Type	Måleområde	Usikkerhed
Dynamometer	AHS, ELP 500 A/D	Eddy current	0 – 500 kW	±2 sek, ±2 km/h
Udstødningsgas	Antaris, IGS	FTIR		±1,5 %
Partikler	AVL, 489 Advanced	UNECE-R83 og PMP godkendt	23 – 2500 nm	Ikke oplyst
Luftmængde	Bosch, 0280217801	Hotwire	0 – 1500 kg/h	±2 %
Brændstof	AVL, 753+735	Coriolis + Conditioning	0 – 125 kg/h	±0,12 %

**TABEL 8**  
ET UDSNIT AF DET ANVENDTE PRØVNINGSUDSTYR.

Røggasemissioner og partikelantal blev målt én gang pr. sekund ved hjælp af et FTIR (Fourier Transform Infrared) spektrometer og en PMP-CPC partikeltæller (Particle Measurement Program – Condensation Particle Counter). Målinger af volumenstrømme og brændstofforbrug blev ligeledes beregnet pr. sekund på baggrund af andre målte parametre.

### 5.1 Resultater og vurderinger fra test på rullefelt

Referencebussen (Bus4-EuroIV-SCR) overholdt ikke den respektive euroklasse i forhold til udledningen af NO<sub>x</sub>. Ved kold og varm WHVC blev NO<sub>x</sub>-værdierne målt til henholdsvis 13,32 og 8,21 g/kWh. Disse relativt høje værdier skyldes formentlig, at køretøjet var slidt efter meget brug.

Som forventet var NO<sub>x</sub>-udledningen generelt højere ved test på kold motor end ved varm motor. Dette skyldes, at SCR-katalysatoren først skulle nå en vis driftstemperatur, inden denne kunne begynde at virke optimalt. ASDS-systemet fra Amminex Emissions Technology A/S på Bus1-EuroIV-SCR havde den laveste NO<sub>x</sub>-udledning under testen (WHVC-kold: 1,95 g/kWh, WHVC-varm: 0,03 g/kWh), mens systemet fra Purefi A/S (Bus8-EuroIV-SCR) viste NO<sub>x</sub> udledning ved kold og varm motor, blev NO<sub>x</sub>-værdierne målt til henholdsvis 2,90 og 0,30 g/kWh. Systemet fra Emicon Systems viste en noget højere NO<sub>x</sub>-udledning fra kold motor (8,03 g/kWh) men derimod lav udledning fra varm motor (0,22 g/kWh). Resultaterne fra den eneste testede EEV-bus (Bus9-EEV-EGR) med Purefi's system viste NO<sub>x</sub>-udledninger på 2,05 og 0,17 g/kWh fra henholdsvis kold og varm motor. Til sammenligning er referenceværdien henholdsvis 0,46 g/kWh og 3,5 g/kWh for en Euro VI og en Euro IV bus (målt ved WHTC).

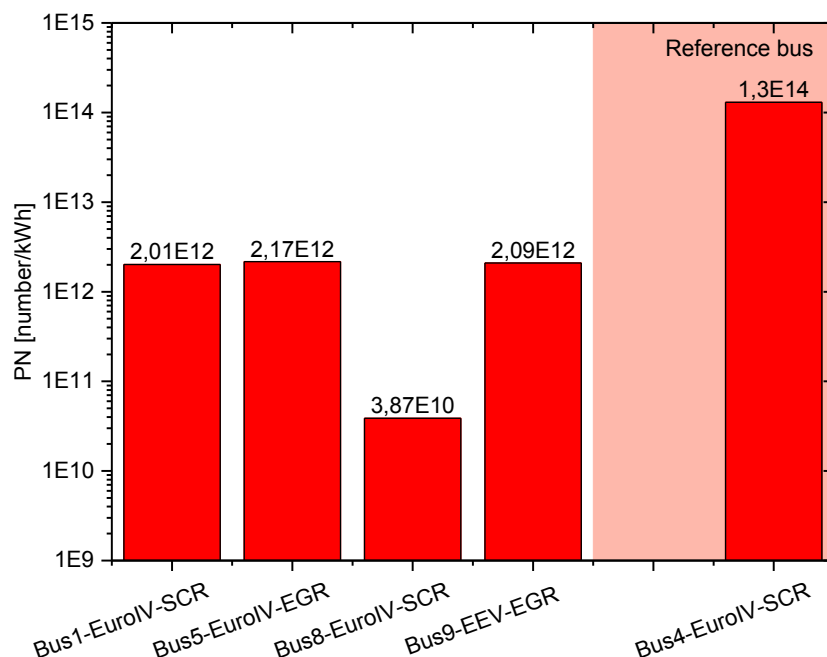
Et vægtet gennemsnit af målte NO<sub>x</sub>-værdier ved henholdsvis WHVC-kold (14%) og WHVC-varm (86%) viser, at to busser (Bus1-EuroIV-SCR og Bus9-EEV-EGR) opfylder det vægtede krav for Euro VI busser. Resultaterne af de fem testede busser samt Euro VI referencebussen kan ses i Tabel 9.

Bus	NO <sub>x</sub> , WHVC -kold	NO <sub>x</sub> , WHVC - varm	Vægtede værdier NO <sub>x</sub>
Bus1- EuroIV-SCR	1,95 g/kWh	0,03 g/kWh	0,29 g/kWh
Bus4- EuroIV-SCR	13,32 g/kWh	8,21 g/kWh	8,93 g/kWh
Bus5- EuroIV-EGR	8,03 g/kWh	0,22 g/kWh	1,31 g/kWh
Bus8-EuroIV-SCR	2,90 g/kWh	0,30 g/kWh	0,70 g/kWh
Bus9-EEV-EGR	2,05 g/kWh	0,17 g/kWh	0,43 g/kWh
Euro VI	-	0,12 g/kWh	-

**TABEL 9**  
DEN MÅLTE UDLEDNING AF NO<sub>x</sub> VED HENHOLDSVIS KOLD OG VARM WHVC SAMT VÆGTETE VÆRDIER (86% VARM/14% KOLD). BUS4-EUROIV-SCR ER REFERENCEBUS MED ORIGINALT OEM SYSTEM.

Partikeludledningen viste, at partikelfiltrene fungerede godt på både Euro IV og EEV køretøjerne, og på Euro IV busserne blev der målt en reduktion af partikelantallet (PN) på ca. 98%. I bedst test var reduktionsgraden på 99,97% i forhold til Euro IV referencebussen. Dog er der kun en bus (Bus8-EuroIV-SCR, vægtet-PN: 3,87E+10 [antal/kWh]) fra Purefi A/S, som overholder Euro VI grænseværdien (6,00E+11 [antal/kWh]), der har anvendt en anden type filter med en mindre porestørrelse end de øvrige testede busser. Generelt viste resultaterne fra de øvrige testede busser vægtet partikeludledning på ca. 2E+12 antal/kWh (se Figur 34). Det skal bemærkes, at bussen på

det tidspunkt havde kørt mere end 1.0 mio. km i drift. Det understreges dog, at den førnævnte grænseværdi for partikelantal for Euro VI er fastsat efter WHCT og ikke efter den mere krævende WHVC kørselscyklus, som målingerne på rullefelt er lavet efter.



FIGUR 34

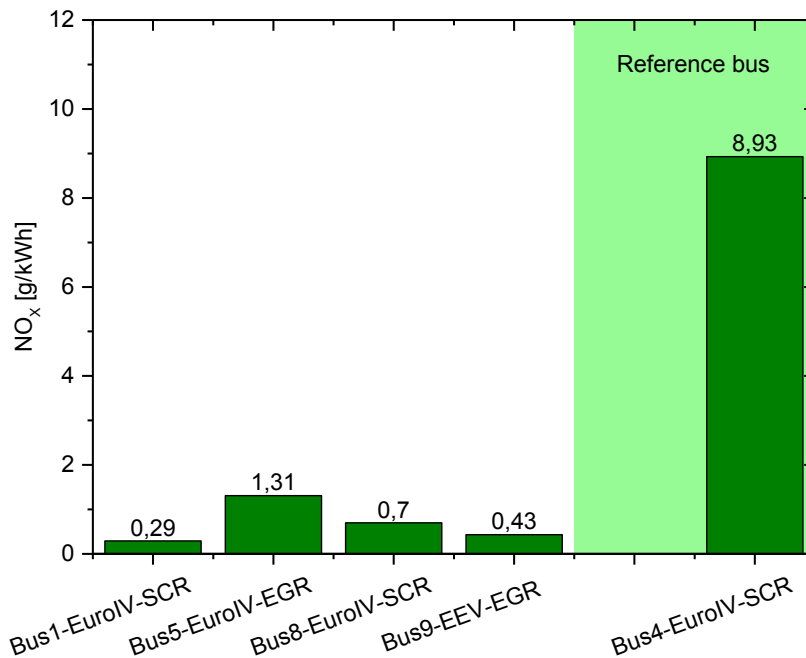
UDLEDNING AF PARTIKELANTAL FRA BUSSE R MÅLT PÅ RULLEFELT VED WHVC. REFERENCEBUSSEN ER VIST TIL HØJRE PÅ FIGUREN. BUS1-EUROIV-SCR (AMMINEX EMISSIONS TECHNOLOGY A/S), BUS5-EUROIV-EGR (EMICON SYSTEM), BUS8-EUROIV-SCR (PUREFI A/S) OG BUS9-EEV-EGR (PUREFI A/S).

### 5.1.1 Ammoniakslip

For at omdanne NO<sub>x</sub> til kvælstof (N<sub>2</sub>) anvendes ammoniak-gas. Ammoniak stammer fra omdannelsen af urea, som er det aktive stof i AdBlue®, eller fra Amminex Emissions Technology's ASDS™ system, som beskrevet i afsnit 2.1. Eftersom alle SCR-systemer anvender ammoniak til reduktion af NO<sub>x</sub>, blev ammoniakslippet (udledning af ammoniak i udstødningssgasen) fra systemerne ligeledes målt. Euro IV-busserne fra Emicon Systems og Purefi A/S havde udfordringer med at overholde grænseværdien på 10 ppm for Euro VI (WHSC + WHTC), mens systemet fra Amminex Emissions Technology A/S samt EEV-bussen med systemet fra Purefi A/S begge overholdt grænseværdien for Euro VI ved test på kold og varm motor. Ammoniakslippet fra Euro IV referencebussen var ligeledes lavere end for de samtlige eftermonterende SCRT®-systemer, men dette kan eventuelt skyldes, at systemet ikke doserer så meget AdBlue® i forhold til de eftermonterede systemer. Det bemærkes ligeledes, at NO<sub>x</sub> udledningen fra denne referencebus er betydelig højere sammenlignet med de øvrige testede busser, og derfor formentlig ikke forbruger sammenlignelig mængde AdBlue®. Teknologisk Institut understreger, at ammoniakudledningen bør overvåges og om nødvendigt justeres på alle køretøjer med SCR-systemer.

Målingerne indikerer, at de eftermonterede systemer stadigvæk er prototyper, som kræver nogen grad af optimering. Resultaterne viste desuden, forudsat korrekt justering og vedligeholdelse, at det er muligt med eftermonterede SCRT® kombinationssystemer at opnå emissionsgrænser for NO<sub>x</sub> og partikler, der er sammenlignelige med kravene for Euro VI. Det vurderes dog, at ASDS™-systemet fra Amminex Emissions Technology A/S opnåede de bedste vægtede måleresultater for NO<sub>x</sub>-reduktion, og Amminex Emissions Technology's Euro IV-bus opnåede den højeste NO<sub>x</sub>-omsætning

af alle busser testet på rullefelt. Systemet fra Purefi A/S viste ligeledes høje NO<sub>x</sub>-reduktioner, og udledningen fra EEV bussen var under grænseværdien for Euro VI busser. Resultaterne med Emicon Systems teknologiløsning viste ligeledes, at det var muligt at opnå en NO<sub>x</sub>-reduktion, der var bedre end den tilhørende referencebus samt gældende grænseværdi for bussens respektive Euro-norm (se Figur 35).



**FIGUR 35**

UDLEDNING AF NO<sub>x</sub> FRA BUSSE MÅLT PÅ RULLEFELT VED WHVC. REFERENCEBUSSEN ER VIST TIL HØJRE PÅ FIGUREN. BUS1-EUROIV-SCR (AMMINEX EMISSIONS TECHNOLOGY A/S), BUS5-EUROIV-EGR (EMICON SYSTEM), BUS8-EUROIV-SCR (PUREFI A/S) OG BUS9-EEV-EGR (PUREFI A/S).

De bedste resultater for partikeludledning blev opnået af Purefi A/S (vægtet-PN: 3,87E+10 [antal/kWh]), som anvendte en anden type filter med en mindre porrestørrelse end de øvrigt testede busser. Det skal dog understreges, at der er tale om et meget begrænset antal busser, der blevet testet under dette projekt. Teknologisk Institut vurderer og anbefaler, at man bør følge op på systemernes virkningsgrad og stabilitet under normale driftsforhold. Dette gøres eksempelvis ved hjælp af regelmæssige miljøsyn.

# Referencer

[Ref1] <http://www.trafikstyrelsen.dk/DA/Grøn-Transport/krav-til-energi-og-miljøgeneskaber/Luftforurening-fra-biler/Partikelfiltre-tunge-koeretoerjer/Principgodkendte-partikelfiltre.aspx>

[Ref2] R. Vermeulen et al. A smart and robust NO<sub>x</sub> emission evaluation tool for the environmental screening of heavy-duty vehicles, TAP Paper 49. 19<sup>th</sup> Internal Transport and air pollution Conference 2012, Greece.

[Ref3] H. Zhang et al., Removal of NO<sub>x</sub> sensor ammonia cross sensitivity from contaminated measurements in Diesel-engine selective catalytic reduction systems, Fuel Vol. 15, 448 – 456, 2015.

[Ref4] Teknisk specifikation af NO<sub>x</sub> sensor. SNS UNINOX24V EUVISmart NO<sub>x</sub> sensor SNS114, DF no: ECM10176162, 2010

[Ref5] R. Vermeulen et al. The Netherlands In-service Testing Program for Heavy-Duty Vehicle Emission 2012: summary report. TNO 2013 R10960, (2013).

[Ref6] M. Saad Khan et al. Characterization of Diesel-Hydrogen Peroxide Fuel Blend, Journal of Energy Technologies and Policy. Vol.3, No.11, 2013.

[Ref7] Produktspecifikation, Transportdiesel – EN 590.

## Bilag 1: Dataloggede parametre

Tabellerne viser en liste over indsamlede parametre for hver af de 11 busser.

BUS1-EUROIV-SCR (AMMINEX EMISSIONS TECHNOLOGY A/S)

Kolonne-nummer	Tekst i header	Parametre	Decimaler	Enhed	Dataoprindelse
1	Dato	Dato for målingen	-	dd-mm-yyyy	Logger internt ur
2	Tid	Tidspunktet for målingen	-	hh:mm:ss	Logger internt ur
3	T1	Temperatur før filtersystem (indgangstemperaturen)	0	°C	Purefi's temp. sensor
4	T2	Temperatur efter filter (og dermed før SCR)	0	°C	ASDS temp sensor
5	T3	Temperatur efter SCR	0	°C	ASDS temp sensor
6	T4	Udetemperatur	0	°C	Ambient temp fra bus CAN
7	P1	Modtryk for hele filtersystem inklusive SCR, dvs. modtryk tages ved indgangen til systemet	1	kPa	Purefi's tryksensor
8	NOx1	NOx ind (rå-emissionen, det der kommer ud af motor)	0	ppm (våd)	ASDS NOx/O2 sensor ind
9	NOx2	NOx ud (emissionen efter systemet).	0	ppm (våd)	ASDS NOx/O2 sensor ud
10	O2	O2 i udgangsluften	2	% (våd)	ASDS NOx/O2 sensor ud
11	RPM	RPM for motor	0	1/min	fra bus CAN
12	H1	Hastighed for køretøj	0	km/h	Wheel based speed fra bus CAN
13	B1	Brændstofforbrug	1	l/h	Fuel flow fra bus CAN
14	S1	Tankstatus for Adammine	0	-	Tom melding fra ASDS på begge beholdere.

Der måles 2 gange i sekundet, hvorefter data midles over 10 sekunder og logges i en datafil.

BUS2-EUROV-SCR (AMMINEX EMISSIONS TECHNOLOGY A/S)



Kolonne-nummer	Tekst i header	Parametre	Decimaler	Enhed	Dataoprindelse
1	Dato	Dato for målingen	-	dd-mm-yyyy	Logger internt ur
2	Tid	Tidspunktet for målingen	-	hh:mm:ss	Logger internt ur
3	T1	Temperatur før filtersystem (indgangstemperaturen)	0	°C	Purefi's temp. sensor
4	T2	Temperatur efter filter (og dermed for SCR)	0	°C	ASDS temp sensor
5	T3	Temperatur efter SCR	0	°C	ASDS temp sensor
6	T4	Udetemperatur	0	°C	Ambient temp fra bus CAN
7	P1	Modtryk for hele filtersystem inklusive SCR, dvs. modtryk tages ved indgangen til systemet	1	kPa	Purefi's tryksensor
8	NOx1	NOx ind (rå-emissionen, det der kommer ud af motor)	0	ppm (våd)	ASDS NOx/O2 sensor ind
9	NOx2	NOx ud (emissionen efter systemet).	0	ppm (våd)	ASDS NOx/O2 sensor ud
10	O2	O2 i udgangsluften	0	% (våd)	ASDS NOx/O2 sensor ud
11	RPM	RPM for motor	0	1/min	Bus CAN
12	H1	Hastighed for køretøj	0	km/h	Wheel based speed fra bus CAN
13	B1	Brændstofforbrug	1	l/h	Findes ikke
14	S1	Tankstatus for Adammine	0	-	Tom melding fra ASDS på begge beholdere.

Der måles 2 gange i sekundet, hvorefter data midles over 10 sekunder og logges i en datafil.

Kolonne-nummer	Tekst i header	Parametre	Decimaler	Enhed	Dataoprindelse
1	Dato	Dato for målingen	-	dd-mm-yyyy	Logger internt ur
2	Tid	Tidspunktet for målingen	-	hh:mm:ss	Logger internt ur
3	T1	Temperatur før filtersystem (indgangstemperaturen)	0	°C	Purefi's temp. sensor
4	T2	Temperatur efter filter (og dermed før SCR)	0	°C	ASDS temp sensor
5	T3	Temperatur efter SCR	0	°C	ASDS temp sensor
6	T4	Udetemperatur	0	°C	Ambient temp fra bus CAN
7	P1	Modtryk for hele filtersystem inklusive SCR, dvs. modtryk tages ved indgangen til systemet	1	kPa	Purefi's tryksensor
8	NOx1	NOx ind (rå-emissionen, det der kommer ud af motor)	0	ppm (våd)	ASDS NOx/O2 sensor ind
9	NOx2	NOx ud (emissionen efter systemet).	0	ppm (våd)	ASDS NOx/O2 sensor ud
10	O2	O2 i udgangsluften	0	% (våd)	ASDS NOx/O2 sensor ud
11	RPM	RPM for motor	0	1/min	fra bus CAN
12	H1	Hastighed for køretøj	0	km/h	Logges med GPS modul fra december 2014
13	B1	Brændstofforbrug	1	l/h	Findes ikke
14	S1	Tankstatus for Adammine	0	-	Tom melding fra ASDS på begge beholdere.

Der måles 2 gange i sekundet, hvorefter data midles over 10 sekunder og logges i en datafil.

Kolonne-nummer	Tekst i header	Parametre	Decimaler	Enhed	Dataoprindelse
1	Dato	Dato for målingen	-	dd-mm-yyyy	Logger internt ur
2	Tid	Tidspunktet for målingen	-	hh:mm:ss	Logger internt ur
3	T1	Temperatur før filtersystem (indgangstemperaturen)	0	°C	-
4	T2	Temperatur efter filter (og dermed for SCR)	0	°C	ASDS temp sensor
5	T3	Temperatur efter SCR	0	°C	ASDS temp sensor
6	T4	Udetemperatur	0	°C	Ambient temp fra bus CAN
7	P1	Modtryk for hele filtersystem inklusive SCR, dvs. modtryk tages ved indgangen til systemet	1	kPa	-
8	NOx1	NOx ind (rå-emissionen, det der kommer ud af motor)	0	ppm (våd)	ASDS NOx/O2 sensor ind
9	NOx2	NOx ud (emissionen efter systemet).	0	ppm (våd)	ASDS NOx/O2 sensor ud
10	O2	O2 i udgangsluften	2	% (våd)	ASDS NOx/O2 sensor ud
11	RPM	RPM for motor	0	1/min	fra bus CAN
12	H1	Hastighed for køretøj	0	km/h	Wheel based speed fra bus CAN
13	B1	Brændstofforbrug	1	l/h	Fuel flow fra bus CAN
14	S1	Tankstatus for AdBlue	0	-	AdBlue tank-level fra bus CAN

Der måles 2 gange i sekundet, hvorefter data midles over 10 sekunder og logges i en datafil.

Kolonne-nummer	Tekst i header	Parametre	Decimaler	Enhed	Dataoprindelse
1	Dato	Dato for målingen	-	dd-mm-yyyy	ECU
2	Tid	Tidspunktet for målingen	-	hh:mm:ss	ECU
3	T1	Temperatur før filtersystem (indgangstemperaturen)	0	°C	ECU sensor T1
4	T2	Temperatur efter filter (og dermed for SCR)	0	°C	ECU sensor T2
5	T3	Temperatur efter SCR	0	°C	ECU sensor T3
6	T4	Udetemperatur	0	°C	ECU sensor T4
7	P1	Modtryk for hele filtersystem inklusive SCR, dvs. modtryk tages ved indgangen til systemet	1	kPa	ECU sensor P1
8	NOx1	NOx ind (rå-emissionen, det der kommer ud af motor)	0	ppm (våd)	ECU NOx sensor
9	NOx2	NOx ud (emissionen efter systemet).	0	ppm (våd)	ECU NOx sensor
10	O2	O2 i udgangsluften	2	% (våd)	ECU sensor
11	RPM	RPM for motor	0	1/min	CAN J1939
12	H1	Hastighed for køretøj	0	km/h	CAN J1939
13	B1	Brændstofforbrug	1	l/h	CAN J1939
14	S1	Tankstatus for urea	0	-	ECU sensor

Der måles 1 gang pr 1,9 sekund, hvorefter data midles over 10 sekunder og logges i en datafil.

Kolonne-nummer	Tekst i header	Parametre	Decimaler	Enhed	Dataoprindelse
1	Dato	Dato for målingen	-	dd-mm-yyyy	ECU
2	Tid	Tidspunktet for målingen	-	hh:mm:ss	ECU
3	T1	Temperatur før filtersystem (indgangstemperaturen)	0	°C	ECU sensor T1
4	T2	Temperatur efter filter (og dermed for SCR)	0	°C	ECU sensor T2
5	T3	Temperatur efter SCR	0	°C	ECU sensor T3
6	T4	Udetemperatur	0	°C	CAN J1939 Ambient T4
7	P1	Modtryk for hele filtersystem inklusive SCR, dvs. modtryk tages ved indgangen til systemet	1	kPa	ECU sensor P1
8	NOx1	NOx ind (rå-emissionen, det der kommer ud af motor)	0	ppm (våd)	ECU NOx sensor
9	NOx2	NOx ud (emissionen efter systemet).	0	ppm (våd)	ECU NOx sensor
10	O2	O2 i udgangsluften	2	% (våd)	ECU sensor
11	RPM	RPM for motor	0	1/min	CAN J1939
12	H1	Hastighed for køretøj	0	km/h	CAN J1939
13	B1	Brændstofforbrug	1	l/h	Data mangler
14	S1	Tankstatus for urea		-	ECU sensor

Der måles 1 gang pr. 1,9 sekund, hvorefter data midles over 10 sekunder og logges i en datafil.

BUS7-EEV-EGR (EMICON SYSTEMS)

Kolonne-	Tekst i	Parametre	Decimaler	Enhed	Dataoprindelse
----------	---------	-----------	-----------	-------	----------------

nummer	header				
1	Dato	Dato for målingen	-	dd-mm-yyyy	ECU
2	Tid	Tidspunktet for målingen	-	hh:mm:ss	ECU
3	T1	Temperatur før filtersystem (indgangstemperaturen)	0	°C	ECU sensor T1
4	T2	Temperatur efter filter (og dermed før SCR)	0	°C	ECU sensor T2
5	T3	Temperatur efter SCR	0	°C	ECU sensor T3
6	T4	Udetemperatur	0	°C	ECU T4 Ændres eft. 1.febr.2015 til anden sensor (Ti) MAF T- sensor
7	P1	Modtryk for hele filtersystem inklusive SCR, dvs. modtryk tages ved indgangen til systemet	1	kPa	ECU sensor P1
8	NOx1	NOx ind (rå-emissionen, det der kommer ud af motor)	0	ppm (våd)	ECU NOx sensor
9	NOx2	NOx ud (emissionen efter systemet).	0	ppm (våd)	ECU NOx sensor
10	O2	O2 i udgangsluften	2	% (våd)	ECU sensor
11	RPM	RPM for motor	0	1/min	CAN J1939
12	H1	Hastighed for køretøj	0	km/h	CAN J1939
13	B1	Brændstofforbrug	1	l/h	CAN J1939
14	S1	Tankstatus for urea	0	-	ECU sensor

Der måles 1 gang pr. 1,9 sekund, hvorefter data midles over 10 sekunder og logges i en datafil.

Kolonne-nummer	Tekst i header	Parametre	Decimaler	Enhed	Dataoprindelse
1	Dato	Dato for målingen	-	dd-mm-yyyy	GPS data fra Can-logger
2	Tid	Tidspunktet for målingen	-	hh:mm:ss	GPS data fra Can-logger
3	T1	Temperatur før filtersystem (indgangstemperaturen)	0	°C	Fra Purefi ECU
4	T2	Temperatur efter filter (og dermed før SCR)	0	°C	Fra Purefi ECU
5	T3	Temperatur efter SCR	0	°C	Fra Purefi ECU
6	T4	Udetemperatur	0	°C	Findes ikke
7	P1	Modtryk for hele filtersystem inklusive SCR, dvs. modtryk tages ved indgangen til systemet	1	kPa	Fra Purefi ECU
8	NOx1	NOx ind (rå-emissionen, det der kommer ud af motor)	0	ppm (våd)	Fra Purefi ECU
9	NOx2	NOx ud (emissionen efter systemet).	0	ppm (våd)	Fra Purefi ECU
10	O2	O2 i udgangsluften	2	% (våd)	Fra Purefi ECU
11	RPM	RPM for motor	0	1/min	Fra Bus
12	H1	Hastighed for køretøj	0	km/h	Fra Bus
13	B1	Brændstofforbrug	1	l/h	Fra Bus
14	S1	Tankstatus for urea	0	-	Fra Purefi ECU

Der måles 1 gang pr. sekund, hvorefter data midles over 10 sekunder og logges i en datafil.

Kolonne-nummer	Tekst i header	Parametre	Decimaler	Enhed	Dataoprindelse
1	Dato	Dato for målingen	-	dd-mm-yyyy	GPS data fra Can-logger
2	Tid	Tidspunktet for målingen	-	hh:mm:ss	GPS data fra Can-logger
3	T1	Temperatur før filtersystem (indgangstemperaturen)	0	°C	Fra Purefi ECU
4	T2	Temperatur efter filter (og dermed før SCR)	0	°C	Fra Purefi ECU
5	T3	Temperatur efter SCR	0	°C	Fra Purefi ECU
6	T4	Udetemperatur	0	°C	Fra Bus
7	P1	Modtryk for hele filtersystem inklusive SCR, dvs. modtryk tages ved indgangen til systemet	1	kPa	Fra Purefi ECU
8	NOx1	NOx ind (rå-emissionen, det der kommer ud af motor)	0	ppm (våd)	Fra Purefi ECU
9	NOx2	NOx ud (emissionen efter systemet).	0	ppm (våd)	Fra Purefi ECU
10	O2	O2 i udgangsluften	2	% (våd)	Fra Purefi ECU
11	RPM	RPM for motor	0	1/min	Fra Bus
12	H1	Hastighed for køretøj	0	km/h	Fra Bus
13	B1	Brændstofforbrug	1	l/h	Fra Bus
14	S1	Tankstatus for urea	0	-	Fra Purefi ECU

Der måles 1 gang pr. sekund, hvorefter data midles over 10 sekunder og logges i en datafil.



Kolonne-nummer	Tekst i header	Parametre	Decimaler	Enhed	Dataoprindelse
1	Dato	Dato for målingen	-	dd-mm-yyyy	GPS data fra Can-logger
2	Tid	Tidspunktet for målingen	-	hh:mm:ss	GPS data fra Can-logger
3	T1	Temperatur før filtersystem (indgangstemperaturen)	0	°C	Fra Purefi ECU
4	T2	Temperatur efter filter (og dermed før SCR)	0	°C	Fra Purefi ECU
5	T3	Temperatur efter SCR	0	°C	Fra Purefi ECU
6	T4	Udetemperatur	0	°C	Findes ikke
7	P1	Modtryk for hele filtersystem inklusive SCR, dvs. modtryk tages ved indgangen til systemet	1	kPa	Fra Purefi ECU
8	NOx1	NOx ind (rå-emissionen, det der kommer ud af motor)	0	ppm (våd)	Fra Purefi ECU
9	NOx2	NOx ud (emissionen efter systemet).	0	ppm (våd)	Fra Purefi ECU
10	O2	O2 i udgangsluften	2	% (våd)	Fra Purefi ECU
11	RPM	RPM for motor	0	1/min	Fra Bus
12	H1	Hastighed for køretøj	0	km/h	Findes ikke (kan genereres fra GPS data hvis det ønskes.
13	B1	Brændstofforbrug	1	l/h	Findes ikke
14	S1	Tankstatus for urea	0	-	Fra Purefi ECU

Der måles 1 gang pr. sekund, hvorefter data midles over 10 sekunder og logges i en datafil.

Kolonne-nummer	Tekst i header	Parametre	Decimaler	Enhed	Dataoprindelse
1	Dato	Dato for målingen	-	dd-mm-yyyy	GPS data fra Can-logger
2	Tid	Tidspunktet for målingen	-	hh:mm:ss	GPS data fra Can-logger
3	T1	Temperatur efter motor	0	°C	Fra Purefi ECU
4	T2	Temperatur før katalysator	0	°C	Fra Purefi ECU
5	T3	Temperatur efter katalysator	0	°C	Fra Purefi ECU
6	T4	Udetemperatur	0	°C	Bus CAN
7	P1	Modtryk for hele filtersystem inklusive SCR, dvs. modtryk tages ved indgangen til systemet	1	kPa	-
8	NOx1	NOx ind (rå-emissionen, det der kommer ud af motor)	0	ppm (våd)	Fra Purefi ECU
9	NOx2	NOx ud (emissionen efter systemet).	0	ppm (våd)	Fra Purefi ECU
10	O2	O2 i udgangsluften	2	% (våd)	Fra Purefi ECU
11	RPM	RPM for motor	0	1/min	Fra Bus
12	H1	Hastighed for køretøj	0	km/h	Fra Bus
13	B1	Brændstofforbrug	1	l/h	Fra Bus
14	S1	Tankstatus for urea	0	-	Ingen SCR. Kolonne fyldes med 1-taller

Der måles 1 gang pr. sekund, hvorefter data midles over 10 sekunder og logges i en datafil.

## Bilag 2: Databehandling

### Data binning og gruppering

Hastighedsdata grupperes i intervaller, og der beregnes den dertilhørende sum af NO<sub>x</sub> [g/mol røggas], CO<sub>2</sub> [kg/mol røggas] [Ref5], hastighed og brændstofforbrug. Ud fra disse værdier beregnes NO<sub>x</sub> [g/kg CO<sub>2</sub>], NO<sub>x</sub> [g/kWh] og NO<sub>x</sub> [g/km]. Desuden beregnes de tilhørende gennemsnitsværdier af omdannet NO<sub>x</sub> [%] og SCR-temperaturen [°C] inden for hvert af de førnævnte hastighedsintervaller.

### Beregninger af nøgleparameter

#### NO<sub>x</sub> [ppm] (våd) til NO<sub>x</sub> [g/mol røggas] (våd)

$$g \text{ NO}_x/\text{mol røggas} = M_{\text{NO}_2}[\text{g/mol}] * 10^{-6} * \text{NO}_x \left[ \frac{\text{mol}}{\text{mol røggas}} \right],$$

hvor,

$$[\text{ppm}] = [\mu\text{mol/mol røggas}]$$

$$M_{\text{NO}_2} [\text{g/mol}] = 46,006 \text{ g/mol}$$

Som konvention anvendes til omregning af volumenbaseret koncentration af NO<sub>x</sub> [ppm] til massebaseret koncentration af NO<sub>x</sub>, den molære masse [g/mol] for NO<sub>2</sub> frem for f.eks. et givet eller aktuelt forhold mellem NO og NO<sub>2</sub> i udstødningen. Dette gøres, selvom det resulterer i en større emission end den reelle udledning fra køretøjets udstødningssystem. Begrundelsen for at anvende NO<sub>2</sub> er, at NO i atmosfæren i løbet af få timer vil oxideres til NO<sub>2</sub>.

Enheden NO<sub>x</sub> [g/mol røggas] er tryk- og temperaturuafhængig.

#### O<sub>2</sub> [vol%] (våd) til CO<sub>2</sub> [kg/mol røggas] (våd)

$$\text{CO}_2 \left[ \frac{\text{kg}}{\text{mol røggas}} \right] = (13,54 - 0,6463 * \text{O}_2 [\text{vol\%}]) * 10^{-2} * M_{\text{CO}_2} \left[ \frac{\text{g}}{\text{mol}} \right] * 10^{-3} \left[ \frac{\text{kg}}{\text{g}} \right]$$

hvor,

- M<sub>CO<sub>2</sub></sub> [g/mol] = 44,01 g/mol.
- 13,54-0,6463\*O<sub>2</sub> [vol%] (våd) jf. [Ref1]. Sammenhængen er beregnet ud fra en kemisk analyse af indholdet af karbon, hydrogen og oxygen i diesel. Det forudsættes, at der er tale om våd gas.

Den beregnede værdi CO<sub>2</sub> [kg/mol røggas] er tryk- og temperaturuafhængig.

#### Beregn NO<sub>x</sub> [g/kg CO<sub>2</sub>]

$$\text{NO}_x [\text{g/kg CO}_2] = \text{NO}_x [\text{g/mol røggas}]/\text{CO}_2[\text{kg/mol røggas}]$$

Den beregnede værdi NO<sub>x</sub> [g/kg CO<sub>2</sub>] er uafhængig af tryk- og temperatur. Det antages, at O<sub>2</sub> ikke ændrer sig mellem NO<sub>x1</sub> og NO<sub>x2</sub>.

#### NO<sub>x</sub> [g/kg CO<sub>2</sub>] til NO<sub>x</sub> [g/kWh]

$$\text{NO}_x [\text{g/kWh}] = \text{NO}_x [\text{g/kg CO}_2] * (1/1,6)$$

Omregningsfaktoren (1,6) er taget fra [Ref5] og baseret på en antaget motoreffektivitet på ca. 40%.

#### Omregning af NO<sub>x</sub>/[g/kg CO<sub>2</sub>] til NO<sub>x</sub> [g/km]

$$\text{NO}_x [\text{g/km}] = \text{NO}_x [\text{g/kg CO}_2] * \text{CO}_2 [\text{kg/L}_{\text{diesel}}] * \text{brændstofforbrug}[\text{L}_{\text{diesel}}/\text{h}]/\text{hastighed} [\text{km/h}]$$

hvor,

$$\text{CO}_2 [\text{kg}/L_{\text{diesel}}] = m_{\text{diesel}} [\text{g}/L_{\text{diesel}}] / M_{\text{diesel}} [\text{g}/\text{mol}_{\text{diesel}}] * 12 * [\text{mol CO}_2 / \text{mol}_{\text{diesel}}] * M_{\text{CO}_2} [\frac{\text{g}}{\text{mol}} \text{CO}_2] * 10^{-3} [\text{kg}/\text{g}]$$

$M_{\text{diesel}} = 167 \text{ g/mol}$  (baseret på middel molvægt af  $\text{C}_{12}\text{H}_{23}$ ) [Ref6]

$m_{\text{diesel}} = 840 \text{ g}/L_{\text{diesel}}$  ved  $15^\circ\text{C}$  [Ref7]

$M_{\text{CO}_2} [\text{g}/\text{mol}] = 44,01 \text{ g/mol}$ .

Hastighed: Der summeres over samme hastighedsintervaller, som anvendes til at beregne  $\text{NO}_x$  [g/kg  $\text{CO}_2$ ].

Brændstofforbrug: Der anvendes de tilhørende summerede værdier inden for hvert hastighedsinterval jf. grundlaget for beregningen af  $\text{NO}_x$  [g/kg  $\text{CO}_2$ ].

$\text{NO}_x$  [g/km] er tryk- og temperaturuafhængig.

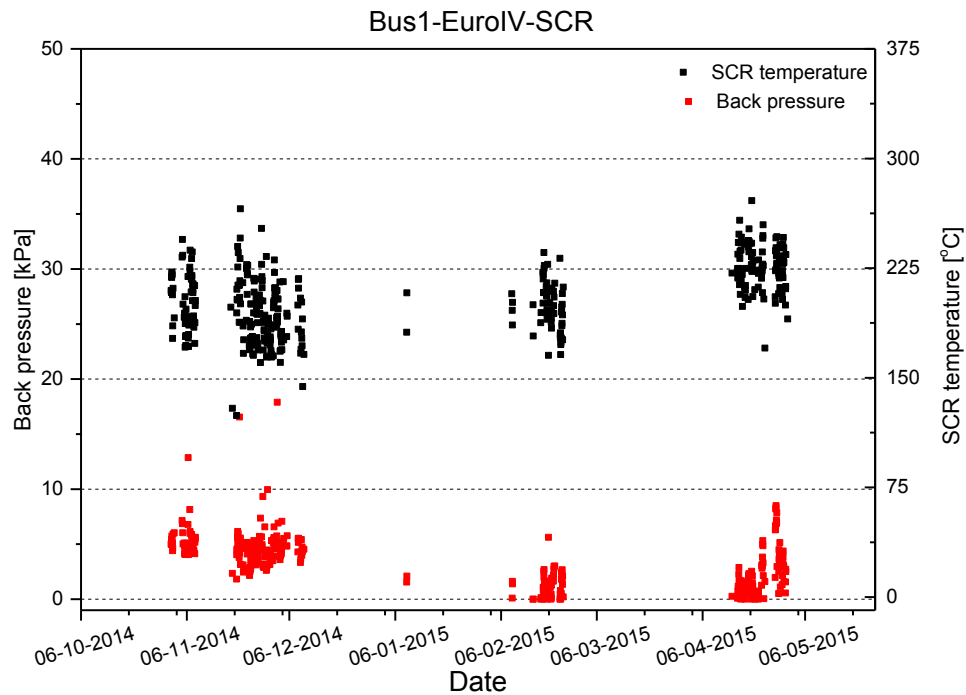
**Gennemsnitlig temperatur over den  $\text{NO}_x$ -reducerende enhed,  $T_{\text{SCR}} [^\circ\text{C}]$**

$$T_{\text{SCR}} = (T_2 + T_3) / 2$$

I tilfælde, hvor en referencebus ikke er udstyret med T2-måler, anvendes  $T_{\text{SCR}} = T_3$ .

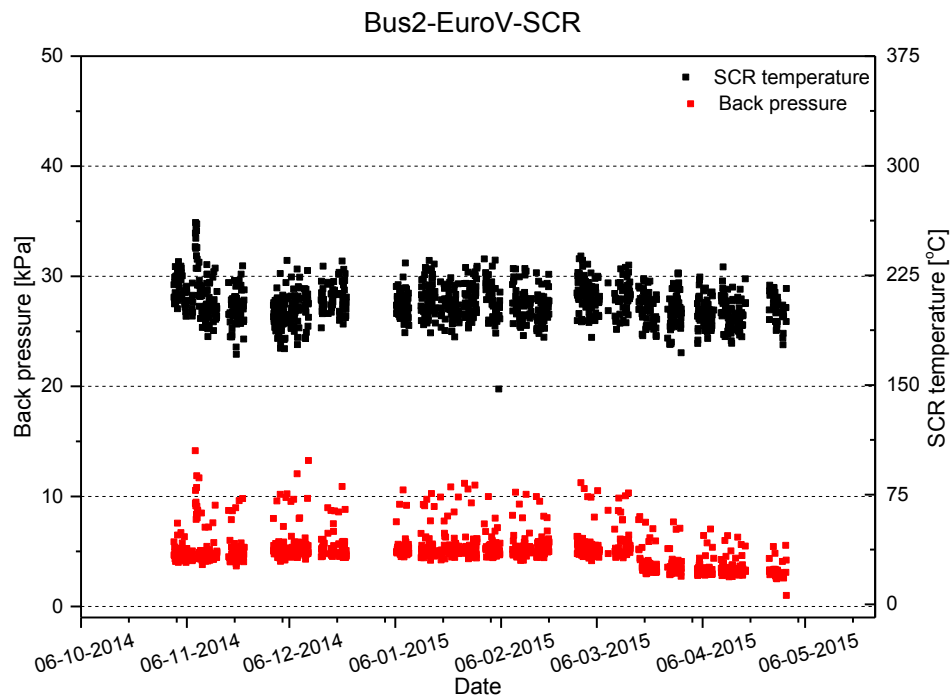
### Bilag 3: Modtryk over kombinationssystemerne

I alt blev 9 busser monteret med modtrykssensorer i kombinationssystemerne. Referencebusserne var ikke udstyret med modtrykssensorer og er derfor ikke vist her.

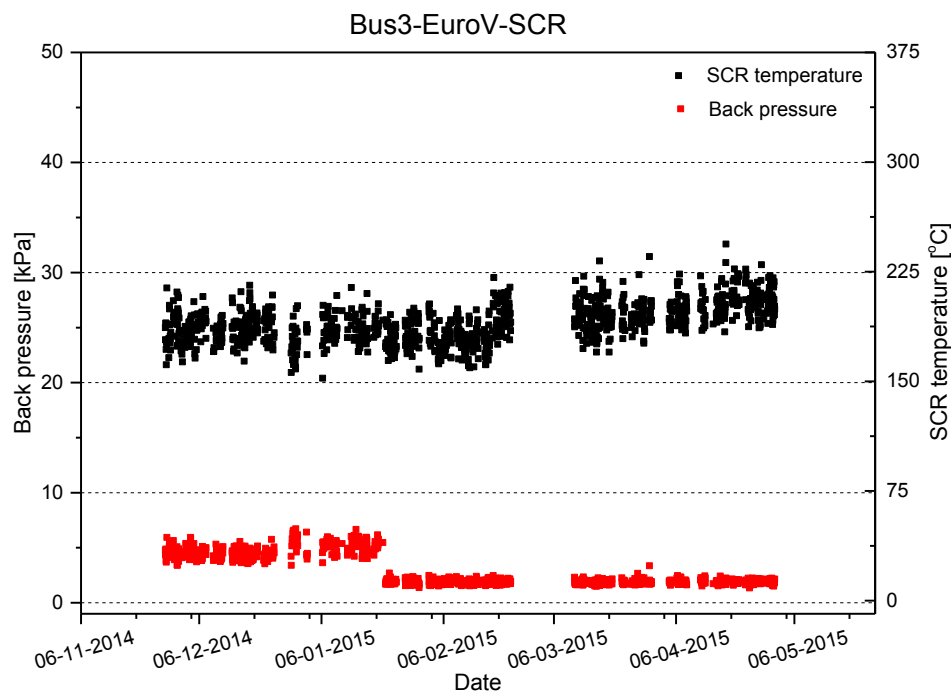


**FIGUR 36**

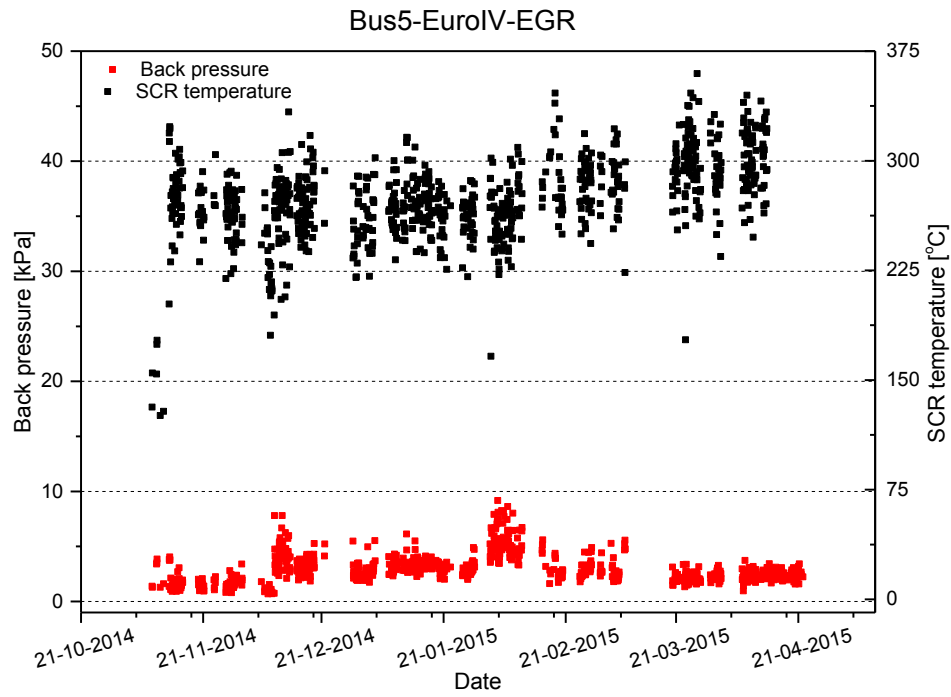
MODTRYKKET OVER SYSTEMET I BUS1-EUROIV-SCR. SCR/ASDS™-SYSTEMET ER MONTERET OG LEVERET AF AMMINEX EMISSIONS TECHNOLOGY A/S. PARTIKELFILTERET ER MONTERET OG LEVERET AF PUREFI A/S.



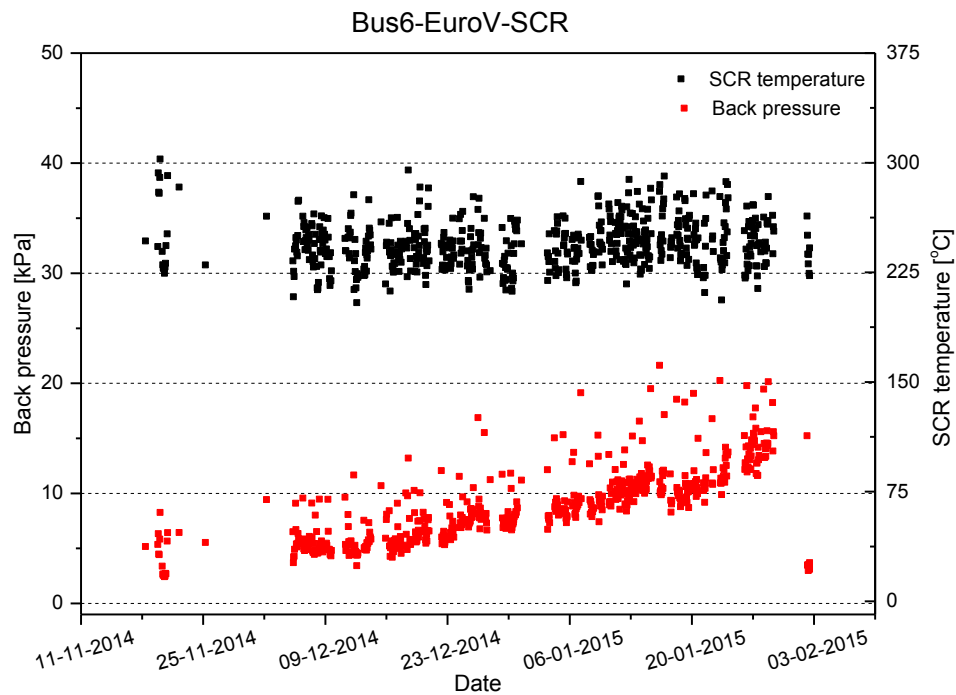
**FIGUR 37**  
 MODTRYKKET OVER SYSTEMET I BUS<sub>2</sub>-EUROV-SCR. SCR/ASDS™-SYSTEMET ER MONTERET OG LEVERET AF AMMINEX EMISSIONS TECHNOLOGY A/S. PARTIKELFILTERET ER MONTERET OG LEVERET AF PUREFI A/S.



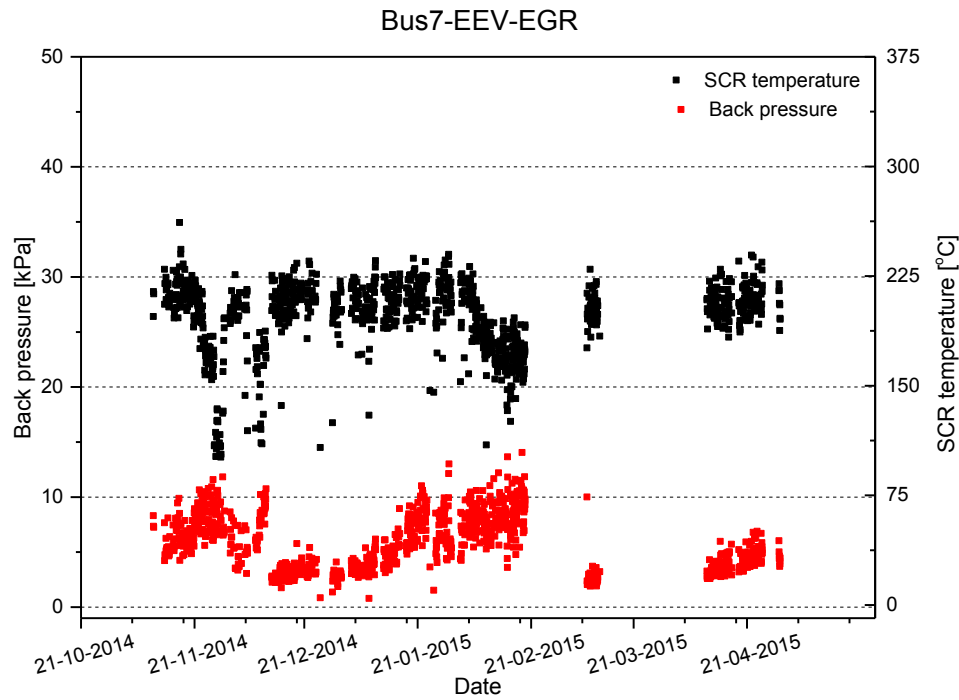
**FIGUR 38**  
 MODTRYKKET OVER SYSTEMET I BUS<sub>3</sub>-EUROV-SCR. SCR/ASDS™-SYSTEMET ER MONTERET OG LEVERET AF AMMINEX EMISSIONS TECHNOLOGY A/S. PARTIKELFILTERET ER MONTERET OG LEVERET AF PUREFI A/S.



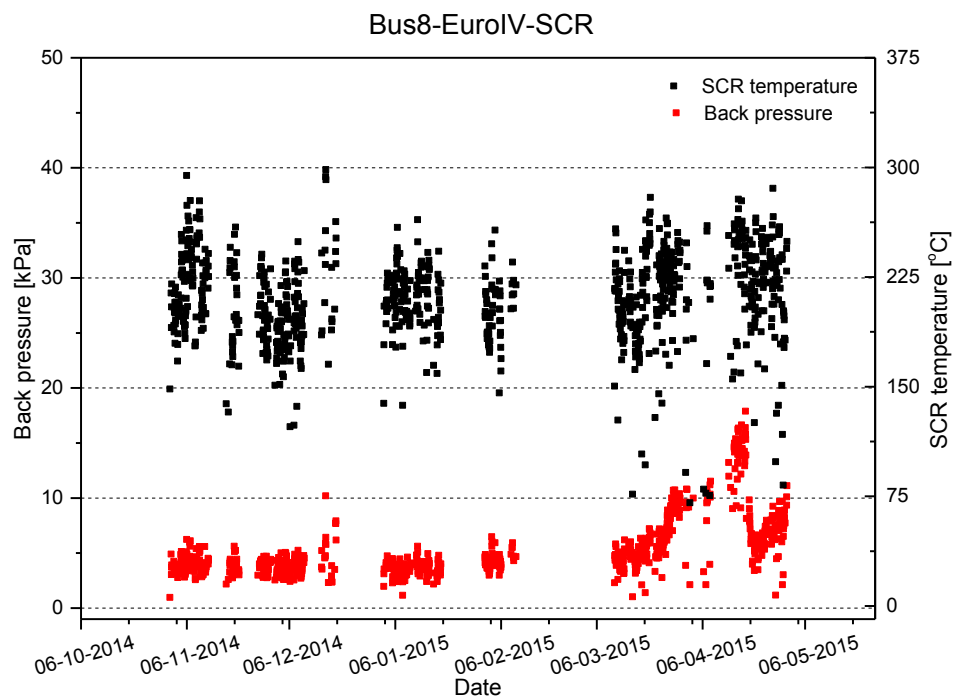
**FIGUR 39**  
 MODTRYKKET OVER SYSTEMET I BUS5-EUROIV-EGR. PARTIKELFILTER OG SCR-SYSTEM ER MONTERET OG LEVERET AF EMICON SYSTEMS.



**FIGUR 40**  
 MODTRYKKET OVER SYSTEMET I BUS6-EUROIV-SCR. PARTIKELFILTER OG SCR-SYSTEM ER MONTERET OG LEVERET AF EMICON SYSTEMS.

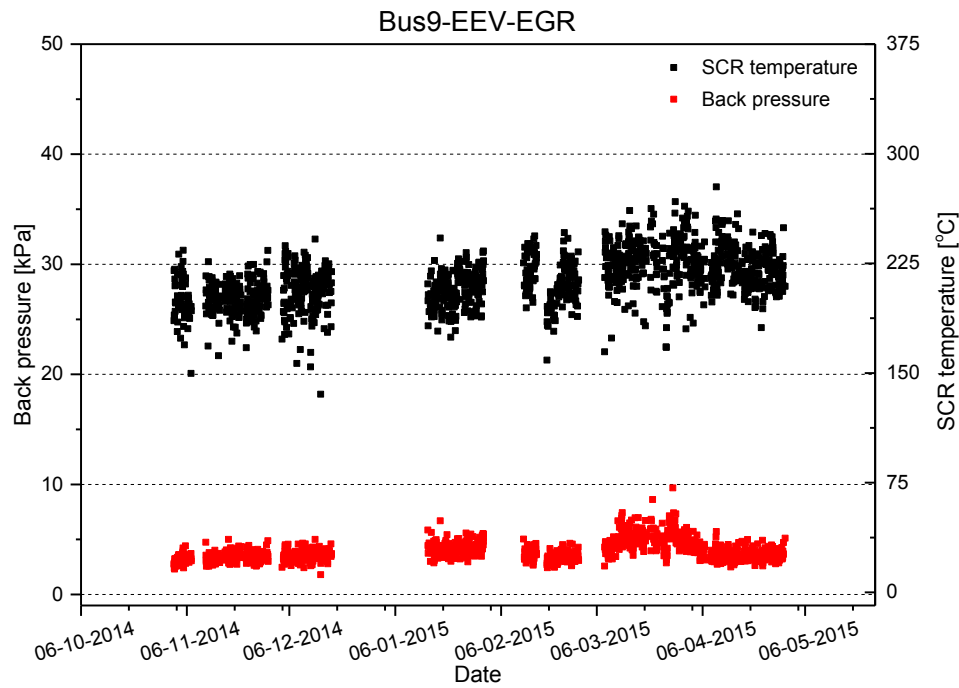


**FIGUR 41**  
 MODTRYKKET OVER SYSTEMET I BUS7-EEV-EGR. PARTIKELFILTER OG SCR-SYSTEM ER MONTERET OG LEVERET AF EMICON SYSTEMS.

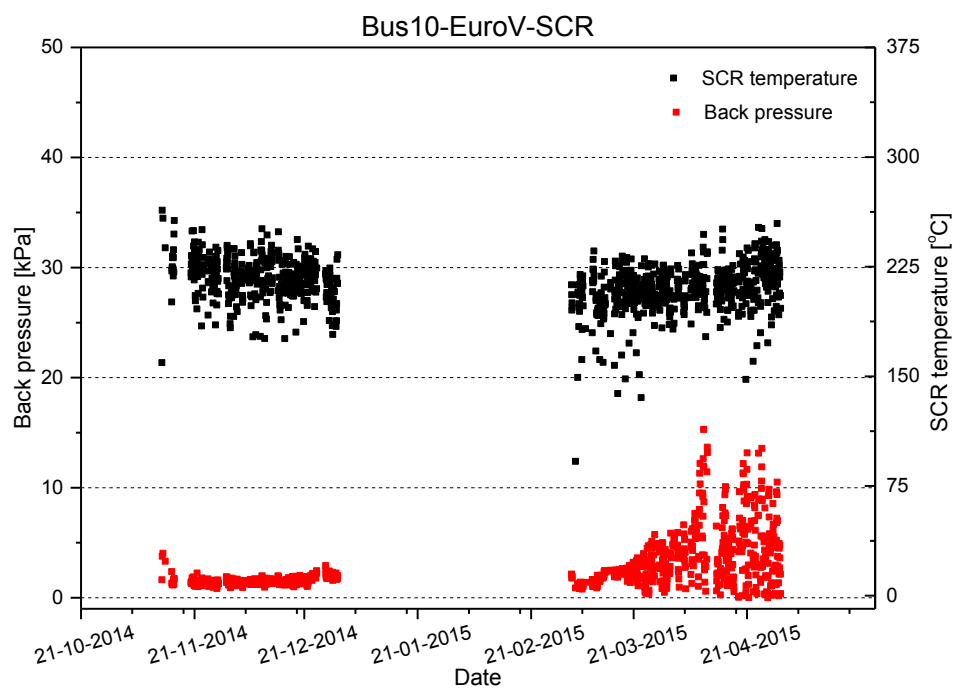


**FIGUR 42**  
 MODTRYKKET OVER SYSTEMET I BUS8-EUROIV-SCR. PARTIKELFILTER OG SCR-SYSTEM ER MONTERET OG LEVERET AF PUREFI A/S.





**FIGUR 43**  
 MODTRYKKET OVER SYSTEMET I BUS9-EEV-EGR. PARTIKELFILTER OG SCR-SYSTEM ER MONTERET OG LEVERET AF PUREFI A/S.



**FIGUR 44**  
 MODTRYKKET OVER SYSTEMET I BUS10-EUROV-SCR. PARTIKELFILTER OG SCR-SYSTEM ER MONTERET OG LEVERET AF PUREFI A/S.

## **Opgradering af efterbehandlings-systemer på Movias Euro IV, Euro V og EEV busser**

Udledning af lokal luftforurening fra nye køretøjer er i EU reguleret gennem EU's emissionsstandard, også kaldet Euronorm. Fra Euro I-normen for tunge køretøjer blev indført i 1992, til Euro VI-normen trådte i kraft i 2013, er grænseværdierne for nye bussers udledning af NO<sub>x</sub> (kvælstof forbindelserne NO og NO<sub>2</sub>) og partikler blevet reduceret med hhv. 95% og 98%. Det har imidlertid vist sig, at emissionen fra tunge køretøjer under normal kørsel i trafikken kan være ganske høj i forhold til de emissionskrav, som køretøjerne er godkendt i forhold til.

Movia har med dette projekt haft til formål at udvikle og teste nye metoder til at reducere NO<sub>x</sub>-emissioner og partikler fra dieselbusser ved eftermontering af nye efterbehandlingssystemer (retrofitsystemer). Testen er primært baseret på kørsel under normal drift. Målet har været at opgradere eksisterende Euro IV, Euro V og EEV-busser til så tæt på eller bedre end Euro VI-normen.

Projektet har tilvejebragt data og erfaringer fra drift af busser med retrofitsystemer. Projektet har ligeledes bidraget med et teknisk veldokumenteret grundlag for at reducere NO<sub>x</sub>-forurening med op til ca. 90% fra busser, som endnu har en betydelig teknisk levetid. Eftermontering af partikelfiltre har desuden vist, at udledningen af partikelantal fra Euro IV busser kan reduceres med 98 - 99,97%.

**Miljø- og Fødevareministeriet**  
Miljøstyrelsen

Strandgade 29  
1401 København K  
Tlf.: (+45) 72 54 40 00

**[www.mst.dk](http://www.mst.dk)**