

# DNO<sub>x</sub><sup>TM</sup>

Ger dieselmotorn  
en framtid



<b>Inledning</b>	2
<b>Bakgrund</b>	4
Effekter på hälsan	5
Effekter på miljön	6
Lagstiftning	6
<i>Tunga dieselfordon</i>	
<i>Arbetsmaskiner</i>	
<i>Miljözoner</i>	
Sverige leder miljöarbetet	8
Bränsle	8
Efterbehandling av avgaserna	8
<i>Kolmonoxid, CO, kolväten, HC och partiklar, PM</i>	
<i>Kväveoxider, NO<sub>x</sub></i>	
<b>Minskning av kväveoxidutsläpp, NO<sub>x</sub>, genom återcirkulation av avgaser (EGR)</b>	10
Effekten av EGR på emissioner	11
Tekniska lösningar på EGR	11
<b>DNO<sub>x</sub><sup>TM</sup> – ett EGR-baserat emissionssystem</b>	11
Beskrivning av DNO <sub>x</sub> <sup>TM</sup> -systemet	11
<i>EGR-trottel</i>	
<i>ECU</i>	
<i>Övriga komponenter</i>	
DNO <sub>x</sub> <sup>TM</sup> -systemets kännetecken	12
Resultat	13
<i>Resultat i buss</i>	
<b>Slutsatser</b>	15
<b>Referenser</b>	16
<b>Ordlista</b>	17



**STT har arbetat med utveckling och analys** av motorsystem sedan 1980. Under årens lopp har STT uppnått en marknadsposition med breda kontakter inom den internationella fordonsindustrin.

**STT utvecklar bland annat** egna turbosystem för dieselmotorer. Inom företaget finns även kapacitet för konstruktion, provning, tillverkning och certifiering av systemen.

**Bland uppdragsgivarna märks** tillverkare som Volvo, Mazda, SsangYong, Toyota och Shell. Samarbetet rör allt från analysuppdrag till färdiga motorkoncept.

**STT är i dag certifierat** av Vehicle Certification Agency (VCA) i England vilket innebär att STT är ackrediterat att erhålla EU-certifiering för motorsystem. Vidare är STT certifierat enligt ISO 9001.

**STT kan nu presentera DNO<sub>x</sub><sup>™</sup>** – ett emissionsystem för minskning av samtliga lagstadgade emissioner från dieselmotorer.





© Derek P Redfearn / The Image Bank

## Inledning

Vägtrafik och arbetsmaskiner stod tillsammans för mer än hälften av totala kväveoxidutsläppen i Sverige under 1997. Utsläppen har en negativ inverkan på människors hälsa. Unga, gamla och människor med hjärtlungbesvär är särskilt utsatta. Partiklarna tränger djupt ned i lungorna och innehåller adsorberade kolväten som kan vara cancerogena. Kväveoxiderna bidrar till bildningen av smog, surt regn och marknära ozon.

Lagstiftningen skärps gradvis över hela världen. I Sverige har införts miljöklassning av fordon och arbetsmaskiner. Vissa kommuner inför miljözoner och skärpta upphandlingskrav för att påskynda utvecklingen av miljövänliga motorer.

Dagens emissionssystem minskar utsläppen av kolmonoxid, kolväten och partiklar. Däremot påverkas inte kväveoxiderna beroende på att dieselmotorer körs med ett stort luftöverskott. De system som provats hittills bygger på insprutning av ett reduktionsmedel i avgaserna.

Störst potential bedöms den s k EGR-tekniken ha. En teknik som minskar utsläppen av kväveoxider genom att avgaser återcirkuleras till motorn. EGR-tekniken har inte använts på tunga dieselmotorer på grund av det ogynnsamma tryckförhållandet mellan insugs- och avgassida.

STT har utvecklat en ny typ av EGR, ett så kallat lågtryckssystem, för återcirkulation av kylda och partikelfria avgaser. Systemet innehåller en EGR-trottel med tillhörande styrenhet, en EGR-kylare och ett partikelfilter. Andelen återcirkulerade avgaser styrs bland annat som en funktion av motorns varvtal och belastning.

Systemet ger möjlighet till helt nya reduktionsmöjligheter i förhållande till konventionella EGR system samt har en god styrbarhet av EGR andelen även under transienta körförhållanden. Systemet har goda långtidsegenskaper och kan användas även vid drift med alternativa bränslen.

Systemet har utvärderats enligt den europeiska körcykeln ECE R49 och resultaten visar en minskning av kväveoxiderna på upp till 50% med en marginell påverkan på motorns effekt. Det finns även möjlighet att införa diagnosfunktioner i systemet.

I dag finns inget annat kommersiellt system för minskning av kväveoxidutsläpp. Ett EGR-system som kan eftermonteras och som halverar utsläppen av kväveoxider löser problemet för dieselmotorn att möta lagkraven inför 2000-talet.

## Bakgrund

**Dieselmotorn har hög verkningsgrad och är intressant för framtida motorsystem**

**Vid förbränning i en dieselmotor bildas kväveoxider och partiklar**

Dieselmotorns stora fördel är den höga verkningsgraden. Den ger en låg specifik bränsleförbrukning och därigenom en minskning av koldioxidutsläppen. Det låga energibehovet gör dieselmotorn till ett intressant alternativ när det gäller framtida motorsystem <sup>(ref 1)</sup>. Redan i dag anses den som det enda alternativet när det gäller tyngre fordon och maskiner. En annan fördel med dieselmotorn är att den relativt lätt kan anpassas till alternativa bränslen.

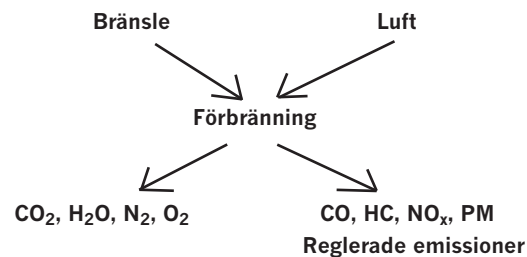
Utveckling av dieselmotorer pågår hos motortillverkare världen över. Mycket arbete läggs ned på att minska innehållet av framför allt partiklar och kväveoxider i avgaserna.

## Emissioner

När blandningen av luft och bränsle antänds i en dieselmotor bildas i huvudsak koldioxid och vatten, se fig 1. Vid det tryck och den temperatur som råder i förbränningsrummet oxiderar en del av luftens kväve till kväveoxid. Med kväveoxid menas vanligen kväve-monoxid och kvävedioxid. Koncentrationen av kväve-monoxid i avgaserna är typiskt ca tio gånger större än koncentrationen av kvävedioxid. Kväve-monoxid oxiderar lätt till kvävedioxid vilket har stor betydelse för bildandet av fotokemisk smog och surt regn.

Av de totala utsläppen av kväveoxider under 1997 stod vägtrafiken för 35% och arbetsmaskiner för 22% <sup>(ref 2)</sup>. I takt med att en allt större andel bensindrivna personbilar kommer att ha trevägs-katalysator kommer en allt större andel av vägtrafikens utsläpp att komma från dieselmotorer.

**Vägtrafik och arbetsmaskiner står för drygt 50% av kväveoxidutsläppen**



**Figur 1 Emissioner från en dieselmotor**

**Kolmonoxid- och kolvätehalterna är låga i en dieselavgas**

**Partiklarna är porösa och innehåller tunga kolväten**

Eftersom förbränningen inte är fullständig bildas även kolmonoxid, kolväten och partiklar. Halterna av kolmonoxid och kolväten är låga jämfört med motsvarande halter i avgaserna från en bensinmotor utan katalysator. Vad gäller kväveoxidhalten är skillnaden betydligt mindre. Däremot är partikelmängden större i avgaserna från en dieselmotor.

Partiklarna är porösa och byggs upp av betydligt mindre kolpartiklar och askrester från oljan. Porositeten medför att partiklarna även adsorberar tunga kolväten och svavelsyra. Kolväten från både bränsle och smörjolja finns adsorberade på partiklarna.



© Gary Gladstone Studio Inc. / The Image Bank

Kolväten finns både i gasform och som kondensat på partiklarna. Begreppet kolväten innefattar ett stort antal föreningar varav en del är cancerframkallande.

**Motoremissioner har en negativ inverkan på människors hälsa**

### Effekter på hälsan

När det gäller trafikens direkta inverkan på människors hälsa är den ofta relativt lokal. En del av luftföroreningarna adsorberas på växtlighet och byggnader nära vägar och gator. Det betyder att spridningen begränsas. De föroreningar som inte adsorberas, utan sprids över större områden, bidrar bland annat till bildningen av marknära ozon.

På senare tid har mer och mer intresse fokuserats på partiklar och partiklar i kombination med andra luftföroreningar. Partiklar i städer kommer framför allt från dieselmotorer.

Partiklarna varierar i storlek mellan 10 nanometer till några mikrometer och tränger djupt ned i lungorna. Förutom den negativa effekten som små partiklar medför bara genom sin storlek tillkommer det faktum att en del av de adsorberade kolvätena är cancerframkallande.

**Partiklarna i dieselavgaser är små och tränger ned i lungorna**



© Alan Becker / The Image Bank

**Kväveoxider deltar  
i bildningen av smog  
och surt regn**

### **Effekter på miljön**

Under vissa betingelser bildas fotokemisk smog. Kväveoxider, kolväten, syre och solljus deltar i processen. När kväveoxid sprids i atmosfären sker en rad kemiska och fotokemiska reaktioner och bl a bildas surt regn.

### **Lagstiftning**

Lagstiftningen i Sverige sammanfaller med lagstiftningen inom EU för nyproduktion av motorer och fordon. För att snabbare minska vägtrafikens miljöbelastning förekommer det i Sverige lokala avvikelser med mer skärpta krav.

Lagkraven omfattar kolmonoxid, kolväten, kväveoxid och partiklar

### Tunga dieselfordon

De emissionerna som omfattas av EU-lagstiftning är kolmonoxid, kolväten, kväveoxid och partiklar. Gränsvärden anges i gram per kilowattimme. Den europeiska körcykel som används idag för att prova en motors emissioner betecknas ECE R49, även kallad 13-steps-cykeln.

Tabell 1 innehåller en sammanfattning av nuvarande och föreslagna lagkrav inom EU och visar att kraven kommer att skäras kraftigt under det kommande decenniet.

**Tabell 1 Lagkravens utveckling inom EU för tunga dieselfordon.**

Kravstege	Provcykel	År	Gränsvärde (g/kWh)			
			NO <sub>x</sub>	HC	CO	PM
Euro 0	ECE R49		14,4	2,4	11,2	–
Euro 1	ECE R49	1992-93	8,0	1,1	4,5	0,36
Euro 2	ECE R49	1995-96	7,0	1,1	4,0	0,15
Euro 3	ESC, ELR (ETC)	2000	5,0	0,66	2,1	0,10
Euro 4	ETC, ESC/ELR	2005	3,5	0,46	1,5	0,02
Euro 5	ETC, ESC/ELR		2,0	0,46	1,5	0,02

Lagkraven omfattar även nya arbetsmaskiner

### Arbetsmaskiner

Emissionskrav för arbetsmaskiner som drivs av dieselmotorer har sedan januari 1996 tillämpats i USA. I enlighet med EU-direktiv infördes sådana krav i Sverige under 1998.

Kraven införs i två steg. Steg 1 införs under perioden 1998-2000 och steg 2 under perioden 2001-2004. Kraven gäller nytillverkade maskiner och sammanfattas i tabellerna 2 och 3.

**Tabell 2 Lagkraven för nytillverkade arbetsfordon under steg 1.**

Motoreffekt (kW)	Datum	Gränsvärde (g/kWh)			
		NO <sub>x</sub>	HC	CO	PM
130-560	1998-10-01	9,2	1,3	5,0	0,54
75-130	1998-10-01	9,2	1,3	5,0	0,70
37-75	1999-04-01	9,2	1,3	5,0	0,85

**Tabell 3 Lagkraven för nytillverkade arbetsfordon under steg 2.**

Motoreffekt (kW)	Datum	Gränsvärde (g/kWh)			
		NO <sub>x</sub>	HC	CO	PM
130-560	2002-01-01	6,0	1,0	3,5	0,2
75-130	2003-01-01	6,0	1,0	5,0	0,3
37-75	2004-01-01	7,0	1,3	5,0	0,4
18-37	2001-01-01	8,0	1,5	5,5	0,8

**Miljözoner används för att påskynda utbytet av gamla fordon**

## Sverige driver på miljöarbetet

Minskningen av avgasutsläpp, till följd av strängare krav och införandet av nya krav, blir trots allt marginell till en början, eftersom kraven endast gäller nyproducerade maskiner och nyregistrerade fordon. De utgör bara några procent av det totala antalet maskiner och fordon. Förbättringar av luftkvaliteten kan uppnås snabbare genom att reducera avgasemissioner även från äldre maskiner och fordon.

Kommunerna Stockholm, Göteborg, Malmö och Lund har infört miljözoner för att driva på utbytet av gamla fordon och öka antalet fordon som är utrustade med eftermonterad avgasrening. Arbetsmaskiner berördes tidigare inte av miljözoner, men från 1999-01-01 ställer dessa kommuner krav på minskade utsläpp från såväl nya som gamla arbetsmaskiner vid upphandling av entreprenadtjänster.

**Bränslet påverkar utsläppen av partiklar och kväveoxider**

## Bränsle

Bränslet har stor betydelse för emissionerna. Utvecklingen går mot allt lägre svavelhalter. Kommande EU-direktiv pekar mot svavelinnehåll på högst 50 ppm.

Alternativa bränslen provas som ett sätt att minska utsläppen av framför allt kväveoxider och partiklar. Etanol och dimetyleter är exempel på bränslen som används i dieselmotorer som anpassats för respektive bränsle.

**En oxidationskatalysator påverkar kolmonoxid och kolväten**

## Efterbehandling av avgaserna

### *Kolmonoxid, kolväten och partiklar*

Motorutvecklingen syftar till att ta fram renare och effektivare motorer. I de fall motormodifikationer inte är tillräckliga för att uppnå givna mål finns möjlighet att efterbehandla avgaserna (ref 3).

Det finns olika system för efterbehandling av avgaser från dieselmotorer – oxidationskatalysatorer och partikelfilter.

Oxidationskatalysatorn omvandlar kolmonoxid och kolväten till koldioxid och vatten. Den påverkar också den andel av partiklarna som utgörs av tunga kolväten som vid lägre temperaturer finns adsorberade på partiklarna. Katalysatorns arbetstemperatur bör vara högre än 250°C. Reningsgraden är ofta bättre än 80%. Vid höga halter av svavel i dieselbränslet finns det risk för bildning av svavelsyra vid temperaturer över 400°C. Totala kväveoxid-utsläppen påverkas inte, men däremot kan det ske en viss oxidation av kväve-monoxid till kvävedioxid.

**Ett partikelfilter minskar partikelutsläppen**

Ett partikelfilter kan ha olika filtreringsgrad, alltifrån 30-40% till närmare 100%. Partiklarna som filtreras måste brännas av, antingen kontinuerligt eller efter en viss förutbestämd driftstid. I ett passivt filtersystem sker avbränningen kontinuerligt utan tillförsel av energi. I ett aktivt system tillförs energi för att tillfälligt höja avgas-temperaturen och på så sätt bränna av partiklarna. Det pågår även försök med olika bränsleadditiv för att uppnå en lägre sotförbrännings-temperatur.

**Ett partikelfilter måste regenereras**

Filtersystemen påverkar dock inte mängden kväveoxider.



© MICHAEL MELFORD / THE IMAGE BANK

**Syreöverskottet i  
dieselavgaserna gör  
katalysatorsystemen  
komplicerade**

### *Kväveoxider*

Dieselavgaser innehåller alltid en betydande mängd syre. Det innebär att det inte går att använda de trevägskatalysatorer som används på bensindrivna personbilar. Termodynamiskt är det möjligt att sönderdela kväveoxider till kväve och syre i syreöverskott. I praktiken har det emellertid visat sig svårt att uppnå.

Hittills har inga kommersiella efterbehandlingssystem som minskar kväveoxider på dieselmotorer funnits.

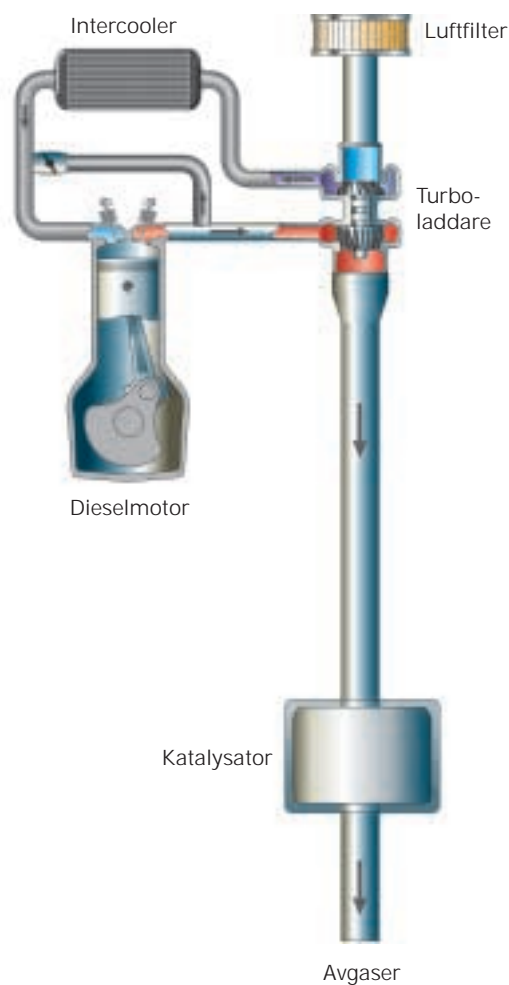
## Minskning av kväveoxidutsläpp genom återcirkulation av avgaser

Återcirkulation av avgaser kan ske på olika sätt

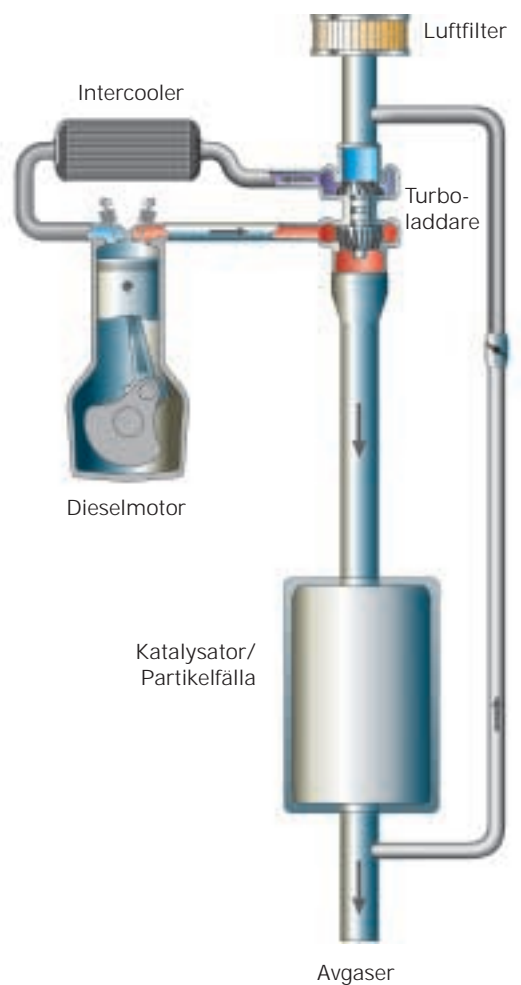
Den teknik som bedöms ha störst potential när det gäller att minska utsläppen av kväveoxider från dieselmotorer <sup>(ref 4)</sup> benämns **Exhaust Gas Recirculation, EGR**. Tekniken innebär att en del av avgaserna återcirkuleras till motorns insugssida.

Detta kan ske antingen genom konventionell teknik, s k högtrycks-EGR (fig 2) där avgasåterföringen sker från motorns avgasgrenrör direkt till motorns insugningsrör, eller med s k lågtrycks-EGR (fig 3). Här återföres avgaserna från avgasröret till motorns insugningssystem före turboladdaren.

Figur 2



Figur 3



**EGR påverkar bildningen av kväveoxid vid förbränningen**

## Effekten av EGR på emissioner

När en del av avgaserna återförs till insugsluften minskar syrehalten samtidigt som värmekapaciteten höjs något. Det leder till att förbränningstemperaturen sänks och mindre kväveoxid bildas.

Sänkningen av syrehalten gör att det finns risk för en ökning av partikelmängden. Därför är det viktigt att kunna styra mängden EGR vid olika motorbelastningar.

**En tung dieselmotor har ogynnsamma tryckförhållanden på avgas- och insugssidan**

## Tekniska lösningar på EGR

Hittills har konventionell EGR-teknik inte använts på tunga dieselmotorer eftersom tryckförhållandena på avgas- och insugssidan är sådana att tillräcklig återcirkulation inte uppnås med enbart en EGR-ventil. Vidare innehåller avgaserna partiklar som kan medföra ökat motorslitage och förändra smörjoljans egenskaper. Andra frågetecken har gällt de ingående komponenterna i ett EGR-system och deras långtidsegenskaper.

Ett EGR-system kan bedömas efter följande kriterier:

- EGR-andel vid hög last
- styrbarhet avseende andelen EGR under transienta och konstanta förhållanden
- utrymmeskrav
- nedsmutsning av motorns insugsvägar
- komplexitet och kostnad.

## DNO<sub>x</sub><sup>TM</sup> – ett EGR-baserat emissionssystem

STT har utvecklat ett system för minskning av kväveoxidutsläpp från dieselmotorer genom återcirkulation av avgaser. Övriga reglerade emissioner minskas genom efterbehandling av avgaserna. Systemet arbetar med känd teknik och innehåller kända komponenter.

**Avgaserna blandas in före turbon**

### Beskrivning av DNO<sub>x</sub><sup>TM</sup>-systemet

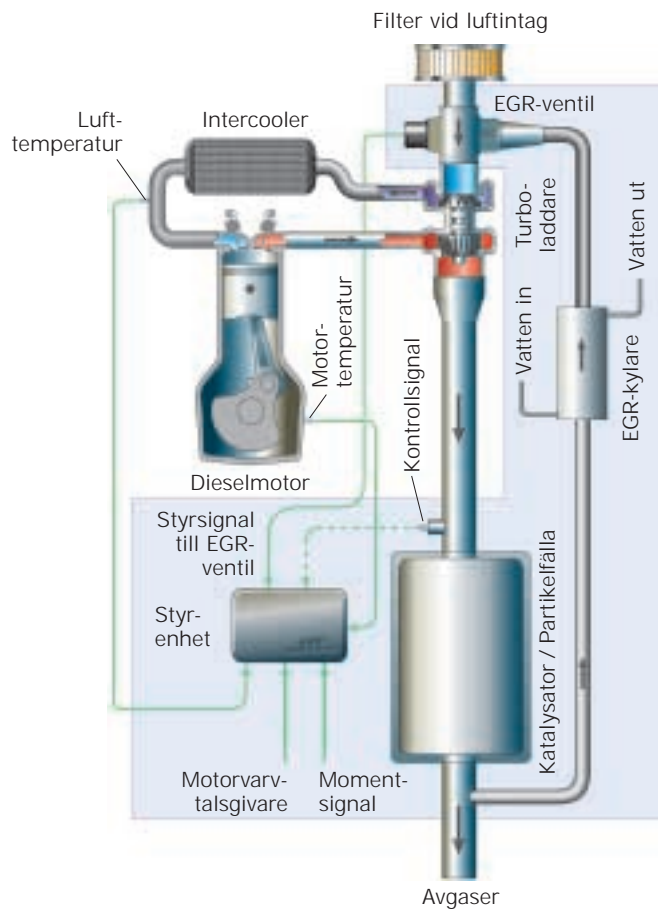
DNO<sub>x</sub><sup>TM</sup>-systemet är ett lågtryckssystem, d v s de återförda avgaserna blandas med insugsluften före turbon. De återcirkulerade avgaserna renas från partiklar och kyls. Det tidigare uppnås genom att avgaserna återförs efter partikelfiltrering. Figur 4 visar schematiskt de ingående komponenterna och hur systemet är uppbyggt.

### *EGR-trottel*

**EGR-trotteln styr andelen återcirkulerade avgaser**

EGR-trotteln reglerar mängden avgaser som återcirkuleras till motorn. Trotteln består av ett trottelhus med två spjäll.

De styrs av en styrenhet, ECU (Electronic Control Unit). Genom att reglera de två spjällarna är det möjligt att snabbt och exakt, anpassat för aktuella driftförhållanden, styra andelen EGR i motorns hela arbetsområde.

Figur 4 DNO<sub>x</sub><sup>™</sup>-systemets uppbyggnad och ingående komponenter

**Styrenheten reglerar EGR-andelen utifrån varvtal och last**

### ECU

Den elektroniska styrenheten arbetar utifrån fastställda parametrar som motsvarar en förutbestämd andel EGR i olika driftpunkter.

### Övriga komponenter

EGR-kylare och lambdasond. EGR-kylarens uppgift är att kyla de återcirkulerade avgaserna. Kylningen medför en minskning av kolmonoxid-, kolväten- och partikelemissioner vid hög EGR-andel. Kylningen anpassas så att inte minskningen av kväveoxidutsläppen påverkas negativt. Efterbehandlingen av avgaserna ger partikelfria avgaser.

Lambdasonden möjliggör återföring av information till kontrollsystemet.

### DNO<sub>x</sub><sup>™</sup>-systemets kännetecken

DNO<sub>x</sub> systemets egenskaper kännetecknas av:

- tillräcklig EGR-andel vid höga laster och god styrbarhet under transienta betingelser.
- små utrymmeskrav. Risk för nedsmutsning av motorns insugsvägar är eliminerad eftersom den återcirkulerade avgasen är partikelfri.

**DNO<sub>x</sub><sup>™</sup>-systemet uppfyller ställda kriterier**

**DNO<sub>x</sub><sup>™</sup> kan användas  
oberoende av bränsle**

- att EGR-kylaren kyls av motorns kylvatten.
- att konstruktionen är mekanisk och bygger på beprövad teknik. Det gör att kostnaden kan hållas på en rimlig nivå och att långtidsegenskaperna är goda.
- att systemet kan användas oberoende av bränsle. Bränslen som etanol eller dimetyleter ger dessutom så små mängder partiklar i avgasen att partikelfilter inte behövs.

## Resultat

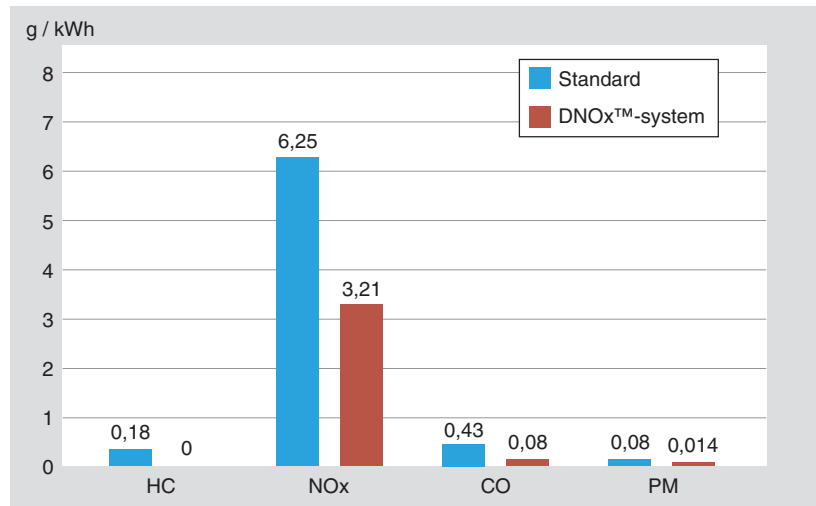
### *Resultat i buss*

En buss utrustad med DNO<sub>x</sub><sup>™</sup>-systemet har testats av Svensk Bilprovning. Motorn var utrustad med EDC och certifierad i Euro 2-utförande. Provning utfördes enligt ECE R49 testcykel.

#### Resultat

CO	0,09 g/kWh
HC	0,00 g/kWh
NO <sub>x</sub>	3,21 g/kWh
PM	0,014 g/kWh

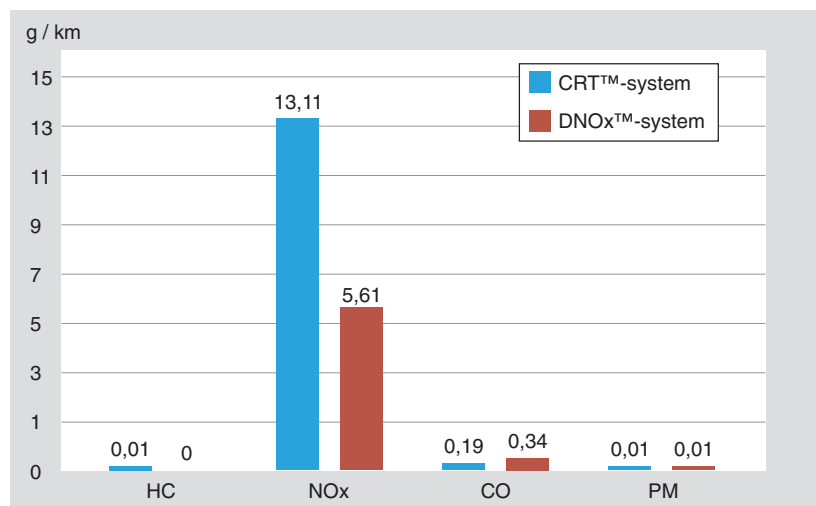




Figur 5 Resultat i buss testad enligt simulerad ECE R49 med en 10-litersbussmotor av Euro 2-typ

**Kväveoxidutsläppen minskar med ca 55% i Braunschweig-cykeln**

Provning har även genomförts på samma fordon enligt Braunschweig-cykeln – en transient körcykel som närmast är att likna vid förhållanden i stadstrafik.



Figur 6 Resultat i buss testad i Braunschweig-cykeln med en 10-liters bussmotor av Euro 2-typ.

## Slutsatser

**En systemlösning som halverar utsläppen av kväveoxider**

Resultaten visar att DNO<sub>x</sub><sup>™</sup> har en reningspotential för kväveoxider på mer än 50%.

Systemet kan appliceras på motorer som arbetar med negativt avgas-/insugningstrycksförhållande med marginell förändring av den specifika bränsleförbrukningen.

Systemet har optimal följsamhet och funktion under transienta förhållanden som motsvarar verkliga driftsbetingelser och driftsbetingelserna i kommande certifieringsprocykler.

**Ett kommersiellt färdigt system**

Systemet är ett add-on system och kan implementeras både vid nyproduktion av tunga dieselmotorer samt vid konvertering av befintlig fordonspark.



© The Image Bank

## Referenser

1. **Global Trend in Diesel Emissions Control – A 1998 Update**,  
*Walsh*, SAE 980186 (1998)
2. **Bilismen i Sverige 1999**,  
*Bilindustriföreningen, AB Bilstatistik*
3. **Experience with a New Particulate Trap Technology in Europe**,  
*Hawker et al*, SAE 970182 (1998)
4. **Cooled EGR – A Key Technology for Future Efficient HD Diesels**,  
*Zelenka et al*, SAE 980190 (1998).



© Niki Mareschal / The Image Bank

# Ordlista

<b>Benämning</b>	<b>Beteckning</b>
Avgasrecirkulation	EGR
Elektronisk styrenhet	ECU
Kilowattimme	kWh
Koldioxid	CO <sub>2</sub>
Kolmonoxid	CO
Kolväten	HC
Kväve	N
Kvävedioxid	NO <sub>2</sub>
Kvävemonoxid	NO
Kväveoxider	NO <sub>x</sub>
Ozon	O <sub>3</sub>
Partiklar	PM
Vatten	H <sub>2</sub> O

<b>Beteckning</b>	<b>Benämning</b>
CO	Kolmonoxid
CO <sub>2</sub>	Koldioxid
ECU	Electronic Control Unit
EGR	Exhaust Gas Recirkulation
H <sub>2</sub> O	Vatten
HC	Kolväten
kWh	Kilowattimme
N	Kväve
NO	Kvävemonoxid
NO <sub>2</sub>	Kvävedioxid
NO <sub>x</sub>	Kväveoxider
O <sub>3</sub>	Ozon
PM	Partiklar



© Carol Kohen / The Image Bank



STT AB  
Kontorsvägen 9  
SE-852 29 SUNDSVALL, Sweden  
Tel +46 60 64 10 40  
Fax +46 60 64 10 45  
[www.stt.se](http://www.stt.se)  
[emission@stt.se](mailto:emission@stt.se)