Anna van Buerenplein 1
2595 DA Den Haag
Postbus 96800
2509 JE Den Haag

www.tno.nl

T +31 88 866 00 00

TNO-rapport
TNO 2021 R10125 | 1.0

Technisch potentieel van retrofit SCR technologie voor dieselvoertuigen en juridische randvoorwaarden

Datum	22 januari 2021
Auteur(s)	Gerrit Kadijk Rob Cuelenaere Arjan Eijk
Exemplaarnummer	2021-STL-RAP-100337504
Aantal pagina's	73 (incl. bijlagen)
Aantal bijlagen	1
Opdrachtgever	Vlaamse Overheid, Beleidsdomein Omgeving Departement Omgeving Afdeling Energie, Klimaat en Groene Economie Graaf de Ferrarisgebouw T.a.v. Tania Van Mierlo Koning Albert II-laan 20, bus 8 B-1000 BRUSSEL België
Projectnaam	Vlaanderen - Retrofit LD
Projectnummer	060.42874

Alle rechten voorbehouden.
Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd uitgebracht, wordt voor de rechten en verplichtingen van opdrachtgever en opdrachtnemer verwezen naar de Algemene Voorwaarden voor opdrachten aan TNO, dan wel de betreffende terzake tussen de partijen gesloten overeenkomst.
Het ter inzage geven van het TNO-rapport aan direct belanghebbenden is toegestaan.
© 2021 TNO

Samenvatting

De hoge NO_x praktijkemissies van dieselvoertuigen zijn een belangrijke oorzaak voor lokale overschrijdingen van de luchtkwaliteitsnorm voor NO_2 in Vlaanderen. Zowel in Vlaanderen als op internationaal niveau zijn daarom al veel maatregelen ingevoerd om de NO_x emissies te verminderen. Ook de komende jaren worden nog maatregelen ingevoerd, denk hierbij aan Lage Emissie Zones (LEZ).

In het kader van de invoering van Lage Emissie Zones in 2025 in Vlaanderen is onderzoek gedaan naar de mogelijkheid van de installatie van SCR retrofit technologie in dieselpersonen- en bestelwagens. Een SCR retrofit installatie is primair bedoeld voor de vermindering van de NO_x emissies van een voertuig.

Het doel van dit project is om technische en juridische duidelijkheid te geven over het potentieel van *retrofit* van bestaande dieselvoertuigen met SCR-technologie in Vlaanderen.

Met name is er aandacht besteed aan de volgende zaken:

1. In hoeverre is samenwerking met de autofabrikanten vereist?
2. Hoe groot is de (milieu-)effectiviteit?
3. Is de werking blijvend te garanderen?

Ook is aandacht besteed aan mogelijke alternatieven voor reductie van NO_x emissies. Software updates van bestaande voertuigen en mogelijke toepassing van synthetische dieselbrandstof zijn onderzocht.

Werkwijze:

- Om bovenstaande vragen te kunnen beantwoorden zijn in dit onderzoek een aantal stappen uitgevoerd: Beschrijving van de werking van SCR *retrofit (WP1).* In dit werkpakket is uitgewerkt hoe SCR systemen werken.
- Analyse van de effectiviteit van SCR *retrofit.* In deze stap wordt beschreven wat de effectiviteit van SCR retrofit systemen zijn en waar dit op gebaseerd is.
- Verkenning en beoordeling van alternatieve technologieën om de NO_x uitstoot van bestaande dieselauto's te verminderen. Naast montage van SCR retrofit systemen zijn eventueel andere oplossingen denkbaar. In deze stap is onderzocht welke potentie eventuele alternatieven voor SCR retrofit systemen bieden.
- Homologatiemogelijkheden voor SCR *retrofit* (en eventueel alternatieven uit WP3). Welke eisen moeten gesteld worden om te garanderen dat NO_x reductie systemen in de praktijk daadwerkelijk hun beloofde rendement realiseren en dat ook onder praktijkomstandigheden, over de levensduur blijven doen.

De studie heeft geleid tot de volgende bevindingen:

Beschikbaarheid van SCR retrofit systemen.
Vijf leveranciers van SCR retrofit systemen bedienen de Engelse en Duitse markt, vier van deze systemen passen het reagens AdBlue toe. De vijfde leverancier slaat het reagens als ammoniak in kristallijne vorm op. Het is de verwachting dat systemen die AdBlue gebruiken om logistieke redenen het best passen in de Vlaamse situatie.

Vlaamse wet- en/of regelgeving.
Als eerste stap voor een mogelijk SCR retrofit programma is Vlaamse wet- en/of regelgeving vereist. De voorwaarden voor toegang van dieselvoertuigen met SCR retrofit in een Vlaamse LEZ en de homologatie-eisen van SCR retrofit systemen dienen te worden beschreven. Voor de laatste kunnen de Duitse en Engelse regelgeving als basis dienen maar voor betere garanties van de praktijkemissies dienen deze te worden aangevuld met een uitbreiding van systeemeisen, aangescherpte testcondities en definiëring van handhavingsprogramma's.
Het is de verwachting dat de genoemde uitbreidingen van SCR retrofit regelgeving substantieel doorlooptijd/inspanning vergen.

Prijzen SCR retrofit systemen.
Eerste indicaties van prijzen van Duitse SCR retrofit systemen liggen tussen € 2.000,- en € 7.000,-. Eén gerenommeerde leverancier, met basis in Vlaanderen, waarvan verwacht wordt dat die relatief veel systemen zal afzetten biedt een systeem aan voor circa € 3.500,-. Als de Vlaamse eisen uitgebreider zijn dan de Duitse eisen zullen de verwachte systeemprijzen (fors) hoger zijn.

Potentieel aantal voertuigen dat met SCR retrofit kan en zal worden uitgerust.
Op basis van huidige statistieken van de Vlaamse overheid wordt ingeschat dat in 2025 27.000 tot 36.000 Euro 5 dieselvoertuigen een LEZ betreden. Dit betekent dat de potentiële markt voor verkoop van SCR retrofit systemen naar verwachting maximaal 27.000 tot 36.000 voertuigen groot is, maar waarschijnlijk minder.
Als meerdere leveranciers deze markt met een groot aantal verschillende automerken/typen bedient, roept dit de vraag op of fabrikanten van systemen de ontwikkelingsinspanning zullen willen oppakken.
Verder is het de verwachting dat de huidige optie van betaling van een extra heffing van ongeveer € 300 per jaar voor toegang tot een LEZ in de periode 2025 t/m 2027 door veel voertuigeigenaren verkozen zal worden boven de aankoop van een SCR retrofit systeem.

Verwachte milieueffecten en vergelijk met Euro 6 dieselvoertuigen.
Onder zeer gunstige omstandigheden realiseren SCR retrofit installaties een NO_x reductie tot wel 80%. In praktijkomstandigheden zal de efficiëntie lager zijn door sterk wisselende rij- en weerscondities en variaties in kwaliteit van inbouw en afstemming tussen SCR installatie en voertuig. De verwachte NO_x reducties ten gevolge van de installatie van SCR retrofit installaties op Euro 5 dieselvoertuigen zijn beperkt. Onder zomerse condities zijn de NO_x reducties: in stadsverkeer 11 tot 23%, op de buitenweg 28 tot 39% en op de snelweg 34 tot 45%. Indien de omgevingstemperatuur daalt naar 0 ºC is de verwachte NO_x reductie in stadsverkeer 6 -11%.

In de stedelijke omgeving, daar waar LEZ zich bevinden, liggen de verwachte NO_x emissies van Euro 4 en 5 voertuigen met SCR retrofit op het niveau van Euro 6abc voertuigen. De emissiefactoren van Euro 6d-final voertuigen zijn onder alle rijomstandigheden, ook in de stedelijke omgeving, zeer veel lager dan die van Euro 4 en 5 voertuigen met SCR retrofit. Voertuigen die uitgerust worden met een SCR retrofit lopen een verhoogd risico op NH_3-emissies. NH_3 emissies zijn ongewenst en als deze niet worden gereglementeerd is de kans aanwezig dat voertuigen minder NO_x maar substantieel meer NH_3 uitstoten.

Technische randvoorwaarden voor goede werking van SCR retrofit systemen.
Randvoorwaarden voor goede werking van SCR retrofit systemen zijn essentieel om de beoogde NO_x reductie in de praktijk te realiseren. Daarom dienen eisen te worden gesteld aan de volgende zaken:

- Aanvullende technische eisen (bijv. startblokkering in geval van lege AdBluetank en OBD functionaliteiten).
- Limietwaarden voor ammoniak emissies.
- Bewaking van emissies in de praktijk (monitoring).
- Garanties voor een goede inbouwkwaliteit van SCR retrofit systemen.
- Opleidingen voor onderhoudspersoneel.

Zijn er alternatieven voor SCR retrofit?
Twee alternatieven voor reductie van NO_x emissies, te weten software updates en synthetische brandstoffen, zijn onderzocht en deze zijn niet of onvoldoende effectief voor de reductie van NO_x emissies en moeilijk uitvoerbaar. De effectiviteit van de onderzochte software updates van emissiecontrolesystemen is mede door de verschillende toegepaste testmethodieken zeer divers. Verder is deze optie vanwege het grote aantal verschillende voertuigfabrikanten praktisch moeilijk uitvoerbaar.
Het gebruik van synthetische dieselbrandstof heeft geen of zeer gering effect (tot maximaal 5% reductie) op de NO_x emissies van Euro 5 dieselvoertuigen.

Duurzame werking van SCR retrofit systemen:
Gegeven de homologatietesten die op de rollenbank en op de openbare weg onder representatieve condities worden uitgevoerd door een onafhankelijke partij dienen voor een goede blijvende werking van SCR retrofit systemen eisen te worden gesteld aan de volgende zaken:

- Registratie van voertuigen die zijn voorzien van SCR retrofit in de nationale database. Dit is een noodzakelijke voor controle- en handhavingsdoeleinden.
- Definiëring van In Service Conformity programma's ter controle van de werking van SCR retrofit systemen (inclusief de verantwoordelijke partij). Deze programma's kunnen ook worden ingezet voor controle van de levensduureigenschappen.
- Bewaking van emissies in de praktijk (monitoring). Door permanente monitoring blijft er zicht op de actuele prestaties van voertuigen.
- Mogelijkheid tot controle in de Autokeuring en bij wegkantinspecties, dit kan goed worden gecombineerd met monitoring.
- Aansprakelijkheid en actieplannen voor het geval dat systemen niet goed functioneren.

Conclusie:
Voor reductie van NO_x emissies van Euro 5 dieselvoertuigen in Lage Emissie Zones is de toepassing van SCR retrofitsystemen een minder geschikte optie. De verwachte NO_x reductiepercentages in stadsverkeer liggen tussen 6 en 23%. Verder is een zeer breed, uitvoerig en kostbaar pakket aan (ontwikkelingen voor) maatregelen voor een relatief gering aantal voertuigen nodig om deze reductiepercentages blijvend te garanderen. Vanwege de mogelijkheid voor het kunnen betreden van een LEZ door de betaling van een in verhouding goedkope jaarlijkse heffing is de verwachte belangstelling voor SCR retrofit laag.

Inhoudsopgave

Samenvatting **2**

1 Inleiding **8**
1.1 Introductie en context 8
1.2 Doel en werkwijze 8
1.3 Scope 9
1.4 Leeswijzer 10

2 Beschrijving van SCR retrofit systemen **11**
2.1 Werking 11
2.2 Wettelijke eisen retrofit systemen 13
2.3 Subsidieprogramma's voor SCR retrofit 14
2.4 Technische kenmerken en leveranciers 14
2.5 Gebruikskenmerken SCR retrofit systemen 20
2.6 Toepassingsgebied 21
2.7 Prijsindicaties 22
2.8 Beleidsimplicaties voor wetgeving van SCR retrofit systemen 22

3 Analyse van de effectiviteit van SCR retrofit **26**
3.1 Verbeterpotentieel bij diverse typen voertuigen 26
3.2 Beschikbare meetresultaten 27
3.3 Analyse beschikbare meetresultaten 35
3.4 Verwachte milieueffecten van SCR retrofit systemen 36
3.5 Randvoorwaarden voor duurzaam gebruik 38
3.6 Beleidsimplicaties ten behoeve van de effectiviteit van SCR retrofit systemen 39

4 Alternatieven voor reductie van NO_x emissies **41**
4.1 Software updates Euro 5 en Euro 6 dieselvoertuigen 41
4.2 Synthetische dieselbrandstof 43
4.3 Beleidsimplicaties voor alternatieve NO_x reductie systemen 43

5 Homologatiemogelijkheden voor SCR retrofit **45**
5.1 Relatie tussen homologatie retrofit en oorspronkelijke voertuighomologatie 45
5.2 Overzicht emissie-eisen van andere projecten 45
5.3 Mogelijkheden voor stimulering van SCR retrofit systemen 47
5.4 Juridische vereisten en handhaving 47
5.5 Potentiële fraudemogelijkheden 48
5.6 Beleidsimplicaties voor homologatie van SCR retrofit systemen 48

6 Werking van SCR retrofit garanderen **50**
6.1 Technische maatregelen 50
6.2 Overheidsmaatregelen 52
6.3 Periodieke controles 52
6.4 Verantwoordelijkheid voor blijvend goede werking 53
6.5 Beleidsimplicaties voor de gegarandeerde werking van SCR retrofit systemen 53

7 Discussie **54**
7.1 Verwachte NO_x emissies van voertuigen met SCR retrofit 54
7.2 De haalbaarheid van SCR retrofit 56

8 Conclusies en aanbevelingen 62

9 Afkortingen 65

10 Referenties 66

11 Ondertekening 68

Bijlage(n)

A Bepaling van de gemiddelde potentiële NO_x reductie van Vlaamse Euro 4 en 5 dieselvoertuigen met SCR retrofit

1 Inleiding

1.1 Introductie en context

De hoge NO_x praktijkemissies van dieselvoertuigen zijn een belangrijke oorzaak voor de overschrijding van de luchtkwaliteitsnorm voor NO_2 in Vlaanderen. Zowel in Vlaanderen als op internationaal niveau zijn maatregelen ingevoerd om de NO_x emissies te verminderen. Veel van deze maatregelen, zoals het terugdringen van het aandeel dieselauto's in het Vlaamse wagenpark of de Europese RDE-wetgeving zijn weliswaar zeer effectief, maar grijpen aan op de (nieuw)verkoop van auto's. Het zal daarom nog zeer lang duren voor deze maatregelen in het hele wagenpark zijn doorgedrongen. Andere maatregelen, zoals de introductie van Lage Emissie Zones, hebben instantaan effect, maar zij zijn ruimtelijk beperkt. Daarnaast kunnen Lage Emissie Zones ook bijdragen aan een verschuiving in het wagenpark, bijvoorbeeld van dieselvoertuigen naar benzinevoertuigen. Een grote aanvullende stap kan worden gezet, als het mogelijk is om de NO_x uitstoot van dieselauto's in het bestaande wagenpark te verminderen. In nieuwe dieselauto's wordt de NO_x uitstoot verminderd door toepassing een SCR (selective catalytic reduction) in het uitlaatsysteem. In het verleden is reeds de mogelijkheid geopperd om via *retrofit*, het achteraf installeren van een SCR systeem in een bestaande dieselauto, de NO_x uitstoot terug te dringen. Lange tijd is dit beperkt gebleven tot enkele geïsoleerde demonstratieprojecten. In de nasleep van *Dieselgate* zijn met name door een particulier initiatief in Duitsland (https://dieselnachruestung.eu/#informations) grote stappen gezet in de technische ontwikkeling van SCR systemen voor *retrofit*. Inmiddels geven enkele autofabrikanten, in ieder geval Mercedes-Benz en het Volkswagen-concern, medewerking aan de achteraf inbouwen van bepaalde SCR systemen op bepaalde modellen. Alternatieve maatregelen, naast *retrofit*, om de NO_x uitstoot van *bestaande* dieselauto's te verminderen lijken nauwelijks voorhanden. Vervanging van de software van auto's die beschikken over *sjoemelsoftware* uit *Dieselgate* geeft weinig verbetering, simpelweg omdat de *hardware* in die auto's ontbreekt om onder uiteenlopende praktijkomstandigheden lage NO_x uitstoot te kunnen realiseren.[1] Euro6 dieselauto's van vóór de inwerkingtreding van de RDE-wetgeving (pre-Euro6d-TEMP) beschikken vaak wel over een SCR systeem; voor deze groep voertuigen zou een software update wél tot verbetering kunnen leiden.

1.2 Doel en werkwijze

Met dit onderzoek 'Technisch potentieel van retrofit SCR-technologie voor dieselvoertuigen en juridische randvoorwaarden' wil de Vlaamse overheid beter zicht krijgen op de mogelijkheden en effectiviteit tot *retrofit* van bestaande dieselvoertuigen.
Het doel van dit project is om technische en juridische duidelijkheid te geven over het potentieel van *retrofit* van bestaande dieselvoertuigen met SCR-technologie in Vlaanderen.

De onduidelijkheid die er op dit moment is, heeft vooral betrekking op de vragen:

[1] Een TNO-rapport hierover, opgesteld in opdracht van het Nederlandse Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, wordt op zeer korte termijn gepubliceerd.

1. In hoeverre is samenwerking met de autofabrikanten vereist?
   In Duitsland is hiervoor gekozen omdat naast installatie van de SCR ook het motormanagement moet worden aangepast. Niet alle fabrikanten hebben tot op heden hun medewerking willen verlenen, wat het potentieel zou beperken indien samenwerking vereist is.
2. Hoe groot is de (milieu-)effectiviteit?
   SCR systemen werken alleen indien de temperatuur in het systeem voldoende hoog is. In nieuwe dieselauto's (Euro6d en Euro6d_TEMP) is daarom veel aandacht besteedt aan het management van de (uitlaatgas)temperatuur en de plaatsing van het SCR systeem. Bij *retrofit* is er minder vrijheid in plaatsing van het systeem en in het totale temperatuurmanagement. Dit kan de milieuwinst van *retrofit* sterk beïnvloeden.
3. Is de werking blijvend te garanderen?
   SCR systemen werken alleen als er AdBlue wordt geïnjecteerd. Het is daarom noodzakelijk dat er voortdurend voldoende AdBlue in de speciale AdBlue-tank in de auto aanwezig is. En de AdBlue injectie dient ook jaren na installatie goed te blijven functioneren en niet, zoals bij vrachtwagens regelmatig wordt vastgesteld, onderbroken of gemanipuleerd te worden.
   En als er voordelen zijn gekoppeld aan *retrofit* en deze voordelen worden toegekend en slechts worden gecontroleerd bij installatie, kan het de gebruiker uitnodigen de installatie daarna weer te verwijderen.

Dit project zal de Vlaamse overheid beter inzicht verschaffen in enerzijds het technisch potentieel en anderzijds mogelijke technische en juridische randvoorwaarden van *retrofit* SCR systemen voor dieselauto's.

Op basis van de analyse zal een set van voorwaarden en technische eisen worden opgesteld die in wetgeving zouden kunnen worden opgenomen en die tevens garanderen dat omgebouwde voertuigen minder NO_x zullen uitstoten.

Het project bestaat in totaal uit 6 werkpakketten, namelijk:

- WP1: Beschrijving van de werking van SCR *retrofit*
- WP2: Analyse van de effectiviteit van SCR *retrofit*
- WP3: Verkenning en beoordeling van alternatieve technologieën om de NO_x uitstoot van bestaande dieselauto's te verminderen
- WP4: Homologatiemogelijkheden voor SCR *retrofit* (en eventueel alternatieven uit WP3)
- WP5: Werking van SCR *retrofit garanderen*
- WP6: Contacten met opdrachtgever en stuurgroep en projectmanagement

1.3 Scope

De scope van dit project wordt met name bepaald door bestaande voertuigen met de volgende Euroklassen en toegepaste technologieën:

- Euro 4 zonder roetfilter
- Euro 4 met retrofit half-open roetfilter
- Euro 4 met af-fabriek roetfilter
- Euro 5 met af-fabriek roetfilter
- Euro 5 met af-fabriek roetfilter + SCR katalysator
- Euro 6a/b/c met af-fabriek roetfilter + LNT katalysator

- Euro 6a/b/c met af-fabriek roetfilter + SCR katalysator

Voor de Euro 4 en 5 voertuigen zal de nadruk liggen op de toepassing van SCR retrofit technologie en voor de overige voertuigen zal met name aandacht zijn voor software-aanpassingen. De emissieniveaus van Euro 6d-Temp en Euro 6d voertuigen worden nagestreefd door toepassing van de beoogde maatregelen op Euro 4, 5 en 6a/b/c voertuigen.

1.4 Leeswijzer

Na de inleiding en beschreven doelstellingen in hoofdstuk 1 zijn in hoofdstuk 2 de technische kenmerken, gebruikskenmerken en het toepassingsgebied van SCR retrofit systemen beschreven. In hoofdstuk 3 is met name de effectiviteit van SCR retrofit systemen in de dagelijkse praktijk verwoord, de verwachte milieueffecten genoemd en de randvoorwaarden voor duurzaam gebruik. Voor voertuigen die meer gebaat lijken te zijn met alternatieve maatregelen zijn in hoofdstuk 4 aanpassingen van software beschreven. Verder zijn in hoofdstuk 5 de homologatiemogelijkheden voor SCR retrofit systemen onderzocht.
Aanvullend zijn in hoofdstuk 6 maatregelen beschreven die nodig zijn voor een gegarandeerde werking van SCR retrofit systemen.
De discussie over een eventuele Vlaamse SCR-retrofit regeling is verwoord in hoofdstuk 7 en de conclusies en aanbevelingen in de hoofdstukken 8 en 9.

2 Beschrijving van SCR retrofit systemen

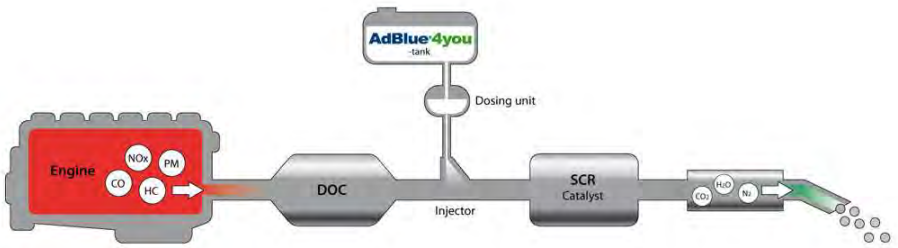
2.1 Werking

Basale werking SCR systeem:
Een SCR systeem reduceert de NO_x emissie van een voertuig. Door menging van ammoniak (NH_3) met uitlaatgas dat NO_x bevat zal het de schadelijke NO_x onder bepaalde condities in de SCR katalysator worden omgezet in onschadelijke componenten.

Varianten van SCR systemen:
SCR systemen worden in verschillende varianten aangeboden. De meest toegepaste variant in voertuigen is een systeem met AdBlue injectie. Hierin zijn weer twee types namelijk directe AdBlue injectie in het uitlaatgas en indirecte injectie. In het laatste geval wordt de AdBlue eerst in een reactor gebracht die de AdBlue omzet in gasvormig ammoniak dat als gas aan het uitlaatgas wordt toegevoegd. Ook zijn er systemen op de markt die pure ammoniak aan boord hebben.

AdBlue als verpakking voor ammoniak:
Ammoniak is een zeer gevaarlijke stof en daarom wordt uit veiligheidsoverwegingen gebruikt gemaakt van de stof ureum (CH_4N_2O) die opgelost is in water, dit mengsel wordt verkocht onder de handelsnaam AdBlue. De vloeistof AdBlue bestaat uit 67,5 massa% water en 32,5 massa% ureum en kan zonder extra maatregelen worden vervoerd en in de uitlaat worden geïnjecteerd. Bij temperaturen boven 180 °C ontbindt ureum en wordt gasvormige ammoniak gevormd.

In Figuur 1 is een schematisch overzicht weergegeven van een motor met SCR systeem met AdBlue injectie. In dit systeem passeert het uitlaatgas eerst een oxidatiekatalysator (DOC) die een gedeelte van de NO oxideert tot NO_2 waardoor de reducerende reactie in de SCR katalysator ook bij lagere temperaturen mogelijk wordt. Door injectie van de juiste hoeveelheid AdBlue wordt in het uitlaatgas ammoniak gevormd en dit wordt samen met de door de motor uitgestoten NO_x aangeboden aan de SCR katalysator die de schadelijke NO_x omzet in onschadelijke componenten N_2 en H_2O. Dit systeem is slechts een van de vele mogelijke SCR configuraties, voor SCR retrofit systemen zal deze variant wel vaak worden toegepast.

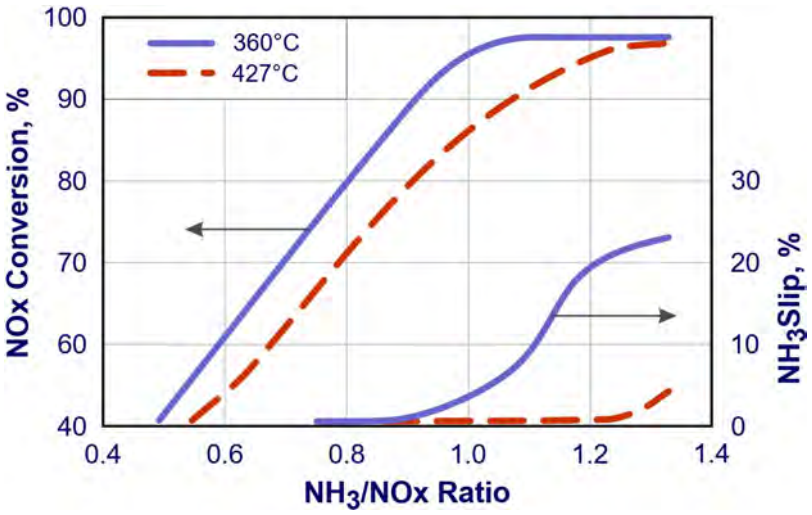


Figuur 1: Schematisch overzicht van een dieselmotor met SCR katalysator. De diesel oxidatiekatalysator (DOC) zet een gedeelte van NO om in NO_2 waardoor conversie van de NOx in de SCR katalysator vanaf 200 ºC mogelijk wordt.

Randvoorwaarden voor de goede werking van een SCR systeem:
Een SCR systeem werkt optimaal onder de volgende voorwaarden:

- De SCR katalysator voldoende groot is in relatie tot het actuele uitlaatgasdebiet en de geproduceerde NO_x.
- De actuele uitlaatgastemperatuur in het operationele temperatuurbereik van de SCR katalysator ligt. Voor de meeste SCR katalysatoren ligt dit temperatuurbereik tussen 200 en 400 °C.
- AdBlue in de gewenste verhouding met de actuele NO_x emissie wordt toegediend. Voor volledige reductie van de 1 gram NO_x is 2.07 gram AdBlue nodig, de zogenaamde Normal Stoichiometric Ratio (NSR) is dan 1.
- Ammoniak en stikstofoxiden voor intrede van de SCR katalysator homogeen worden gemengd.
- Het uitlaatgas gelijkmatig wordt verdeeld ober het oppervlak van de SCR katalysator.

Voorwaarden voor de juiste AdBlue- of ammoniakdosering:
De relatie van de relatieve AdBlue- of ammoniakdosering en NO_x conversie wordt in Figuur 2 getoond. De maximale NO_x conversie (> 90%) is pas mogelijk als bij hogere uitlaatgastemperaturen (> 250 °C) voldoende AdBlue wordt toegediend. Als er in verhouding te veel AdBlue wordt geïnjecteerd of de menging van ingespoten AdBlue en uitlaatgas niet optimaal is, zal dit na de SCR katalysator resulteren in ammoniak slip. Dit is een ongewenst verschijnsel omdat ammoniakemissies zeer schadelijk zijn. Sommige fabrikanten monteren daarom na de SCR katalysator een extra katalysator (een zogenaamde slipcat of AMOX) die de ammoniakemissies oxideert. Mogelijk wordt er dan wel het broeikasgas N_2O geformeerd.



Figuur 2: Voorbeeld van NOx conversie in relatie tot de relatieve toediening van ammoniak (bron: Dieselnet).

De chemische reacties in de SCR katalysator zijn als volgt:

$$6NO + 4NH_3 \rightarrow 5N_2 + 6H_2O$$
$$4NO + 4NH_3 + O_2 \rightarrow 4N_2 + 6H_2O$$
$$6NO_2 + 8NH_3 \rightarrow 7N_2 + 12H_2O$$
$$2NO_2 + 4NH_3 + O_2 \rightarrow 3N_2 + 6H_2O$$
$$NO + NO_2 + 2NH_3 \rightarrow 2N_2 + 3H_2O$$

Er gelden dus een aantal randvoorwaarden voor een goede werking van een SCR systeem zodat de NO_x conversie optimaal is onder zo veel mogelijk bedrijfsomstandigheden en geen ammoniak emissies vrijkomen.

Voor light duty (LD) voertuigen bestaat geen wettelijke NH_3 emissie-eis. Voor heavy duty (HD) voertuigen is er wel een NH_3 emissie-eis. In de typegoedkeuringstest mag de gemiddelde NH_3 concentratie niet meer zijn dan 10 ppm.

2.2 Wettelijke eisen retrofit systemen

Wettelijke eisen voor (retrofit) systemen of vervangingsonderdelen zijn voor een aantal technologieën en voertuig categorieën in de volgende documenten beschreven:

UNECE reglement 103 beschrijft de eisen voor zogenoemde vervangingsonderdelen zoals katalysatoren en roetfilters.

UNECE reglement 115 beschrijft de eisen van LPG en CNG retrofit systemen.

UNECE reglement 132 beschrijft de eisen van SCR retrofitsystemen van zware voertuigen, landbouw- en bosbouwtrekkers en niet voor de weg bestemde mobiele machines uitgerust met dieselmotoren. Dit reglement is veelal gebaseerd op de kennis die door de Zwitserse organisatie VERT[2] is ontwikkeld.

In Duitsland is specifieke wetgeving gemaakt voor SCR retrofit systemen voor Euro 4 en 5 personen- en bestelwagens [BMVI 2018a] en bussen [BMVI 2018b].

In het Verenigd Koninkrijk is The Clean Vehicle Retrofit Technology Guide opgesteld die alle aspecten van toepassing van retrofit technologieën op wegvoertuigen en wettelijke eisen beschrijft [LowCVP 2019].

In Nederland is in januari 2020 een investeringsregeling gepubliceerd:
Alle Euro 4, 5, IV en V diesel wegvoertuigen en binnenvaartschepen die worden voorzien van een SCR retrofit systeem dat aan Euro 6/VI emissie-eisen voldoet komen in aanmerking voor extra investeringsaftrek (belastingkorting).
De technische systeemeisen van de retrofit systemen zijn niet bekend.

De emissie-eisen van deze projecten/programma's worden in paragraaf 5.1 beschreven.

[2] https://www.vert-dpf.eu/

2.3 Subsidieprogramma's voor SCR retrofit

Engeland stadsbussen, vrachtwagens en taxi's:
De burgemeester van London heeft in 2017 een vierjarige stimuleringsprogramma voor de verschoning van 5000 Londense bussen afgekondigd[3]. Het totale beschikbare budget is £ 86,100,000. Alle voertuigen moeten na het programma voldoen aan Euro 6/VI emissie-eisen.

Duitsland personen- en bestelwagens:
Sommige Duitse autofabrikanten (VW en Mercedes) zijn met de Duitse overheid overeengekomen de gevolgen van Dieselgate te compenseren door eigenaren van Euro 4 en 5 voertuigen financieel te helpen met de inbouw van emissie reducerende systemen. Dit bedrag kan oplopen tot € 3.000,-. BMW heeft een dergelijke regeling niet maar komt mensen financieel tegemoet als zij hun voertuig inruilen bij de koop van een nieuw voertuig.

Duitsland stadsbussen:
Duitsland heeft op 23 maart 2018 een subsidieregeling voor SCR retrofit van Euro III, IV, V en EEV stadbussen gelanceerd onder de naam 'Sofortprogramm „Saubere Luft 2017-2020"'. Het beschikbare budget van de regeling is 107 miljoen Euro[4].
De NO_x emissie-eisen zijn voor stadsbussen 7,5 tot 2,5 g/km in de snelheidsklassen 10 tot 30 km/h.

Nederland wegvoertuigen en binnenvaartschepen:
Nederland heeft in januari 2020 een investeringsregeling gepubliceerd:
Alle Euro 4, 5, IV en V diesel wegvoertuigen en binnenvaartschepen die worden voorzien van een SCR retrofit systeem dat aan Euro 6/VI emissie-eisen voldoet komen in aanmerking voor extra investeringsaftrek. Met deze MIA\VAMIL investeringsregelingen[5] kunnen ondernemers naast de reguliere jaarlijkse afschrijvingen een extra bedrag (de investeringsaftrek) in mindering brengen op het bedrijfsresultaat en betalen daardoor minder (vennootschaps)belasting. Tot op heden is voor wegvoertuigen nauwelijks gebruik gemaakt van dergelijke investeringsregelingen.

2.4 Technische kenmerken en leveranciers

De op de markt aangeboden SCR systemen zijn zeer verschillend. Dit kan tot uiting komen in de configuratie van het katalysatorpakket en het type doseersysteem van het reagens (gasvormig ammoniak of vloeibare AdBlue). In deze paragraaf worden de naar verwachting meest toegepaste systemen besproken.

Alle leveranciers die SCR retrofit systemen aanbieden voor personen- en bestelwagens doen dat voor Euro 5 voertuigen. Systemen voor Euro 4 voertuigen worden niet aangeboden.

---

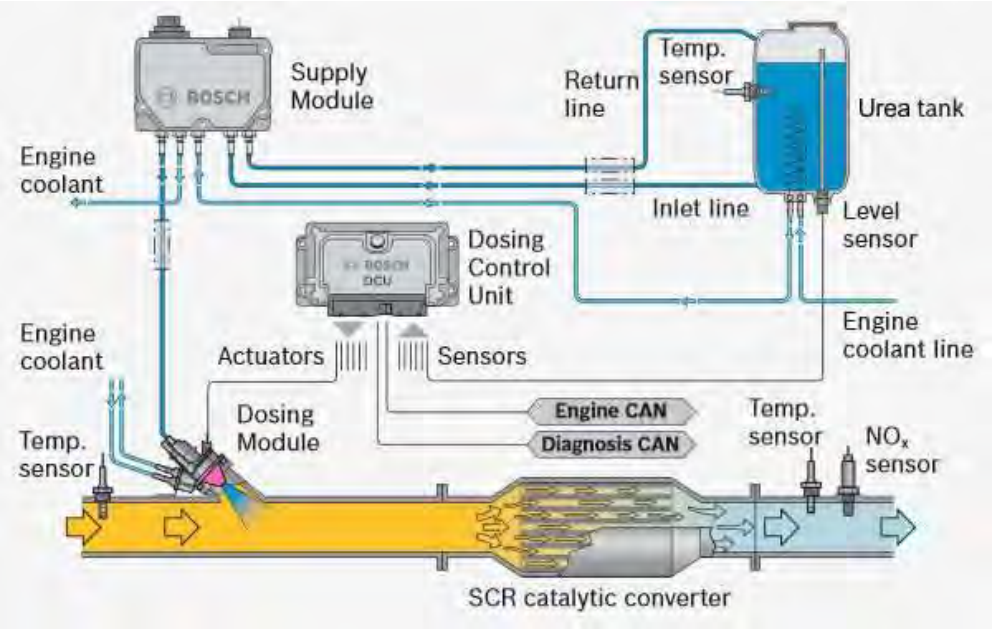
[3] https://airqualitynews.com/2017/06/28/86-1-million-london-bus-retrofit-programme-announced/
[4] https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Pressemitteilungen/2018/019-scheuer-dieselbusse-nachruestung.html
[5] https://www.rvo.nl/subsidies-regelingen/milieulijst-en-energielijst/miavamil/nox-reductiesysteem-voor-een-bestaand-voertuig.

2.4.1 Componenten

Het meest toegepaste af-fabriek SCR systeem werkt met AdBlue injectie en bestaat globaal uit de volgende componenten:

- AdBlue reservoir inclusief pomp.
- AdBlue injector
- AdBlue leidingen
- SCR katalysator plus een eventuele NH_3 slipcat
- Temperatuur sensoren in de uitlaat.
- Microprocessor (deze kan geïntegreerd zijn in het AdBlue reservoir)
- Kabelboom met elektrische bedrading.

In Figuur 3 is een overzicht gegeven van de essentiële componenten van een SCR systeem met AdBlue dosering.



Figuur 3: Schematisch overzicht van een compleet (retrofit) SCR systeem met AdBlue dosering.

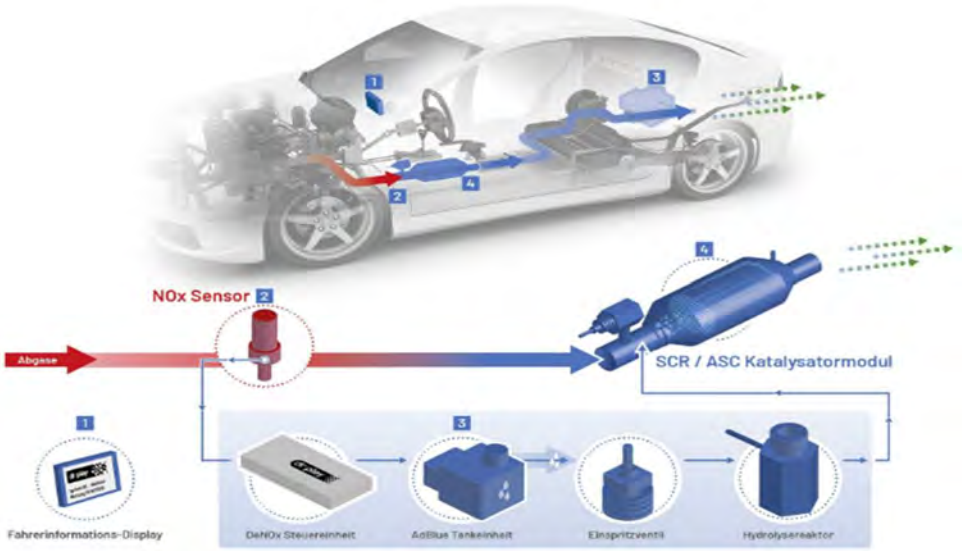
Engineering van SCR retrofit systemen per voertuigmodel:
SCR retrofit systemen moeten per voertuigmodel worden ontworpen en geïntegreerd in het bestaande voertuig. Ook dienen de systemen storingsvrij te werken. Dit alles vraagt zeer specialistische kennis en veel tijd voor het testen van de systemen. Alleen in uitgebreide testsessies in deze engineeringsfase kunnen systeemfouten door de systeemleverancier worden aangepakt en productverbeteringen worden doorgevoerd. Dit productontwikkelingsproces neemt vaak maanden en soms jaren in beslag. De kwaliteit van SCR retrofit systemen worden in hoge mate bepaald door de kennis en kunde van de fabrikant/leverancier en de geïnvesteerde tijd in de engineeringsfase.

2.4.2 Leveranciers van SCR retrofit systemen

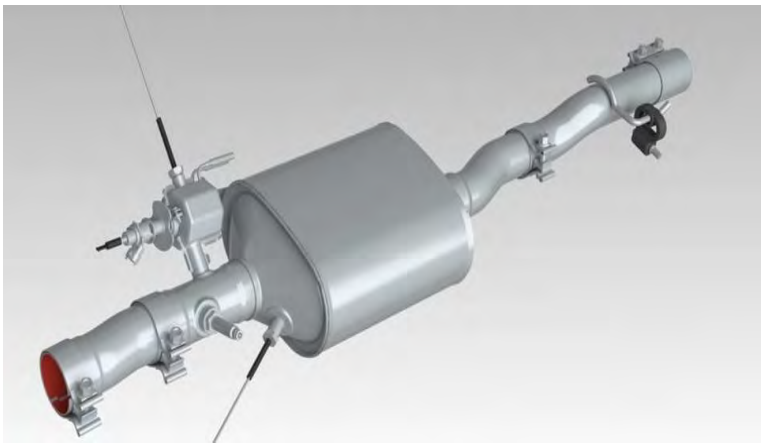
De volgende vijf (Duitse) leveranciers presenteren SCR retrofit systemen:

Dr. Pley – BOSAL[6][7]

Dit SCR retrofit system bestaat uit een SCR katalysator met Ammonia Slip Catalyst (ASC) en AdBlue hydrolyse reactor. Deze reactor zet vloeibaar AdBlue d.m.v. elektrische verwarming om in gasvormig ammoniak. Dit heeft als voordeel dat de beschikbaarheid van ammoniak losgekoppeld is van de actuele uitlaatgastemperatuur en de SCR katalysator bij lagere uitlaatgastemperaturen al actief kan zijn.



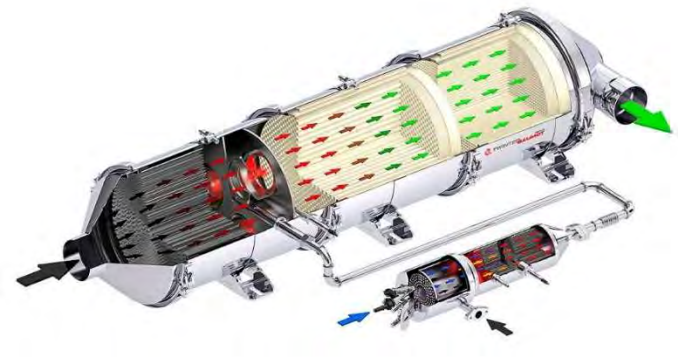
Figuur 4: Dr Pley – BOSAL SCR retrofit system.



Figuur 5: BOSAL SCR katalysator met ammoniak injector.

[6] https://www.bosalretrofit.com/
[7] https://www.diesel-upgrade.com/en/

Baumot-Twintec:
Deze leverancier levert het BNOx systeem dat net als anderen de AdBlue niet rechtsreeks in de uitlaat inspuit maar in een reactor die de AdBlue o.a. omzet in gasvormig ammoniak. Zij claimen op hun website[8] door installatie van hun SCR retrofit systeem op Euro 5 voertuigen te kunnen voldoen aan Euro 6 NO_x limietwaarden. Gedetailleerde testrapporten ontbreken echter.



Figuur 6: AdBlue/NH_3 reactor van Baumot-Twintec die vloeibare AdBlue omzet in gasvormige NH_3 en SCR katalysator

NeoBlue – Oberland Manggold:
Ook de leverancier NeoBlue presenteert een SCR systeem aan met AdBlue hydrolyse maar geeft op haar website[9] medio maart 2020 aan dat systemen nog niet leverbaar zijn.

Figuur 7: SCR systeem van NeoBlue met AdBlue/NH_3 reactor.

[8] https://solutions.baumot.de/en/products/bnox-scr-system/
[9] https://www.low-nox.de/home.html

Faurecia / Amminex:
Deze leverancier van SCR retrofitsystemen past ammoniak als reagens toe. Het ammoniak is kristallijn opgeslagen in tanks, die via opwarming vrij komt. In de aangeboden configuratie dienen iedere 15,000 km de patronen te worden verwisseld. Wat betreft handling van de ammoniak heeft dit systeem voor individuele voertuigeigenaren een nadeel omdat de te verwisselen ammoniaktanks naar verwachting niet overal beschikbaar zullen zijn.
De reducerende reactie in de SCR katalysator kan echter bij relatief lage temperaturen al aanvangen omdat de ammoniak bij alle uitlaatgastemperaturen beschikbaar is. Het systeem wordt ook toegepast in stadsbussen en hier lijken de logistieke problemen van de ammoniak veel beter hanteerbaar omdat de bussen dagelijks op dezelfde locaties aanwezig zijn.

Dit systeem heeft de 'Engine retrofit prize' van de Europese Commissie gewonnen [EC JRC 2018].

Figuur 8: Tanks met pure ammoniak van het Faurecia / Amminex SCR retrofit systeem die in dit geval in de kofferruimte zijn geplaatst. Periodiek dienen de tanks te worden gewisseld.

HJS:
Het SCR retrofit systeem van HJS injecteert in tegenstelling tot de andere systemen vloeibare AdBlue in het uitlaatsysteem. Verder wordt door ADAC referentie [ADAC 2019] gemeld dat het HJS systeem het meest betrouwbaar was in vergelijk met de andere geteste SCR retrofit systemen.

Figuur 9: HJS SCR retrofit systeem[10] met AdBlue injectie.

[10] https://www.hjs.com/en/low-duty-vehicles/#!/systemfacts

2.4.3 *Installatie retrofit systeem*

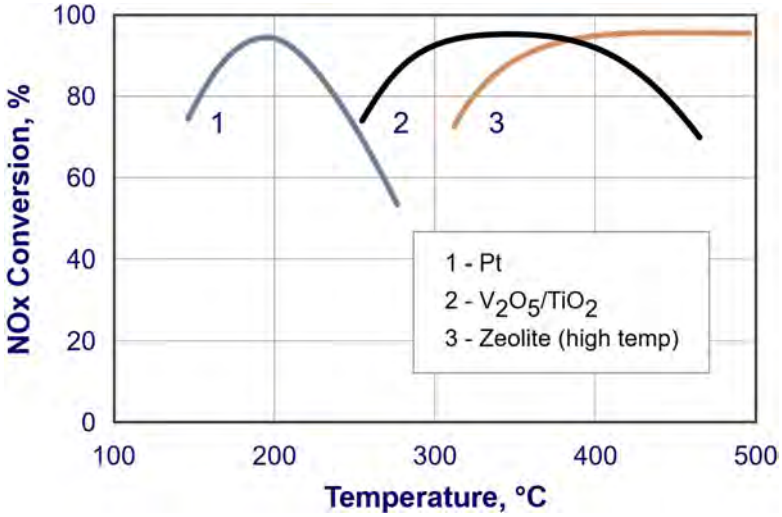
Het installeren van een SCR retrofit systeem bestaat uit de volgende onderdelen:'

- Installatie van de SCR katalysator en temperatuursensoren in het bestaande uitlaatsysteem. Liefst zo dicht mogelijk bij de motor zodat de SCR katalysator bij een zo hoog mogelijke temperatuur werkt. In de praktijk is men vaak gebonden aan de beschikbare inbouwruimte waardoor de plaats van de SCR katalysator niet optimaal is. De bestaande uitlaat wordt ingrijpend gewijzigd door vervanging van delen of het aanpassen van bestaande delen. Mogelijk zijn ook aanpassingen van omliggende zaken nodig omdat er sprake is van ruimtegebrek.
- Installatie van het AdBlue of ammoniak reservoir, eventuele hydrolyse reactor en AdBlue- of ammoniakinjector. Afhankelijk van de beschikbare ruimten in een voertuig kan de locatie van het reservoir per voertuigtype verschillen.
- Installatie van de AdBlue of ammoniak leidingen tussen het reservoir en de injector.
- Installeren van de microprocessor, kabelboom en het aansluiten op het bestaande motormanagementsysteem van het voertuig. Hiervoor is in principe geen medewerking van de voertuigfabrikant nodig.

Sommige leveranciers claimen de installatie in drie uur te kunnen voltooien.

SCR bedrijfstemperaturen en vorming van NH_3

Een SCR katalysator is actief in een bepaald temperatuurbereik en dit verschilt per toegepaste katalysatormateriaal, zie Figuur 10.



Figuur 10: Operationele temperatuurwindows voor verschillende typen SCR katalysatoren

Door toepassing van een extra oxidatiekatalysator (DOC) voor de SCR katalysator die NO omzetten in NO_2 kan de NO_x conversie bij lagere uitlaatgastemperaturen worden verbeterd. In Euro 5 en Euro 6 voertuigen begint een SCR katalysator NO_x om te zetten bij een temperatuur van 150 -180 ° C en is de NO_x reductie beperkt. Rond 300 °C is de conversie optimaal (tot wel meer dan 95%) om vervolgens bij nog hogere temperaturen weer af te nemen.

Aangezien decompositie van AdBlue rond 200 ºC plaatsvindt en SCR katalysatoren al bij 100 - 140 ºC actief kunnen zijn, is de hydrolyse van AdBlue in een aparte reactor een aantrekkelijke optie omdat daarmee het effectieve werkgebied van een SCR systeem wordt vergroot. In stadsverkeer met lagere motorbelastingen is er dan al conversie van NO_x mogelijk. De toepassing van een aparte reactor waarin uit AdBlue ammoniak wordt gegenereerd wordt door meerdere leveranciers toegepast in SCR retrofit systemen.

Euro 4, 5 en 6a/b/c voertuigen opereren deels met uitlaatgastemperaturen tot 150 ° C en deels daar boven. Dit heeft tot gevolg dat de NO_x reductie slechts in een beperkt deel van de bedrijfsomstandigheden mogelijk is. Een SCR retrofit systeem meet dan ook de actuele uitlaatgastemperatuur en op basis van deze gemeten temperatuur wordt de hoeveelheid te injecteren AdBlue/ammoniak aangepast.

In de praktijk zijn alle maatregelen die de bedrijfstemperatuur van een SCR katalysator verhogen gunstig voor de effectiviteit van de SCR katalysator. De lage NO_x emissies van Euro 6d-Temp en Euro 6d dieselvoertuigen zijn dan ook mogelijk omdat meer maatregelen zijn genomen voor de verhoging van de uitlaatgastemperatuur bij lage motorbelastingen en bij opwarmen na koude start waardoor de SCR katalysator in een groter deel van de bedrijfsomstandigheden actief kan zijn.

2.4.4 Restricties t.g.v. rijden met lege AdBlue- of ammoniaktank

De injectie van de juiste hoeveelheid AdBlue of ammoniak is een voorwaarde voor reductie van de NO_x emissies. Om de NO_x reductie zeker te stellen dient de AdBlue/ammonia tank dan ook altijd gevuld te zijn. Ter voorkoming van het rijden met een ineffectief SCR-retrofit systeem is daarom in nieuwe voertuigen een systeem ingebouwd dat voorkomt dat de motor in geval van een lege AdBlue/ammoniak tank gestart kan worden. Enkele duizenden kilometers voordat de tank leeg is, wordt de berijder gewaarschuwd door een melding op het dashboard en hij/zij wordt verzocht de tank bij te (laten) vullen. Voor een blijvend succes van gemonteerde SCR retrofit systemen is het een noodzaak de functionaliteit van een startblokkering in geval van een lege AdBlue- of ammoniaktank te hebben.

2.5 Gebruikskenmerken SCR retrofit systemen

Bijvullen van reagens:

Het bijvullen van AdBlue of het verwisselen van ammoniaktanks is voor de meeste voertuigen eens per 10.000 tot 20.000 km nodig. De eerste AdBlue systemen werden bijgevuld door onderhoudswerkplaatsen maar ook handige voertuigeigenaren konden dit goed uitvoeren. Met de introductie van Euro 6d-Temp voertuigen blijkt de AdBluetank een vulopening hebben die met een AdBlue tankpistool dat op tankstations aanwezig is benaderd kan worden. Voor SCR retrofit systemen is het ook handig de vulopening voor het tankpistool toe te passen. AdBlue is inmiddels (in diverse verpakkingen) breed verkrijgbaar.
Voor het verwisselen van ammoniak tanks is tot op heden geen infrastructuur aanwezig. De leverancier van deze SCR retrofitsystemen zal een werkbare oplossing moeten kunnen bieden.

Brandstof- smeeroliekwaliteit:
Katalysatoren kennen een aantal verouderingsmechanismen zoals thermische en chemische veroudering. Chemische veroudering is afhankelijk van de brandstof- en smeeroliekwaliteit. Het is bekend dat zwavel leidt tot katalysatorveroudering en derhalve is de Europese zwaveleis van dieselbrandstof in EN 590 gesteld op minder dan 10 ppm (zwavelvrije brandstof).
Ook zijn zogenaamde low SAPS motoroliën ontwikkeld met als doel katalysatoren zo min mogelijk te vervuilen. Bij inbouw van een SCR retrofit systeem dient te worden bepaald of aanpassing van het type motorolie nodig is.

Onderhoud:
SCR systemen hebben behalve het vervangen van AdBlue filters in principe weinig onderhoud nodig. Nu blijken in de praktijk vooral bij retrofit systemen regelmatig storingen op te treden [ADAC 2019]. Het is dan ook aan te raden de systeemwerking van SCR retrofitsystemen bij reguliere onderhoudsbeurten van het voertuig te controleren. Het uitlezen van het storingsgeheugen is dan een eerste vereiste.

SCR systemen bij strenge vorst:
AdBlue bevriest beneden -11 ºC en het is dan ook gebruik het SCR systeem bij dergelijke temperaturen actief te verwarmen zodat de AdBlue vloeibaar is. Om bevriezing van AdBlue in leidingen en injectoren te voorkomen worden daarom bij afschakelen van de motor de AdBlue-leidingen leeg gezogen. Na een koude start bij zeer lage omgevingstemperaturen wordt de AdBluetank actief verwarmd zodat deze vloeibaar is en bij de juiste uitlaatgastemperatuur kan worden toegediend. Een leverancier van een SCR retrofitsysteem dient het systeemgedrag in de handleiding te beschrijven. Ook is het gebruikelijk de berijder actief te informeren als het SCR retrofit systeem inactief is vanwege lage buitentemperaturen.

2.6 Toepassingsgebied

Voor personen- en bestelvoertuigen met dieselmotor van de volgende emissieklassen is installatie van een SCR retrofit systeem technisch mogelijk:
- Euro 4 zonder DPF
- Euro 4 met DPF
- Euro 5 met DPF
- Euro 6 met DPF en LNT

Een deel van Euro 6 a/b/c dieselvoertuigen is al uitgerust met een SCR systeem, het overige deel is uitgerust met een Lean NOx Trap (LNT). Voor de LNT varianten wordt SCR retrofit eigenlijk niet haalbaar geacht omdat optimalisatie van de bestaande systemen veel gemakkelijker is en daarom zal met name aandacht zijn voor software updates. Het is gebleken dat sommige Euro 6 a/b/c voertuigen met LNT katalysator, zelfs zonder software update, soortgelijke emissies hebben als voertuigen met SCR katalysator [TNO 2016c].

Haalbaarheid SCR retrofit per emissieklasse:
Aangezien de ontwikkelingskosten van een SCR retrofit systeem substantieel zijn en deze gedekt worden door de verkoop van SCR retrofit systemen dienen voldoende aantallen systemen te worden verkocht. Ook is de te verwachten totale NO_x reductie van de voertuigen in hun resterende levensduur een belangrijk punt.

In Duitsland heeft men daarom ingezet op het installeren van SCR retrofit systemen in Euro 5 voertuigen. Blijkbaar wordt de potentiële NO_x reductie van Euro 4 voertuigen die van 2005 – 2009 op de markt kwamen te gering geacht en zijn de ontwikkelingskosten van SCR retrofit systemen voor Euro 4 voertuigen (met en zonder roetfilter) te hoog.

Technisch gezien is toepassing van SCR retrofit systemen mogelijk op Euro 4 en 5 voertuigen maar financieel en maatschappelijk zijn ze het meest aantrekkelijk voor Euro 5 voertuigen met DPF.

2.7 Prijsindicaties

In Table 2-1 zijn prijsindicaties opgenomen van SCR retrofit systemen die door ADAC[11] worden geschat en in Duitsland worden geleverd. Er zijn ook echter geluiden dat de SCR-retrofit systemen € 5.000,- tot € 7.000,- kosten.

Table 2-1: Prijsindicaties van SCR retrofit systemen[12]

Leverancier	Systeemnaam	Prijs SCR retrofit
		[€]
Twintec – Baumot	BNO_x	1.500 – 2.000
Dr. Pley-BOSAL	-	3.000 – 3.600
HJS	SCR	2.500
Oberland-Mangold	NeoBlue	?
Faurecia/Amminex	ASDS	1.500 - 2.000

De systemen die door VW en Mercedes zijn goedgekeurd worden door VW en Mercedes in bepaalde gevallen met een bedrag tot € 3.000,- gesubsidieerd.

2.8 Beleidsimplicaties voor wetgeving van SCR retrofit systemen

Wetgeving voor kwalitatief goede SCR retrofit systemen dient gericht te zijn op de fabrikanten en de installateurs van de systemen. Samen dragen zij zorg voor de aflevering van een goed product.
Om de werking van de SCR retrofit systemen tijdens gebruik te garanderen wordt ook bepaald gedrag van voertuiggebruikers en eigenaren verwacht. Dit wordt in paragraaf 3.6 behandeld.

SCR retrofit systemen zijn complex en de kwaliteit wordt hoofdzakelijk bepaald door de (systeem)eisen die in de wet- of regelgeving zijn opgenomen. Deze zijn in de volgende categorieën te verdelen en dienen in wet- of regelgeving te worden beschreven:

2.8.1 *Essentiële kenmerken of systeemeisen:*

Algemene systeemeisen:
In de algemene systeemeisen zullen de volgende zaken worden beschreven:

- Doel van het te monteren systeem (reductie van NO_x praktijkemissies)
- Aard van het te monteren systeem (SCR katalysator met reagens doseersysteem)

[11] https://www.adac.de/verkehr/abgas-diesel-fahrverbote/fahrverbote/hardware-nachruestungen/
[12] https://www.autobild.de/artikel/diesel-umruesten-scr-euro-5-diesel-nachruesten-2317355.html

- Interactie met overige voertuigsystemen (alle voertuigsystemen dienen ongewijzigd, continu en volledig te blijven functioneren).
- Continue werking van het SCR retrofit systeem zoals dat in de typegoedkeuring is vastgesteld dient door de fabrikant/leverancier een minimale periode te worden gegarandeerd (bijvoorbeeld 4 jaar of 120.000 km).
- Bewaking op continue werking van het SCR retrofit systeem door middel van een OBD systeem en een startblokkering of sterke vermogensreductie bij een lege reagens tank.

Emissie-eisen:
De emissieclaims van de leveranciers voor de systemen dienen te worden onderbouwd met onafhankelijke testrapporten. Dit is voor de huidige getoonde prototypes tot op heden nog niet het geval. Ook zijn deze systemen nog niet voorzien van een typegoedkeuring. Als SCR retrofit systemen een Duitse typegoedkeuring (incl. RDE) hebben ondergaan kan een bepaalde NO_x reductie worden verwacht.
Aangezien de vermindering van de NO_x emissies op de weg wordt nagestreefd zullen de emissie-eisen van voertuigen met een SCR retrofit systeem gebaseerd moeten worden op de zogenaamde Real Driving Emission (RDE) testen die op de openbare weg worden uitgevoerd.

- De absolute NO_x en NH_3 emissie-eisen in combinatie met de toe te passen testmethode en een specificatie van de brandstofkwaliteit en de omgevingstemperatuur zijn de primaire voorwaarden voor bepaling van de NO_x emissies. Bij voorkeur worden de emissies in een RDE test door een onafhankelijk testinstituut op de weg gemeten met PEMS of SEMS meetsystemen. De NO_x emissie-eis is afhankelijk van de beleidsdoelstelling. In paragraaf 5.2.2 zijn de Duitse emissie-eisen voor LD voertuigen beschreven, deze kunnen als leidraad dienen voor de Vlaamse emissie-eisen.

Ammoniak emissies kunnen worden beheerst door net als in de Duitse wetgeving de installatie van een slip katalysator (ASC) of een NH_3 emissie-eis verplicht te stellen. Hierbij heeft de NH_3 emissie-eis de voorkeur omdat deze technologie-neutraal is. In de praktijk met vrachtwagens is gebleken dat dit goed functioneert.

Levensduureisen:
De definitie van een levensduureis is noodzakelijk omdat daarmee wordt voorkomen dat systemen slechts bij afname goed werken. Ook wordt hier mee benadrukt dat de leverancier producten met een bepaalde kwaliteit dient te leveren. Voor leveranciers van retrofit systemen is de levensduureis een lastige kwestie omdat de verkoopvolumes relatief klein zijn, de systemen snel op de markt gebracht worden en elke leverancier wil leveren. Hierdoor wordt de levering van onvolkomen systemen denkbaar en moeten technische onvolkomenheden (kinderziektes) in het veld opgelost worden. Voor gebruikers van voertuigen levert dit ergernis op omdat zij met technische storingen worden geconfronteerd en afhankelijk zijn van de kennis, kunde en inzet van leveranciers.

Controle van levensduureisen:
Controle van levensduur eisen wordt normaliter gedaan door uitvoering van ISC testprogramma's. Op de noodzaak en inrichting van een ISC testprogramma wordt ingegaan in hoofdstuk 6.

Voor leveranciers van SCR-retrofit systemen zijn de kosten voor ISC-programma's relatief hoog omdat de verwachte aantallen systemen relatief laag zijn. Indien de uitvoering van deze programma's volledig wordt uitgevoerd door een onafhankelijke partij kan de kwaliteit van deze programma's worden gegarandeerd. De handhaving van levensduureisen wordt nader uitgewerkt in de volgende sectie 'Juridische aspecten'.

Eisen voor diagnosesystemen (OBD):
De algemene werking van een SCR retrofit systeem dient te worden bewaakt met behulp van een continu werkend diagnosesysteem dat eventuele storingen direct kenbaar maakt aan de berijder.

De volgende zaken dienen minimaal te worden bewaakt:
- Bewaking aanwezigheid reagens in AdBlue of ammoniak tank.
- Bewaking kwaliteit reagens.
- Bewaking goede werking NO_x sensoren.
- Detectie verminderde NO_x reductie (ten opzichte van geprogrammeerde NO_x reductie).

In de Duitse retrofit wetgeving zijn hier bepalingen voor opgenomen die als voorbeeld kunnen dienen [BMVI 2018].

Controle van SCR retrofit systemen in de Autokeuring:
Op de vraag op welke wijze SCR retrofit systemen in de dagelijkse praktijk in werkplaatsen op eenvoudige effectieve wijze worden getest en de bijbehorende afkeurcriteria is nog geen antwoord. Systeemleveranciers zouden diagnosetools kunnen leveren maar deze richten zich alleen op functionele testen.
Een eenvoudige emissietest bij stationair toerental zou meer zekerheid bieden maar deze is niet mogelijk omdat SCR systemen bij stationair toerental over het algemeen niet werken omdat de uitlaatgastemperatuur van Euro 4/5 voertuigen te laag is. Er zijn wel initiatieven waarbij testen worden ontwikkeld op eenvoudige rollenbanken met geringe motorbelasting die gericht zijn op NOx emissies. De ontwikkeling van dergelijke testen is momenteel echter nog niet voltooid.
Zolang er geen eenvoudige emissietest beschikbaar is voor controle van SCR retrofit systemen is handhaving slechts zeer beperkt mogelijk. Alleen de functionele tests kunnen dan worden uitgevoerd, deze geven echter geen uitsluitsel over de effectiviteit van het SCR retrofit systeem.
Hier bieden remote emission sensing systemen mogelijk kansen om voertuigen met inactieve of defecte SCR-retrofit systemen op te sporen. Dit dient nog wel te worden onderzocht.

Onderhoud van SCR retrofit systemen:
Het onderhoud en de controle van de goede werking van SCR retrofit systemen vereist specifieke kennis, tools en speciale trainingsprogramma's voor onderhoudstechnici. Aangezien onderhoudswerkplaatsen al bekend zijn met SCR-systemen is een aanbod van online trainingen een optie. Ook zouden leveranciers van SCR-retrofitsystemen een telefonische helpdesk kunnen faciliteren.

2.8.2 Juridische aspecten:

Op het moment dat een SCR retrofit systeem faalt of is gemanipuleerd, wordt de aansprakelijkheidsvraag van belang.

Deze kan worden opgesplitst in een aantal deelvragen die van toepassing zijn op meerdere partijen, dit zijn:

- Op welke wijze is geregistreerd dat een voertuig een SCR retrofit systeem heeft?
- Op welke wijze wordt de werking van een SCR retrofit systeem getest en wat zijn de afkeurcriteria?
- Welke partij is verantwoordelijk voor de goede werking van het systeem?
- Over welke periode is deze partij verantwoordelijk?
- Wat is de verantwoordelijkheid van de gebruiker/eigenaar van het voertuig?
- Wat is een toegestane termijn voor reparatie van een systeem?
- Op welke momenten en op welke manier kan de Vlaamse overheid handhaven?
- Welke onafhankelijke partij voert (ISC-)programma's uit en meet de werking van een SCR retrofit systeem?
- Welke sancties kunnen worden opgelegd indien voertuigen met defecte of gemanipuleerde SCR retrofitsystemen rijden?

Als een SCR-retrofit programma wordt opgezet dienen door de Vlaamse overheid keuzes te worden gemaakt over bovenstaande handhavingsvragen om daarmee de slagkracht van een dergelijk programma zeker te stellen.

2.8.3 Speciale eisen voor ammoniak als reagens:

Retrofitsystemen die gebruik maken van pure ammoniak (Amminex) vereisen een lokale ammoniakopslag en een tankinstallatie. Aangezien ammoniak een veiligheidsrisico met zich meebrengt gelden hier speciale eisen voor opslag, overslag en vullen van tanks. Ook als kleinere tanks centraal worden gevuld en vervolgens naar de gebruikers worden getransporteerd is een veiligheidsrisico aanwezig. Deze retrofit variant met pure ammoniak vereist extra aandacht ten opzichte van de variant met AdBlue. Het is niet de verwachting dat dit systeem breed uitgerold zal worden. Tot op heden wordt het toegepast in lokale voertuigvloten, deze projecten kunnen voor de Vlaamse overheid als voorbeeld dienen voor definitie van veiligheidseisen

3 Analyse van de effectiviteit van SCR retrofit

3.1 Verbeterpotentieel bij diverse typen voertuigen

Wat is het technisch verbeterpotentieel van specifieke voertuigen?
Om het verbeterpotentieel van een SCR retrofit systeem vast te stellen dient de leverancier een praktijkmeting op de weg met en zonder een SCR-retrofit systeem uit te (laten) voeren. Deze vereiste dient te worden opgenomen in de homologatievoorwaarden voor het retrofit-systeem (zie verder). Daarvoor worden eerst de NO_x praktijkemissies van het voertuig zonder (of inactief) SCR retrofit systeem gemeten. Voor veel Euro 5 personenvoertuigen is de gemiddelde NO_x praktijkemissie 600 tot 900 mg/km. Voor Euro 5 bestelwagens (categorie N1 class 3) liggen de praktijkemissies gemiddeld tussen 1421 en 1671 mg/km TNO 2016b]. Uit diverse onderzoeken blijkt dat de NO_x praktijkemissies van voertuigen van eenzelfde emissieklasse met gelijke technologie zeer sterk kunnen verschillen [TNO 2016b], [TNO 2016c], [TNO 2017], [TNO 2020]. Afhankelijk van een nationale samenstelling van de voertuigvloot kan met SCR retrofitsystemen een bepaalde NO_x reductie worden gerealiseerd. Euro 5 bestelwagens (N1 klasse 3) lijken hier een substantiële bijdrage te kunnen leveren omdat hun oorspronkelijke NO_x praktijkemissies relatief hoog zijn.

SCR retrofit voor verschillende typen eigenaren:
SCR retrofit systemen blijken tot op heden vooral te zijn toegepast op stadsbussen. Voor personen- bestelwagens is in Duitsland in 2019 een eerste SCR retrofit programma gestart.
Deze twee verschillende voertuigcategorieën (HD en LD) onderscheiden zich o.a. door het type voertuigeigenaar. De stadsbussen zijn eigendom van een publieke organisatie en moeten zeer specifiek een bijdrage leveren aan de verbetering van de lokale luchtkwaliteit. Een relatief kleine groep professionele mensen met specialistische kennis draagt zorg voor de blijvend goede werking van deze systemen op een bepaalde bussenvloot.
Particuliere voertuigeigenaren hebben een belang om met hun auto bepaalde stedelijke regio’s te mogen binnengaan en hebben dikwijls minder boodschap aan de blijvend goede werking van een retrofit systeem. Verder zijn er vele verschillende onderhoudswerkplaatsen van deze voertuigen waardoor moeilijk gegarandeerd kan worden dat ze elk beschikken over de benodigde kennis om SCR retrofit systemen goed te kunnen onderhouden.

Deze twee verschillende gebruikersgroepen vragen van een overheid dan ook verschillende beleidsmaatregelen voor een blijvende NO_x reductie van deze voertuigen.

Verbeterpotentieel bij Euro 4 en Euro 5 personen- en bestelwagens
In de eerste plaats spelen fabrikanten en leveranciers van SCR retrofitsystemen een belangrijke rol om een effectief langdurig verbeterpotentieel van de NOx emissies via zulke systemen bij Euro 4 en 5 personen- en bestelwagens te realiseren. Zij beschikken over de technische systeemkennis en de mogelijkheden voor productverbeteringen door te voeren.

Verder wordt ingeschat dat SCR retrofit systemen effectiever kunnen zijn als deze worden geïntegreerd in de voertuigen.
Dit vereist wel medewerking van de voertuigfabrikant en heeft grote gevolgen voor de homologatie van SCR retrofit systemen en productaansprakelijkheid. Voor een voertuigfabrikant is het om strategische redenen (vermindering van risico's) aantrekkelijk de verantwoordelijkheid van SCR retrofitsystemen bij de leverancier van deze systemen te leggen.

Naast de algemene systeemeisen is er aandacht nodig voor de volgende specifieke zaken voor de zekerstelling van de effectiviteit van SCR retrofit systemen in de dagelijkse praktijk:

- De praktijkemissies worden in een emissietestprogramma op de weg bij een representatieve omgevingstemperatuur gemeten. De NO_x, NH_3 en CO_2 emissies dienen de gestelde limietwaarden te respecteren.
- De goede werking van het SCR retrofit systeem dient gedurende een minimale garantietermijn (van drie jaar?) te worden gegarandeerd door de leverancier. Over het algemeen geldt dat een lange garantietermijn gepaard gaat met een kwalitatief goed product.
- De leverancier/fabrikant dient periodiek een aantal In Service Conformity tests op een gangbaar model uit te laten voeren door een onafhankelijke derde partij.
- De leverancier/fabrikant dient een on-line openbare mogelijkheid te hebben waar alle klachten en storingen van SCR retrofit systemen gemeld kunnen worden. Door verbeterprogramma's kan de kwaliteit van de systemen toenemen.
- De werking van het SCR retrofit systeem dient in de periodieke autokeuringen te worden gecontroleerd.

3.2 Beschikbare meetresultaten

De resultaten en ervaringen van publieke SCR retrofit projecten kunnen goede aanwijzingen geven om de wenselijkheid van zulke programma's te onderzoeken en hun potentieel in te schatten. Hieronder volgt een beschrijving van een aantal SCR retrofit programma's in Europa en de resultaten die ermee geboekt zijn.

3.2.1 Engeland – Londense stadsbussen- TfL:

De stad London en haar organisatie Transport for London (TfL) heeft een lange geschiedenis met retrofit systemen. Op dit moment voert zij een groot SCR retrofit programma's uit. In juni 2017 is het programma voor ombouw van 5000 Euro III, IV en V stadsbussen van start gegaan en eind 2020 wordt het afgerond. Het totale budget bedraagt 86 miljoen pond sterling. De omgebouwde bussen moeten na ombouw aan Euro VI emissie-eisen voldoen. Ook moeten de bussen zijn voorzien van een emissiemonitoringssysteem dat de emissieniveaus permanent bewaakt en een minimale gemiddelde NO_x conversie van 80% garandeert. De meetdata wordt in het voertuig opgeslagen en via telemetrie doorgegeven aan de operator [LowCVP 2019]. Door de volgende vijf systeemleveranciers worden SCR systemen gemonteerd; Amminex, Baumot Twintec, Eminox, HJS en Proventia.
Het toepassen van monitoringssystemen met actieve bewaking van de emissieniveaus is een krachtig middel om de gestelde doelen te realiseren.

Navraag bij Transport for London leverde begin April 2020 de volgende informatie op:

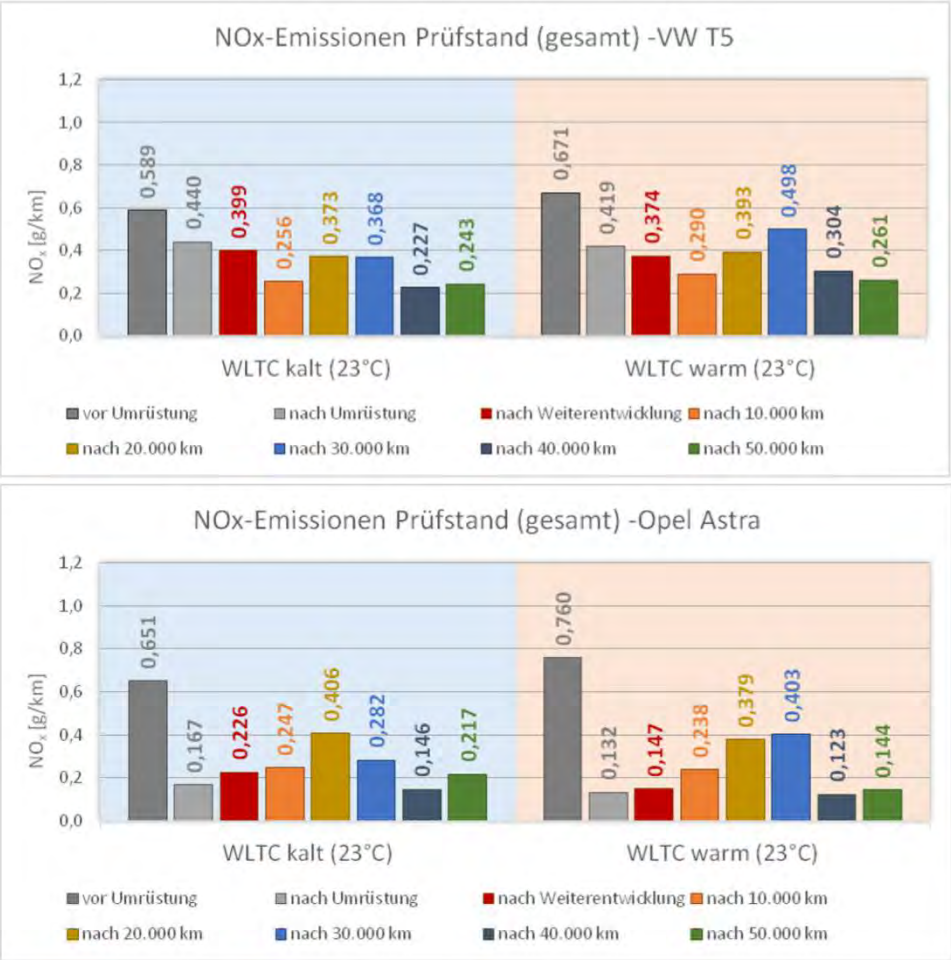
- De kwaliteit van de SCR retrofit systemen wordt o.a. bepaald door de inbouwkwaliteit. Bij ombouw moeten altijd specifieke onderdelen worden gefabriceerd en passend gemaakt in de bestaande bussen. Op dit onderdeel bleek tussen de verschillende systeemleveranciers groot verschil in kwaliteit dat tot uiting kwam in de effectieve inzetbaarheid in de dagelijkse dienstregeling (gemiddeld rijden de bussen 18 uur per etmaal en leggen dan 200 km af).
- Niet alle bestaande bussen kunnen op bepaalde buslijnen voldoen aan de Euro VI NO_x eis omdat de temperaturen in de SCR katalysatoren te laag zijn. Dit treedt vooral op bij de motoren met relatief grote slagvolumes. De NO_x reductie ligt dan in de buurt van 50% in plaats van de gewenste 90%.
- Imperial college heeft de monitoringsdata ven een selectie van bussen geanalyseerd en gerapporteerd. Deze zullen op de Transport Air Pollution conferentie van september 2020 worden gepresenteerd.

In een eerder uitgevoerd retrofit programma zijn Euro III bussen voorzien van een SCRT systeem [Carslaw 2015] dat in de Londense praktijk leidde tot een NO_x reductie van 45%.

3.2.2 Duitsland ADAC

ADAC Württemberg e.V. heeft in 2017/2018 vier Euro 5 voertuigen uitgerust met een SCR-retrofit systeem van de volgende leveranciers; Twintec-Baumot, Dr. Pley-BOSAL, HJS en claimt ten minste 50-70% NOx reductie [ADAC 2018], [ADAC 2019]. Van de resultaten van drie voertuigen is een uitgebreid rapport gepubliceerd met emissietesten die periodiek over een periode van 50.000 km zijn uitgevoerd.

Gedurende de duurtesten van 50.000 km bleken de systemen echter meerdere technische storingen te vertonen en ADAC meldt dat de betrouwbaarheid van de prototypen SCR-retrofit systemen verbeterd moet worden. Ook bleken de NO_x reducties in de monitoringstesten die over een periode van 50,000 km zijn uitgevoerd niet stabiel (zie Figuur 11) .

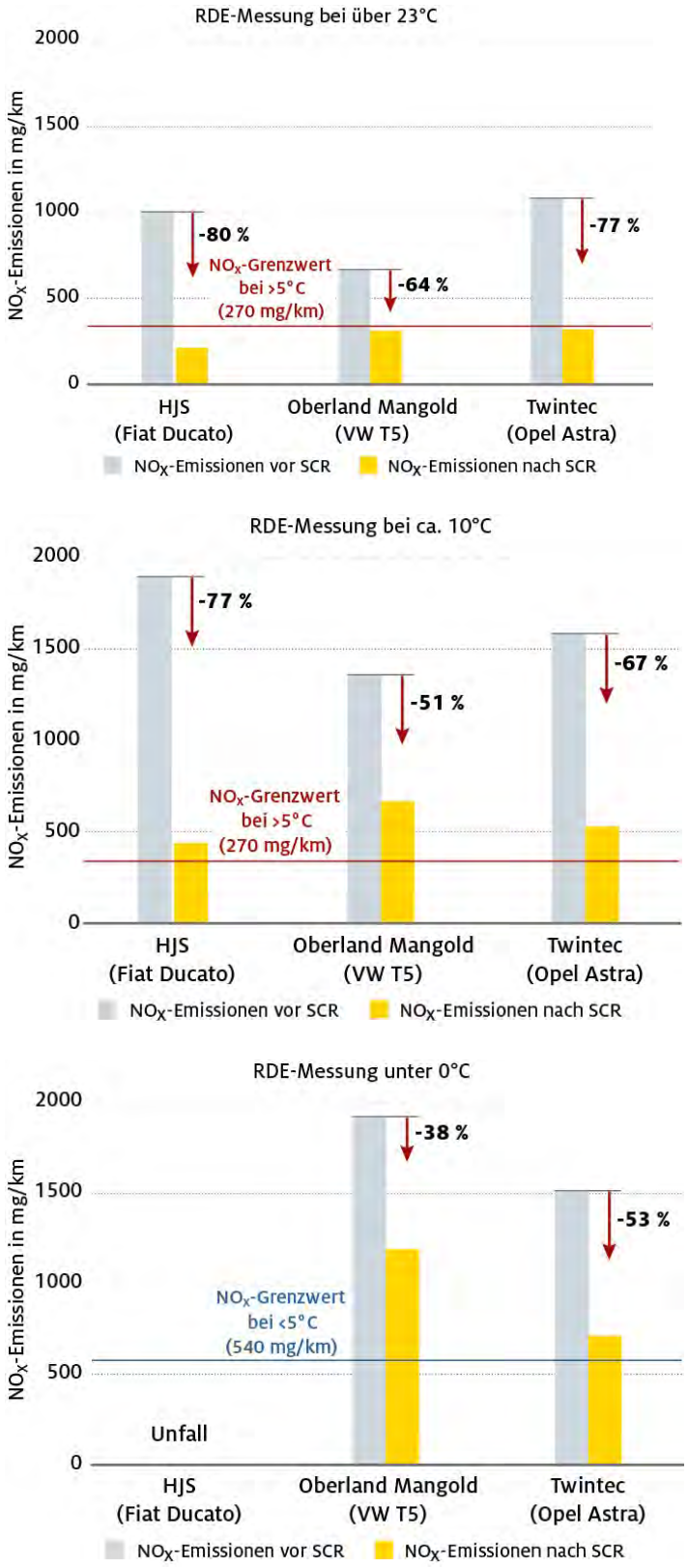


Figuur 11: Testresultaten van WLTC monitoring testen van twee verschillende voertuigen met variërende NOx emissies (bron: ADAC).

De systemen bleken aan het einde van het project, nadat zij waren gerepareerd, nog goed te kunnen functioneren. De oorspronkelijke reductie van de NO_x emissies was onveranderd.

NO_x emissies afhankelijk van omgevingstemperatuur:
In RDE testen met verschillende buitentemperaturen (23, 10 en <0 degr. C) bleek de NO_x emissie van de oorspronkelijke voertuigen tot wel een factor 2.8 kunnen toenemen (van 676 tot 1922 mg/km), zie ook Figuur 12. Met de SCR-retrofit systemen zijn de volgende NO_x reducties in RDE testen gemeten:

@ 23 degr C	64 – 80 %	resultaat: 209 – 247 mg/km
@ 10 degr C	51 – 77%	resultaat: 439 - 669 mg/km
@ < 0 degr C	38 – 53%	resultaat: 712 – 1192 mg/km

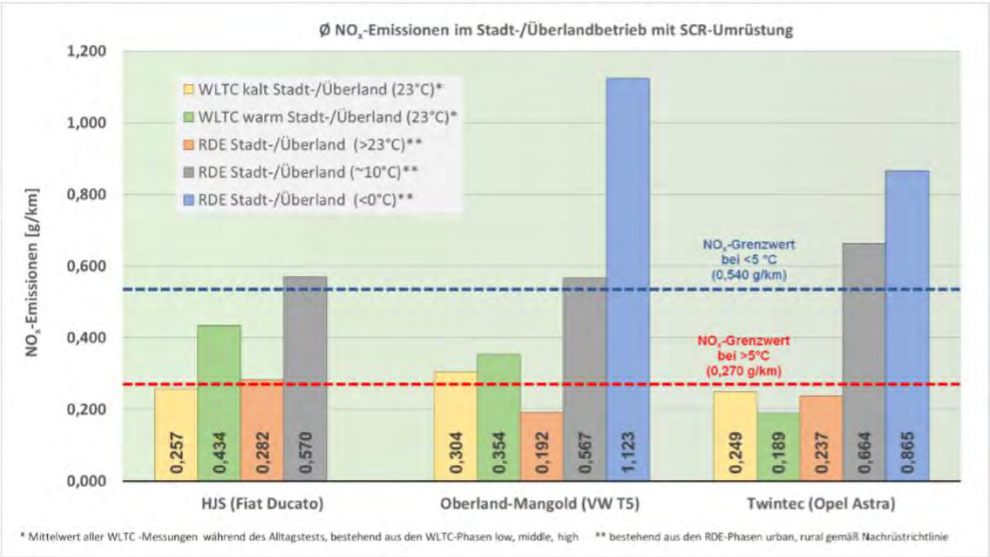


Figuur 12: Gemeten NO_x reducties met drie typen SCR retrofit systemen op drie verschillende Euro 5 dieselvoertuigen bij verschillende omgevingstemperaturen (bron ADAC).

Uit de resultaten van Figuur 13 die de NO_x emissies van de drie geteste voertuigen weergeeft bij stedelijke en buitenstedelijke snelheden tot 90 km/h (deelresultaten van WLTC en RDE testen) blijkt de invloed van de omgevingstemperatuur op de NO_x emissies.

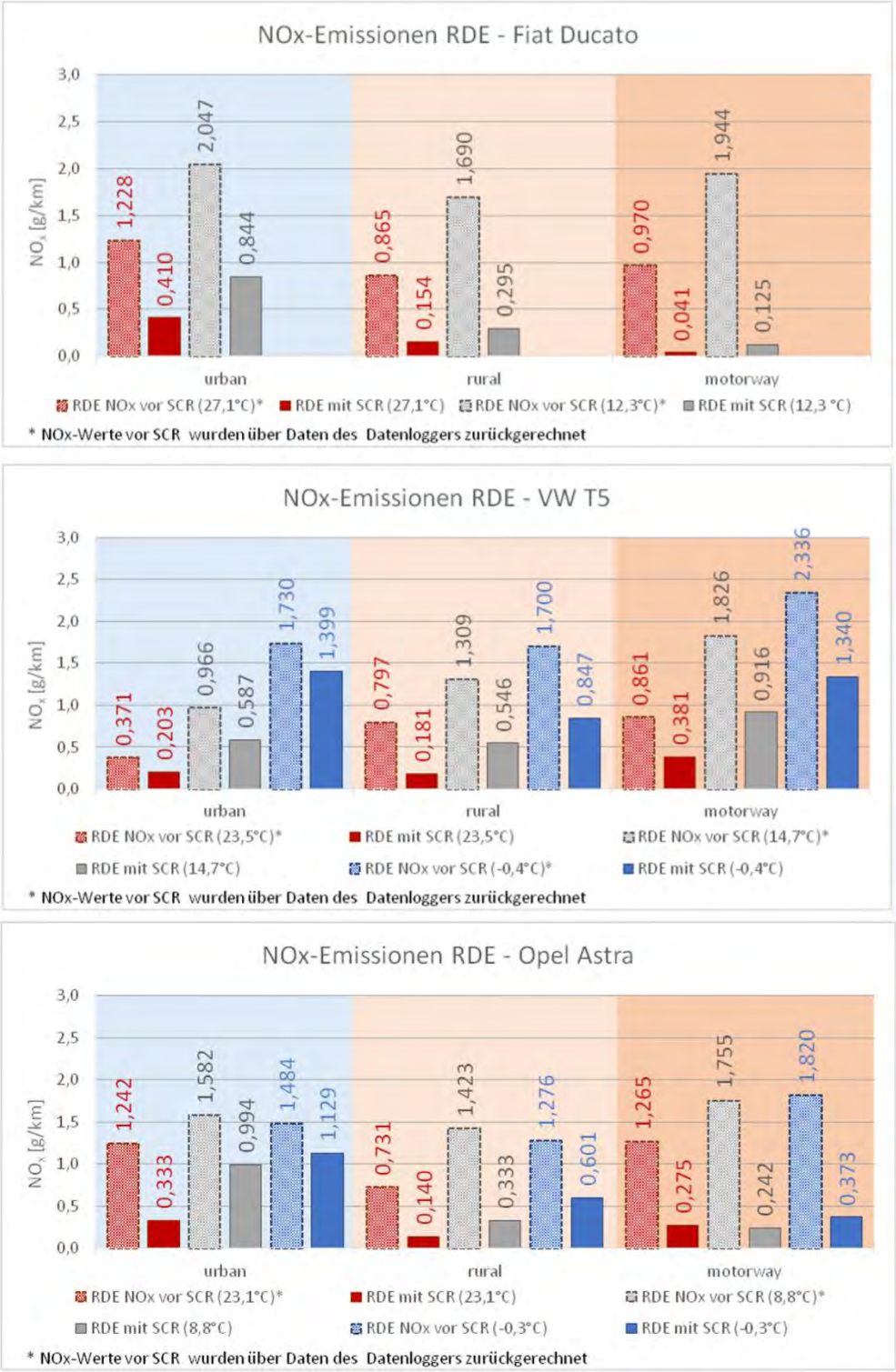
Een verlaging van de omgevingstemperatuur van 23 naar 10 ºC leidt bij de drie geteste voertuigen tot een verhoging van de NO_x emissies met factor 2,0 tot 3,0. De absolute emissieniveaus zijn dan 567 tot 664 mg/km.

Een verlaging van de omgevingstemperatuur van 23 naar minder dan 0 ºC leidt bij de twee geteste voertuigen tot een verhoging van de NO_x emissies met factor 3,6 en 5,8. De absolute emissieniveaus zijn dan 865 en 1123 mg/km.



Figuur 13: NOx emissies in WLTC fasen (low+medium+high) en RDE fasen (urban+rural) met drie typen SCR retrofit systemen op drie verschillende Euro 5 dieselvoertuigen bij verschillende omgevingstemperaturen (bron ADAC).

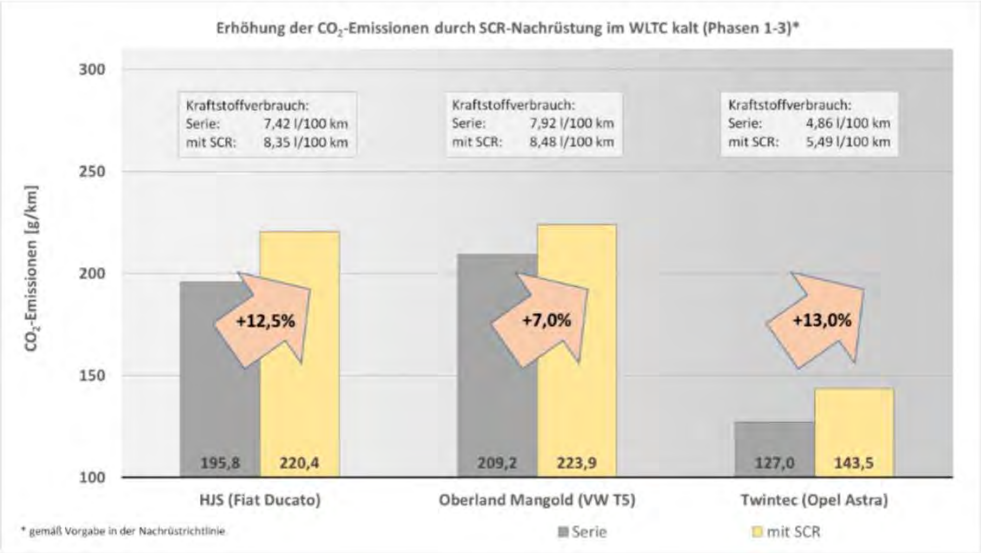
In stadsverkeer blijkt de NO_x emissie bij een daling van de omgevingstemperatuur van 23 naar < 0 ºC met een factor 4 tot 7 te stijgen, zie Figuur 14. En bij een daling van de omgevingstemperatuur van 23 naar 10 ºC stijgt de NO_x emissie met een factor 2 tot 3.



Figuur 14: NOx emissies in RDE testen bij verschillende omgevingstemperaturen van drie verschillende Euro 5 dieselvoertuigen die werden uitgerust met een SCR retrofitsysteem (bron: ADAC).

NH_3 emissies:
Twee voertuigen waren naast de SCR katalysator ook uitgerust met een NH_3 slipcat die de eventuele NH_3 emissie oxideert. Voor beide voertuigen was de gemeten gemiddelde NH_3 concentratie minder dan 2 ppm,
Het derde voertuig was niet uitgerust met een slipcat en in een WLTP test was de gemeten gemiddelde NH_3 concentratie 0.5 ppm. Daarentegen werden op een helling en op de snelweg gemiddelde ammoniakconcentraties van 6.7 en 22.9 ppm gemeten.

Toename CO_2 emissies t.g.v. SCR retrofit:
In RDE testen is door montage van een SCR retrofitsysteem de gemeten toename van de CO_2 emissies 7 – 13%. Dit wordt hoofdzakelijk veroorzaakt door maatregelen die de SCR katalysator na een koude start sneller op de gewenste bedrijfstemperatuur brengen. Op de snelweg is de gemeten toename van de CO_2 emissies 2 tot 4 %.



Figuur 15: Toename van CO_2 emissies in WLTC testen (fasen low + medium + high) van drie Euro 5 dieselvoertuigen t.g.v. de installatie van een SCR retrofit systeem.

Conclusies ADAC SCR retrofit testprogramma:
De kwaliteit van de drie geteste prototypen SCR retrofit systemen is nog ruim onvoldoende voor storingsvrij gebruik. Hierdoor zal de beoogde reductie van NO_x emissies in de praktijk niet gerealiseerd kunnen worden. De gemeten NO_x reducties van de systemen is in de zomer het hoogst (64 tot 80%) en in de winter het laagst (38 tot 53%). Daarbij nemen de CO_2 emissies gemiddeld 7 tot 13% toe. NH_3 emissies kunnen dus worden voorkomen door toepassing van zogenaamde slipcats die na de SCR katalysator worden gemonteerd.

Van Euro 4 personen- en bestelwagens zijn geen testresultaten met SCR retrofit systemen bekend.

3.2.3 Europese Commissie DG-JRC

DG - JRC van de Europese Commissie heeft twee voertuigen met het Faurecia-Amminex SCR retrofit systeem (SCR + ASC) dat gebruik maakt van pure ammoniak als reagens getest.

Met een Euro 5 voertuig (Renault Megane) [EC JRC 2018] bleek de NO_x emissie in RDE testen met een omgevingstemperatuur van 6 tot 10 ºC te dalen met 85%, de absolute gemeten NO_x emissies waren in stadsverkeer minder dan 300 mg/km en op de snelweg ruim beneden 100 mg/km. Tegelijkertijd nam de CO_2 emissie miniem toe. De gemeten ammoniak emissie was meestal minder dan 3 mg/km maar in sommige testcycli en bij hogere snelheden op de snelweg 10-30 mg/km.

Met een Euro 6b dieselvoertuig (Renault Megane) dat al voorzien was van een LNT is een soortgelijk experiment uitgevoerd als het bovengenoemde Euro 5 voertuig [EC JRC 2019]. De gemeten NO_x emissies op de weg (omgevingstemperatuur 0 tot 10 ºC) met inactief SCR retrofit systeem bedroegen 465 tot 2840 mg/km. Toepassing van dit retrofit systeem resulteerde in absolute emissies na de SCR van 200 – 240 mg/km met een gemiddelde gerealiseerde NO_x reductie van ongeveer 80%. Er bleek geen sprake was van meetbare ammoniak emissies. Wel werd in testcycli met warme start een N_2O emissie van 18 mg/km gemeten.

In de twee projecten zijn door DG-JRC met de Euro 5 en Euro 6 voertuigen die voorzien waren van een SCR retrofit systeem met ammonia als reagens op de weg NO_x reducties van 85 en 80% gemeten.

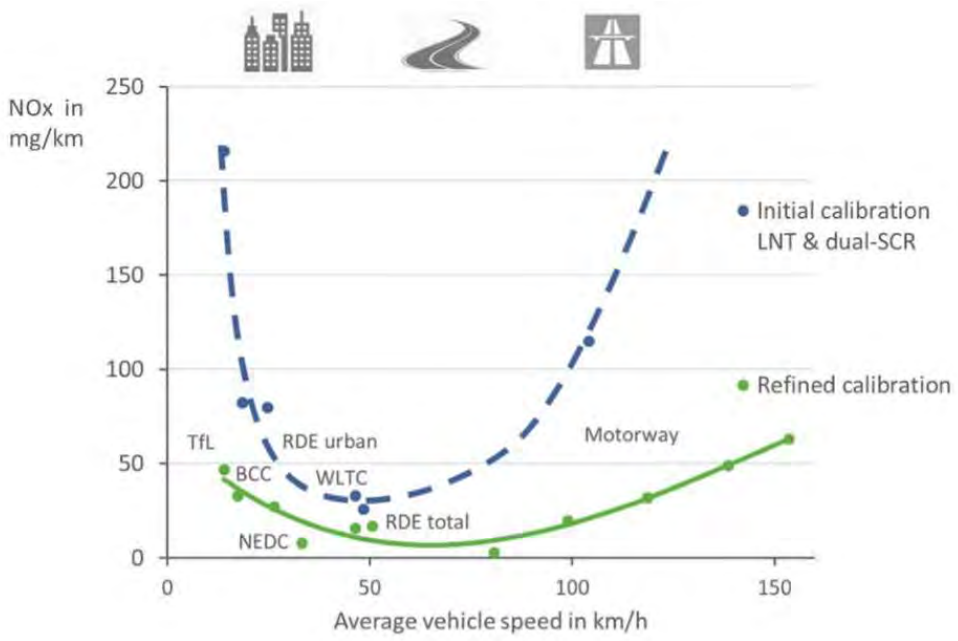
3.2.4 ZDF

ZDF heeft de installatie van een SCR retrofit installatie op een Euro 5 BMW 3-serie in het TV-programma Frontal 21 in beeld[13] gebracht. Dit systeem wordt al door BMW sinds 2008 op deze voertuigtypen voor de Amerikaanse markt toegepast. In de niet gespecificeerde uitgevoerde test op de weg met niet gespecificeerde omgevingstemperaturen daalde de NOx emissie t.g.v. de SCR retrofit van 846 naar 219 mg/km.

3.2.5 AECC demonstrator

AECC heeft een Euro 6b diesel voertuig met 48V mild-hybride systeem voorzien van nieuwe uitlaatgasnabehandeling [AECC 2019] die bestaat uit de volgende hoofdcomponenten: LNT + ccSCR + SDPF + ufSCR + ASC. Mede door het selectief inschakelen van het mild-hybride systeem konden onder alle omstandigheden in dit testprogramma de gewenste uitlaatgastemperaturen worden gerealiseerd en waren na systeemoptimalisaties de NO_x emissies over het snelheidsinterval 10 tot 160 km/h 5 tot 60 mg/km, zie Figuur 16. Gezien de technische complexiteit van het totale systeem is dit redelijkerwijs niet als retrofit te beschouwen maar meer als een technologie demonstratie die aangeeft dat nabehandelingssystemen zeer veel potentie hebben als de juiste bedrijfscondities gerealiseerd worden.

[13] https://www.zdf.de/politik/frontal-21/nachgehakt-bmw-hardware-nachruestung-100.html



Figuur 16: NO_x emissies van een AECC Euro 6 demonstratievoertuig met de volgende uitlaatgasnabehandeling: : LNT + ccSCR + SDPF + ufSCR + ASC.

3.3 Analyse beschikbare meetresultaten

Duitsland ADAC:
De drie geteste SCR retrofit systemen in het ADAC project blijken nog niet doorontwikkeld. Uit de verslaglegging van ADAC kan worden opgemaakt dat de systemen een ‘demonstrator’ status hebben. ADAC meldt diverse technische storingen. Als de storingen waren verholpen bleken de systemen goed te functioneren. De meest gunstige resultaten zijn gemeten onder zomerse condities (omgevingstemperatuur 23 ºC), de NO_x reductie is dan 64 tot 80% en liggen de emissies van alle drie testvoertuigen met (209 tot 247 mg/km) beneden de limietwaarde van 270 mg/km.
Bij omgevingstemperaturen van 10 ºC zijn NO_x reducties van 51-77% gemeten en liggen de emissies met 439 – 669 mg/km ruim boven de limietwaarde van 270 mg/km.
Bij omgevingstemperaturen van <0 ºC zijn NO_x reducties van 38-53% gemeten en liggen de emissies (712 en 1192 mg/km) ruim boven de limietwaarde van 540 mg/km.

Uit de resultaten van ADAC blijkt dat de geteste Euro 5 voertuigen met SCR retrofit systemen nog niet voldoen aan de door BMVI gestelde NO_x emissie-eis van 270 mg/km. Bij een omgevingstemperatuur van 10 ºC stoten de voertuigen 63 tot 148% te veel NO_x uit (CF = 1,6 tot 2,5). Hieruit blijkt ook dat deze voertuigen de Euro 6d-Temp NO_x limietwaarden van 168 tot 262,5 mg/km in de praktijk lang niet halen.

JRC:
De door JRC geteste twee voertuigen (Euro 5 en Euro 6) met het Faurecia-Amminex systeem hebben een demonstrator status. De systemen zijn in een beperkt aantal testen op de rollenbank en op de weg getest. Er zijn geen duurzaamheidstesten uitgevoerd.

De gemeten NO_x reducties van 80 tot 85% zijn gunstig en liggen gemiddeld met 150 tot 200 mg/km rond de Euro 6d-Temp limietwaarde van 168 mg/km.
Dit project geeft helaas geen informatie over de duurzaamheid van het SCR retrofitsysteem. Verder is het wisselen van de ammoniak patronen in de dagelijkse praktijk voor een individuele voertuiggebruiker op een willekeurige plaats in een land nog niet geregeld. Hiervoor is een speciale infrastructuur nodig in verband met ammoniakopslag en de bijbehorende veiligheidsrisico's. Aan deze infrastructuur worden dan ook hogere eisen gesteld dan aan de opslag van AdBlue.

London:
De emissieresultaten van de Londense stadsbussen worden op de TAP-conferentie van maart 2021 gepresenteerd.

3.4 Verwachte milieueffecten van SCR retrofit systemen

SCR retrofit systemen op wegvoertuigen kunnen leiden tot de volgende effecten:
- Vermindering van de NO_x emissies.
- Toename CO_2 emissies.
- Toename ongereglementeerde emissies (NH_3 en N_2O), zie paragraaf 3.2

Op basis van de ADAC studie die gedetailleerde meetdata bij verschillende omgevingscondities rapporteert wordt de volgende inschatting gemaakt.

De installatie van SCR retrofitsystemen op Euro 5 voertuigen kan in principe resulteren tot reductie van NO_x emissies. Deze reducties zijn afhankelijk van een aantal factoren die in deze sectie worden beschreven. De belangrijkste factoren zijn de kwaliteit van het SCR retrofit systeem, de omgevingstemperatuur en het gebruiksprofiel van het voertuig.

In Table 3-1 is een overzicht gegeven van resultaten van het ADAC project waarin drie Euro 5 dieselvoertuigen met SCR retrofit zijn gemeten in RDE testen bij verschillende omgevingstemperaturen. De volgende zaken vallen hier in op:
De stijging van de NO_x emissies is tot wel een factor 4,5 bij dalende omgevingstemperaturen van 23 naar 0 ºC en de NO_x reductie in het SCR retrofit systeem daalt dan van 64-80% naar 38-53%. Voor de geteste voertuigen met SCR retrofit systeem zijn de NO_x emissies in RDE testen bij een omgevingstemperatuur van 23 ºC 209 – 247 mg/km en bij een omgevingstemperatuur van 0 ºC 712 - 1192 mg/km

Table 3-1: Overzicht gemeten NOx reducties en absolute emissies RDE testen (stad/buitenweg/snelweg) van drie Euro 5 dieselvoertuigen met SCR retrofit

Omgevingstemperatuur	**NO_x Zonder SCR**	**NO_x reductie**	**NO_x Met SCR**
[ºC]	**[mg/km]**	**[%]**	**[mg/km]**
23	676 - 1029	64 - 80	209 – 247
10	1367 - 1894	51 – 77	439 - 669
< 0	1527 - 1922	38 - 53	712 - 1192

In Table 3-2 is een overzicht gegeven van resultaten van het ADAC project waarin die Euro 5 dieselvoertuigen met SCR retrofit zijn gemeten in testen in stedelijk en

buitenstedelijk verkeer met snelheden tot 90 km/h bij verschillende omgevingstemperaturen.

We zien ook hier een stijging van de NO_x emissies tot wel een factor 4,5 bij dalende omgevingstemperaturen van 23 naar 0 ºC en een dalende NO_x reductie in het SCR retrofit systeem van 45-73% naar 19-24%. Voor de geteste voertuigen met SCR retrofit systeem zijn de NO_x emissies in testen in stedelijk en buitenstedelijk verkeer met snelheden tot 90 km/h bij een omgevingstemperatuur van 23 ºC 192 - 237 mg/km en bij 0 ºC 1129 - 1399 mg/km.

Table 3-2: Overzicht gemeten NOx reducties en absolute emissies in stadsverkeer en op de buitenweg van drie Euro 5 dieselvoertuigen met SCR retrofit

Omgevingstemperatuur	**NO_x Zonder SCR**	**NO_x reductie**	**NO_x Met SCR**
[ºC]	[mg/km]	[%]	[mg/km]
23	371 - 1242	45 - 73	192 - 237
10	966 - 2047	37 - 57	587 - 994
< 0	1484 - 1730	19 - 24	1129 - 1399

Allereerst valt op dat de geteste Euro 5 voertuigen bij de lagere omgevingstemperaturen substantieel meer NO_x uitstoten dan bij een omgevingstemperatuur van 23 ºC. Dit temperatuurs-afhankelijke emissiegedrag is gebruikelijk voor Euro 5 dieselvoertuigen. Ook de NO_x reducties in de geteste SCR retrofit katalysatoren bij snelheden lager dan 90 km/h zijn zeer afhankelijk van de buitentemperatuur en nemen sterk af als de omgevingstemperatuur daalt.

Op basis van deze resultaten blijkt dat de relatieve milieuwinst in stadsverkeer en buitenweg lager zijn dan de milieuwinst op de snelweg. Ook is de milieuwinst in de zomer hoger dan in de winter. Deze effecten zijn direct het gevolg van de optredende temperaturen in SCR katalysatoren.

Verder wordt ingeschat dat de totale gemiddelde milieuwinst van de Euro 5 dieselvoertuigen met SCR retrofit systemen lager zal zijn dan bovengenoemde percentages omdat een bepaald deel van de SCR retrofit systemen defect zal zijn of een storing hebben. In aanvang zullen SCR retrofit systemen kinderziektes hebben en ook meer defecten omdat de ontwikkeling van nieuwe systemen nooit volmaakt is. Vooralsnog wordt hier een percentage van 25% voor aangenomen.

Op basis van de testresultaten van ADAC wordt ingeschat dat de gemiddelde NO_x emissie van Euro 5 voertuigen met SCR retrofit systemen tussen 450 - 1000 mg/km liggen. Deze zijn een factor 2 tot 4 hoger dan de Euro 6d-Temp limietwaarden.
Er is echter sprake van een grote spreiding over de seizoenen. Bij temperaturen rond 0 ºC zijn de NO_x emissies van voertuigen met SCR retrofit systemen 5 tot 6 keer hoger dan bij een omgevingstemperatuur van 23 ºC. Gezien de beperkte onderliggende testresultaten wordt aanbevolen meer voertuigen met SCR retrofit systemen te testen en het verbeterpotentieel met meer data te onderbouwen. De op dit moment lopende studie van de Europese Commissie (CLOVE – SR9) waarin SCR retrofit voertuigen worden getest zal hoogstwaarschijnlijk de gewenste meetdata bevatten. Die studie wordt eind 2021 opgeleverd.

Naar aanleiding van bovengenoemde zaken is de verwachte milieuwinst van SCR retrofitsystemen bepaald en in Table 3-3 weergegeven onder de volgende aannames en randvoorwaarden:

- SCR retrofit systemen in de typegoedkeuring op de weg worden getest in RDE testen of andere representatieve praktijktesten.
- Zogenaamde In-Service-Conformity programma's door leveranciers/fabrikanten van SCR retrofitsystemen worden uitgevoerd.
- Voertuigen per seizoen een gelijk aantal kilometers rijden.
- De volledige snelheidsverdeling in de praktijk overeenkomt met het RDE snelheidsprofiel.
- Niet gevulde reagens tanks resulteren in een startblokkering.
- 25% van de SCR retrofitsysteem niet (volledig) goed functioneren.
- Geen SCR retrofitsystemen zijn gemanipuleerd (buiten werking gesteld).
- Niet (goed) werkende SCR retrofitsystemen reden zijn voor afkeur in de Autokeuring.

Table 3-3: Verwachte NOx milieuwinst van SCR retrofit systemen bij stedelijk en buitenstedelijk verkeer met snelheden tot 90 km/h en bij het volledige snelheidsbereik.

Omgevings-temperatuur	**Snelheden Tot 90 km/h**	**Volledig snelheidsbereik**
[ºC]	[%]	[%]
0	15 - 20	25 - 40
10	30 - 40	40 - 60
20 - 30	35 - 55	50 - 60

Als de genoemde aannames en randvoorwaarden niet worden zeker gesteld zullen de genoemde percentages voor de milieuwinsten lager uitvallen.

Voor wat betreft de verhoging van de CO_2 en potentiële NH_3-emissies verwijzen we naar de vaststellingen uit de ADAC studie zoals beschreven in deel 3.2.2.

3.5 Randvoorwaarden voor duurzaam gebruik

De kwaliteit van retrofit systemen kan verschillen. De eisen voor homologatie van SCR retrofit systemen is een cruciaal onderdeel om duurzaam gebruik van SCR retrofit systemen te realiseren. De Duitse wetgeving [BMVI 2018] is een goed startpunt.

Met name dienen de volgende zaken te zijn beschreven in de homologatie-eisen:

- Startblokkering in geval van een lege reagens tank en/of slechte kwaliteit van het reagens. In de Duitse wetgeving is de startblokkering geen harde vereiste, er kan ook worden volstaan met een substantiële verlaging van het beschikbare vermogen. Wel zijn visuele en akoestische signalen verplicht. Deze kunnen echter relatief gemakkelijk gemanipuleerd worden waardoor het rijden zonder reagens mogelijk wordt.
- Waarschuwingssysteem voor bestuurder als reagens tank leeg raakt.
- Waarschuwingssysteem als SCR retrofit systeem een storing heeft.
- Emissietesten op de weg bij representatieve buitentemperaturen (bijv. 10 ºC).

- Specifieke emissie-eisen voor stadsverkeer bij een realistische omgevingstemperatuur (bijv. 10 ºC) tot een snelheid van 60 km/h.
- Het definiëren van een ammoniak emissie-eis (net als in HD emissiewetgeving). De verplichte aanwezigheid van een ASC ter voorkoming van ammoniak emissies vereist een gedetailleerde specificatie (zie Duitse wetgeving), dit is o.a. vanuit technisch oogpunt minder neutraal.

Door fabrikanten van SCR retrofit systemen productaansprakelijkheid te geven gedurende een bepaalde periode zal de kwaliteit van de systemen in het veld toenemen. Dit kan worden gerealiseerd in zogenaamde In Service Conformity of Monitoringsprogramma's die door de leverancier van de systemen moet worden gefinancierd.

Voor voertuigen met SCR retrofitsysteem is ook wetgeving nodig om duurzaam gebruik zeker te stellen tijdens dagelijks gebruik.

Het gaat dan om de volgende zaken:

- De wettelijke verplichting voldoende reagens aan boord te hebben voor een werkend SCR systeem.
- De wettelijke verplichting opnemen voor controle van SCR retrofit systemen in de Autokeuring.
- De wettelijke verplichting voor reparatie van falende SCR retrofit systemen in wetgeving opnemen.

Verder is het van belang SCR retrofit systemen te controleren op goede werking bij regulier voertuigonderhoud. Dit vraagt wel specifieke training voor monteurs. Ook kan in dit kader een technische helpdesk, die on-line te benaderen is, een nuttig instrument zijn.

3.6 Beleidsimplicaties ten behoeve van de effectiviteit van SCR retrofit systemen

Hoe worden voertuigen met SCR-retrofit geregistreerd?
Voor alle voertuigen die voorzien zijn van een SCR-retrofit wordt aanbevolen dit in de nationale voertuigregistratie op te nemen. Dit maakt effectieve controle in LEZ's en eventuele terugroepacties mogelijk.

Hoe worden lage NO_x emissies gegarandeerd bij lagere omgevingstemperaturen (0 – 10 ºC in stadsverkeer?
De NO_x emissies in stadsverkeer kunnen worden gegarandeerd door een specifieke eis voor NO_x emissies in stadsverkeer (0-60 km/h) op te nemen waarbij ook de omgevingstemperatuur dient te worden gespecificeerd. Dit is relevant omdat de tot nu toe bekende gepubliceerde testresultaten van SCR retrofit systemen onder stadscondities relatief lage conversiegraden hebben. Als alleen een gemiddelde emissie-eis voor een RDE-test wordt gespecificeerd bestaat de kans dat de NO_x reductie van een SCR-retrofit systeem in stadsverkeer gering is en dat deze op de buitenweg en snelweg relatief hoog is.

Hoe worden SCR retrofit systemen ingebouwd en defecte systemen gerepareerd en hoe worden de vele technici getraind om SCR retrofit systemen te onderhouden/repareren?
De inbouw van SCR retrofit systemen is specialistisch werk en dient door gekwalificeerd personeel te worden uitgevoerd.
Systeemleveranciers kennen hun SCR-retrofit systemen en zijn de aangewezen partijen om trainingen te organiseren. Ook hier geldt dat inschakeling van onafhankelijke en tevens gecertificeerde trainingsorganisaties voordelen bieden omdat zij bekend zijn met het organiseren en geven van trainingen.

Hoe kunnen SCR retrofit systemen op duurzame werking periodiek worden gecontroleerd?
Door uitvoering van In-Service-Conformity programma's wordt de kwaliteit van SCR-retrofit systemen bewaakt. In geval van technische onvolkomenheden kunnen door de leveranciers systeem updates worden uitgerold. De uitvoering van ISC-programma's dient door een onafhankelijke partij te worden uitgevoerd. Verder bieden de jaarlijkse autokeuringen mogelijkheden om alle voertuigen die voorzien zijn van een SCR-retrofit te controleren. Een effectieve emissietest van goede kwaliteit is tot op heden niet beschikbaar.

Hoe worden voertuigeigenaren gestimuleerd/gedwongen blijvend AdBlue of ammoniak te tanken?
De huidige productievoertuigen met een SCR-systeem zijn voorzien van een startblokkering die (na korte tijd) actief wordt als de AdBlue tank leeg is. Dit systeem is ingebouwd ter zekerstelling van een juist gebruik. Ook voor SCR-retrofit systemen is een startblokkering nodig of een zeer sterke vermogensreductie om een juist gebruik zeker te stellen. Om een juist gebruik van SCR-retrofit systemen zeker te stellen dient in de wet- of regelgeving de startblokkering of vermogensreductie als verplichte systeemeis te worden opgenomen.

Hoe worden NH_3 emissies voorkomen?
Door net als bij vrachtwagens een ammoniakeis te stellen (bijvoorbeeld minder dan gemiddeld 10 ppm in een RDE-test) kunnen deze emissies zeker worden gesteld. Deze ammoniakeis is technologieneutraal en verdient de voorkeur. In Duitsland is de montage van een ASC verplicht en geldt geen ammoniakeis; Dit biedt geen garantie voor lage ammoniak emissies.

4 Alternatieven voor reductie van NO_x emissies

4.1 Software updates Euro 5 en Euro 6 dieselvoertuigen

Dieselgate is gestoeld op relatief hoge NO_x praktijkemissies van Euro 5 en 6 dieselvoertuigen ten opzichte van hun emissies in de typegoedkeuringstest. Door diverse partijen zijn testresultaten van software-updates, die door automobielfabrikanten zijn aangeleverd, gepubliceerd:

KBA:
Als reactie op Dieselgate heeft het Kraftfahrt-Bundesambt in Duitsland ter verbetering van de NO_x praktijkemissies diverse programma's gestart.
De effectiviteit van verplichte en vrijwillige software updates van Euro 5 en Euro 6 dieselvoertuigen in NEDC/WLTC/RDE testen zijn onderzocht [KBA 2020]. In dit onderzoek zijn geen resultaten gerapporteerd van testen bij snelheden hoger dan 120 km/h. De software-updates zijn toegepast op regelingen van EGR-systemen, LNT en SCR nabehandelingssystemen.

KBA rapporteert een gemiddelde NO_x reductie voor 23 Euro 5 en Euro 6 voertuigentypen met verplichte software update van 41% (van 643 naar 381 mg/km). Voor de 19 Euro 5 en Euro 6 voertuigen met de vrijwillige software updates is de gemiddelde gerapporteerde NO_x reductie 59% (van 718 naar 297 mg/km).
De KBA resultaten van software-updates tonen een grote spreiding, Voor sommige voertuigen is het effect van een software-update gering, voor andere voertuigen is het effect zeer groot.

ZDF:
Een verificatie van een software-update van een Mercedes C220 Euro 5 is in beeld gebracht door ZDF[14]. In de niet gespecificeerde uitgevoerde stadsrit bij een omgevingstemperatuur van 12 ºC steeg de NO_x emissie t.g.v. de software-update van 715 naar 792 mg/km. Tijdens de RDE-tests door KBA op hetzelfde type voertuig bij een omgevingstemperaturen van 19 en 24 ºC vond een reductie van 38% plaats: de NO_x emissie daalde toen van 311 naar 192 mg/km.
Door de verschillende omgevingstemperaturen in de testen van KBA en ZDF zijn deze resultaten niet vergelijkbaar en kunnen geen conclusies over de effecten van de software-update worden getrokken. Beide projecten zijn wel een voorbeeld van de diversiteit aan emissies die een enkel voertuigtype kan hebben.

TNO:
TNO heeft software updates van een VW Polo Euro 5b, Jeep Grand Cherokee Euro 5b en een Suzuki Vitara Euro 6b onderzocht.
De VW Polo Euro 5b [TNO 2019a] is een aantal jaren gemonitord en de software update heeft geen significant verschil opgeleverd. Met beide softwareversies was de conformiteitsfactor ongeveer 3,5.
De Jeep Grand Cherokee [TNO 2019b] is in een emissie-onderzoek in opdracht van de RDW onderzocht. De software update (aanpassing van EGR-regeling) resulteerde in RDE testen tot een verlaging van de conformiteitsfactor van 10 naar 4; De NO_x emissies daalden van 1807-2170 naar 599-774 mg/km.

[14] https://www.zdf.de/politik/frontal-21/dieselabgase-software-update-100.html

De Suzuki Vitara Euro 6b [TNO 2019c] is in een emissie-onderzoek in opdracht van de RDW onderzocht. De service update resulteerde in RDE testen niet tot een significante verandering van de conformiteitsfactor, deze bleef 5 tot 9. De NO_x emissies lagen bij verschillende omgevingstemperaturen tussen 400 en 700 mg/km.

4.1.1 Toepassingsgebied

Software updates zijn van toepassing op alle voertuigen die onder een bepaalde typegoedkeuring zijn geleverd.

4.1.2 Effectiviteit

De verschillende onderzoeken van de software-updates van Euro 5 en Euro 6 diesel personenwagens laten een divers beeld zien. Sommige onderzoeken claimen een NO_x reductie terwijl anderen dat zeker niet bevestigen.
KBA test deels op de rollenbank bij zeer gedefinieerde condities. De door fabrikanten aangeleverde softwareversies zullen zeker in deze testen een verbetering opleveren en bij gelijke omgevingstemperaturen zal dit in RDE testen op de weg ook al gauw het geval zijn.
Een willekeurige wegtest in stadsverkeer uitgevoerd door ZDF op een Euro 5 Mercedes C220 toont een verslechtering van de NO_x emissies in plaats van de door KBA gemeten verbetering. Ook TNO meet andere resultaten dan KBA op een VW Polo Euro 5 diesel. Deze twee situaties tonen dat vergelijkende emissiemetingen per voertuigtype per emissietest sterk kunnen verschillen. Het langdurig monitoren van voertuigemissies in de dagelijkse praktijk in combinatie met een gedegen data-analyse lijkt dan de meest gedegen methode omdat alle praktijkdata over langere perioden worden gelogd.

Ook blijkt uit de resultaten van het KBA onderzoek dat de milieuwinst bij bepaalde voertuigen zeer substantieel is maar bij anderen zeer gering, Een nader detailonderzoek van de KBA emissieresultaten zal mogelijk handvatten leveren voor selectie van voertuigen met een substantieel NO_x reductiepotentieel. Voor toekomstig beleid kan worden overwogen alleen software-updates toe te passen vanaf een bepaalde minimale vastgestelde NO_x reductie. Momenteel kan worden geconcludeerd dat de effectiviteit van software updates niet altijd gegarandeerd lijkt en dat de beperkt beschikbare resultaten een verdeeld beeld schetsen

4.1.3 Haalbaarheid

Software-updates worden door fabrikanten geleverd en via dealernetwerken uitgerold. Deze worden technisch gezien als zeer haalbaar bestempeld. Voor de vaststelling van een substantiële NO_x reductie door software-updates is een gedegen en uitgebreid testprogramma nodig. Op basis van deze resultaten kan worden bepaald of een software-update in de dagelijkse praktijk leidt tot een verlaging van NO_x emissies.

Juridisch zijn software updates pas af te dwingen als (zelfs na een typegoedkeuring) is vastgesteld dat de productievoertuigen niet aan de gestelde wetgevingseisen voldoen. Vaak komt het echter niet zo ver en wordt een software update door de fabrikant in overleg met de typegoedkeuringsautoriteit gerealiseerd.

4.2 Synthetische dieselbrandstof

Synthetische dieselbrandstof kenmerkt zich een zeer homogene chemische structuur (in vergelijking tot standaard dieselbrandstof) en heeft daardoor een hoog cetaangetal. Dit betekent dat de brandstof relatief gemakkelijk tot zelfontbranding komt. De bekendste typen zijn GTL (Gas To Liquid) dat uit aardgas wordt gemaakt en HVO (Hydrotreated Vegetable Oil).

4.2.1 Toepassingsgebied

Indien het juiste additieven pakket aan HVO of GTL is toegevoegd kunnen deze brandstoffen in vrijwel alle dieselmotoren worden toegepast. In Euro 4,5 en 6 voertuigen worden geen fundamentele technische problemen verwacht.

4.2.2 Effectiviteit

De toepassing van HVO of GTL in Euro 4, 5 en 6 voertuigen zal waarschijnlijk een zeer gering effect hebben op uitlaatgasemissies. De deeltjesemissie van het voertuig zal in principe niet veranderen omdat het roetfilter op dezelfde wijze blijft functioneren. Alleen voertuigen met een defect roetfilter zullen minder deeltjes uitstoten. Door het hogere cetaangetal is het de verwachting dat de NO_x emissies 0 tot 5% zullen dalen.

4.2.3 Haalbaarheid

Wat betreft de regelgeving van brandstoffen is de dichtheid of soortelijke massa van GTL en HVO een probleem omdat deze lager is dan de minimum gespecificeerde dichtheid in de EN590 norm voor dieselbrandstof. Formeel mag de brandstof dus niet worden verkocht als brandstof voor wegvoertuigen. Verder zouden bij grootschalige toepassing van synthetische brandstof aanpassingen aan de logistieke keten nodig zijn. Technisch gezien is de toepassing van GTL of HVO goed haalbaar, in voertuigen worden eigenlijk geen directe problemen verwacht. Automobielfabrikanten zullen echter op het gebied van productgarantie en productaansprakelijkheid de toepassing van een brandstof die buiten de EN590 specificatie ligt afwijzen. Gezien de enorme inspanningen die toepassing van een synthetische brandstof zou vergen en de verwachte zeer beperkte milieuwinst wordt de inzet van synthetische brandstof voor NO_x reductie niet haalbaar geacht.

4.3 Beleidsimplicaties voor alternatieve NO_x reductie systemen

Vaststellen van NO_x reducties t.g.v. software-updates vraagt om de juiste definitie van een testmethodiek omdat huidige onderzoeken met verschillende testprocedures zeer verschillende resultaten tonen. Een goede manier om software-updates te testen is de uitvoering van praktijktesten (bijv. RDE test). Door een dergelijke rit minimaal drie keer uit te voeren, zowel voor als na de software update) kan de effectiviteit van de software-update worden gekwantificeerd. De rit dient ook relatief ongunstige situaties te bevatten zoals langdurig stationair draaien, filerijden en koude starts.

Voor toekomstig beleid kan worden overwogen alleen software-updates toe te laten met een bepaalde minimale vastgestelde NO_x reductie (bijvoorbeeld 25%) omdat de meetnauwkeurigheid en herhaalbaarheid van praktijktesten minder is dan op de rollenbank. Metingen op de rollenbank zijn voor dit doel echter niet mogelijk omdat deze sterk kunnen afwijken van praktijkemissies.

Grootschalige toepassing van synthetische brandstoffen heeft grote gevolgen voor de logistiek en op de technische randvoorwaarden van wegvoertuigen omdat deze zijn ontworpen op basis van brandstoffen die voldoen aan Europese wet- en regelgeving (zoals EN 590). Als een brandstof niet aan de geldende Europese eisen voldoet zouden emissies af kunnen wijken maar ook levensduurgedrag kan wijzigen. Ook kunnen er acuut technische problemen ontstaan aan voertuigen. Gezien de zeer geringe te verwachten reducties van NO_x emissies van wegvoertuigen door gebruik van synthetische brandstoffen wordt deze optie niet aanbevolen.

5 Homologatiemogelijkheden voor SCR retrofit

5.1 Relatie tussen homologatie retrofit en oorspronkelijke voertuighomologatie

Als uitgangspunt geldt dat een SCR retrofit systeem de werking van het voertuig niet negatief mag beïnvloeden en dat alle systemen goed blijven functioneren zoals in de typegoedkeuring van het desbetreffende model is vastgesteld.
Door de installatie van het SCR-retrofit systeem zullen primair de NO_x emissies dalen. Dit wordt conform de Duitse SCR-retrofit wetgeving vastgesteld in een RDE test op de openbare weg. In het Verenigd Koninkrijk wordt echter een WLTC test op de rollenbank uitgevoerd. Wat betreft de emissies is de wetgeving van SCR-retrofit systemen dus primair gericht op lage praktijkemissies.

5.2 Overzicht emissie-eisen van andere projecten

5.2.1 Verenigd Koninkrijk wegvoertuigen

In het Verenigd Koninkrijk is The Clean Vehicle Retrofit Technology Guide opgesteld die alle aspecten van toepassing van retrofit technologieën op wegvoertuigen en wettelijke eisen beschrijft [LowCVP 2019].
Het Clean Vehicle Retrofit Accreditation Scheme (CVRAS) beschrijft alle emissie-eisen en testprocedures[15] in detail referentie [CVRAS 2019] . Leveranciers van SCR retrofitsystemen dienen hun systemen te laten accrediteren.
Retrofit systemen worden gecertificeerd op basis van rollenbanktesten of met een PEMS systeem op een testcircuit. Per voertuigcategorie wordt een specifieke testcyclus toegepast. De NO_x emissie-eis voor bussen en bestelwagens is 500 mg/km en voor personenwagens 250 mg/km.
De dagelijkse emissies moeten worden gemonitord met behulp van NO_x sensoren en de gemiddelde NO_x reductie dient meer dan 80% te zijn.
Ammoniak concentraties moeten gemiddeld minder dan 10 ppm zijn, kortstondig worden piekwaarden van 25 ppm toegestaan.

5.2.2 Duitsland personen- en bestelwagens

In Duitsland is in 2018 speciale wetgeving voor SCR retrofitsystemen voor Euro 4 en 5 personen- en bestelwagens gepubliceerd[16] [BMVI 2018]. Gedurende een minimale levensduur van 5 jaar of 100,000 km moeten de retrofit systemen voldoen aan de limietwaarden die in Table 5-1 zijn vermeld. De emissieniveaus dienen gemeten te worden in een RDE test op de weg en er gelden NO_x limietwaarden die afhankelijk zijn van de omgevingstemperatuur. Deze wettelijke eisen zijn gebaseerd op de mogelijkheden voor vermindering van NO_x emissies van Euro 4 en 5 voertuigen met SCR retrofitsystemen die in 2016 zijn onderzocht door het Duitse Umweltbundesamt [UBA 2017].

[15] https://energysavingtrust.org.uk/transport/freight-and-retrofit/clean-vehicle-retrofit-accreditation-scheme-cvras

[16] https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Pressemitteilungen/2018/107-scheuer-technische-vorgaben-hardware-nachruestung.html

Table 5-1: Duitse eisen voor SCR retrofit systemen van Euro 4 en 5 personen- en bestelwagens

T omgeving	Conformiteits-factor	NO_x limietwaarde	NH_3	Toename CO_2
[ºC]	[-]	[mg/km]	[mg/km]	[vol%]
5 tot 30	1.0	270	Minimaal *	< 6%**
30 tot 35	1.6	432	Minimaal *	
-3 tot 5	2.0	540	Minimaal *	

* NH_3 voorkomen door verplichte montage van een slip katalysator (ASR of CUC)

** Gemeten op de rollenbank

Ook beschrijft de Duitse wetgeving de maatregelen die aan de berijder moeten worden gemeld in geval van een (bijna) lege AdBlue- of ammoniaktank. In het uiterste geval (lege tank) mag het voertuig niet meer gestart kunnen worden of moet substantiële reductie van het beschikbare motorvermogen worden toegepast. Het SCR retrofit systeem moet zijn uitgerust met een NH_3 slip katalysator.

5.2.3 *Duitsland stadsbussen*

In Duitsland is in 2018 speciale wetgeving voor SCR retrofitsystemen van Euro IV en V vrachtwagens en bussen gepubliceerd[17] [BMVI 2018b]. Gedurende een minimale levensduur van 4 jaar of 200,000 km moeten de systemen voldoen aan de emissie-eisen van Table 5-2 die in een specifieke testcyclus met koude start met een duur van ruim 2 uur met een gemiddelde snelheid van 10-30 km/h met PEMS moet worden vastgesteld. Ook wordt de test met warme start uitgevoerd.
Het SCR retrofit systeem moet zijn uitgerust met een NH_3 slip katalysator.
In de wetgeving is niet opgenomen door welke partij de levensduuremissies worden gecontroleerd.

Table 5-2: Emissie-eisen Duitse bussen met SCR retrofit in specifieke testcyclus

Gem. snelheid [km/h]	NO_x limietwaarde [g/km]
7,5 – 12,5	7,5
12,5 – 17,5	5
17,5 – 22,5	4
22,5 – 27,5	3
27,5 – 32,5	2,5

5.2.4 *Nederland Euro 4, 5, IV en V voertuigen*

In de Nederlandse MIA/VAMIL regeling[18] voor SCR retrofit moeten Euro 4 en 5 personen- en bestelwagens en Euro IV en V bussen/vrachtwagens aan Euro 6 respectievelijk Euro VI emissie-eisen te voldoen. De emissies worden vastgesteld in RDE of In Service Conformity (ISC) testen met PEMS of SEMS meetsystemen. Er zijn geen formele documenten van deze regeling beschikbaar. Alleen de webpagina bevat de vereisten. Van deze regeling is tot op heden door ondernemers geen gebruik gemaakt.

[17] https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Pressemitteilungen/2018/019-scheuer-dieselbusse-nachruestung.html
[18] https://www.rvo.nl/subsidies-regelingen/milieulijst-en-energielijst/miavamil/nox-reductiesysteem-voor-een-bestaand-voertuig

5.3 Mogelijkheden voor stimulering van SCR retrofit systemen

Implementatie van SCR-retrofit systemen kan worden gestimuleerd door emissie-eisen aan voertuigen te stellen in emissiezones. Voertuigeigenaren die hun dieselvoertuig voorzien van een SCR-retrofitsysteem krijgen dan toegang tot de emissiezone. In feite stelt de overheid dan een extra voertuigeis.
Aangezien SCR-retrofit systemen voor personen- en bestelvoertuigen veelal een kostprijs zullen hebben van € 2.000,- tot € 5.000,- zullen voertuigeigenaren zich beraden of zij een dergelijke investering nog willen doen. Dit zal sterk worden beïnvloed door een eventueel subsidieprogramma.
In Duitsland geven Mercedes en VW subsidie tot € 3.000,- in bepaalde gevallen.
In Nederland worden SCR-retrofitsystemen voor bedrijven gestimuleerd met een investeringsaftrek.
In Engeland kunnen lokale overheden voor stadsbussen ongeveer € 15.000,- subsidie per SCR systeem aanvragen.

De mate waarin SCR-retrofit systemen worden geïnstalleerd zal naar verwachting sterk afhankelijk zijn van een eventueel subsidieprogramma. Indien geen subsidie wordt verleend is het de verwachting dat eigenaren van personen- en bestelwagens voor alternatieven kiezen.
Ook is het de verwachting dat de mogelijkheid voor het betreden van een LEZ na 2025 met een dieselvoertuig zonder SCR-retrofitsysteem door betaling van een heffing (€ 300,- per jaar) een aantrekkelijk alternatief is voor een aantal voertuigeigenaren.

5.4 Juridische vereisten en handhaving

Een SCR-retrofit regeling zal als nationale regelgeving gedefinieerd en ingevoerd moeten worden omdat Europese voertuigwetgeving hier geen handvatten biedt. De Duitse en Britse documenten die de SCR-retrofitregelingen beschrijven [BMVI 2018], [KBA 2020], BMVI 2018a], [BMVI 2018b] en [CVRAS 2019] zijn voorbeelden van dergelijke nationale regelgeving.
Naast de beschrijving van de technische eisen van dergelijke systemen is eén van de meest belangrijke aspecten van dit soort regelgeving de manier waarop de prestaties van omgebouwde voertuigen achteraf wordt geverifieerd en wie hier verantwoordelijk voor is. Deze controle achteraf is een middel om de effectiviteit van SCR-retrofit te garanderen. Als de emissiecontrole ontbreekt of kwalitatief onvoldoende is, is de kans op een ineffectieve regeling aanwezig.

Als de registratie van SCR-retrofit systemen in de nationale voertuigregistratie wordt gedaan en de toegang tot LEZ's met camerasystemen wordt gedaan is de controle op aanwezigheid van een SCR-retrofit systeem noodzakelijk. De jaarlijkse Autokeuring is daarvoor een geschikt moment. Op basis van een lijst van componenten van het SCR-retrofit systeem kan worden gecontroleerd of alle onderdelen nog gemonteerd zijn.

Verder dient te worden gewaarborgd dat voertuigeigenaren hun verantwoordelijkheid nemen in geval van falende systemen door hun voertuig aan te bieden voor reparatie. Dit kan in de praktijk worden gestimuleerd door een startblokkering of vermogensreductie toe te passen in geval van een storing.

Ook dient in de regelgeving te worden opgenomen dat manipulatie van deze systemen niet is toegestaan. Het is de verwachting dat de effectiviteit van deze regelgeving tegen manipulatie stijgt als er in geval van manipulatie een (financiële) maatregel wordt toegepast.

Handhaving van een SCR-retrofit regeling vereist specifieke (technische) kennis omdat het retrofit systeem op zijn werking beoordeeld moet worden. In Polen, Denemarken en het Verenigd Koninkrijk is inmiddels veel ervaring opgedaan met specialistische teams die vooral vrachtwagens controleren op de aanwezigheid van manipulatievoorzieningen. Deze vorm van handhaving blijkt in de praktijk tijdrovend en kostbaar te zijn. Verder wordt in Europa onderzoek gedaan naar de toepassing van zogenaamde snuffelbussen die op de openbare weg achter te controleren voertuigen een mengsel van buitenlucht en uitlaatgas analyseren.
Door toepassing van remote emission sensing lijkt grootschalige controle mogelijk.

Voor al deze methoden geldt dat een indirecte technische analyse wordt gedaan die nog moet worden vertaald naar juridische eisen waardoor handhaving juridisch mogelijk wordt.

5.5 Potentiële fraudemogelijkheden

Naast de aanschafkosten voor een SCR retrofitsysteem zijn er gebruikskosten (AdBlue 0.5 – 1.5 liter per 1000 km, literprijs AdBlue varieert van € 0.50 tot € 3.00 en is afhankelijk van de verpakking en hoeveelheid). Het reagens moeten worden aangevuld en eventuele defecten aan het SCR-retrofit systeem zullen ook kosten met zich meebrengen. Voor sommige berijders is dit hinderlijk en in de praktijk is het de verwachting dat een gedeelte van de SCR-retrofit systemen om financiële redenen wordt gemanipuleerd en uitgeschakeld. In het slechtste geval wordt het SCR-retrofit systeem geheel gedemonteerd.
Ook het vullen van de AdBluetank met water is een potentiële fraudemogelijkheid die voorkomen zou moeten worden door de bewaking van de AdBlue kwaliteit door middel van een AdBlue kwaliteitssensor.
Ook is het denkbaar dat op de markt, net als voor vrachtwagens, eenvoudige hardware wordt aangeboden voor manipulatie van het SCR-retrofit systeem.

5.6 Beleidsimplicaties voor homologatie van SCR retrofit systemen

Voor invoering van SCR-retrofitsystemen is gedetailleerde nationale wet- of regelgeving nodig. In Duitsland en Engeland is deze regelgeving al gepubliceerd en deze kan als voorbeeld dienen maar blijken ook een aantal hiaten te hebben.

De Duitse regelgeving is vrij volledig en gedetailleerd terwijl de Engelse retrofit regelgeving de zaken meer globaal beschrijft maar deze heeft enkele waardevolle elementen.

Als de Duitse wetgeving als basis wordt gekozen dient deze te worden aangevuld met de volgende elementen:

- Homologatietesten die met PEMS op de weg worden uitgevoerd dienen ook bij lage omgevingstemperaturen te worden uitgevoerd bijvoorbeeld tussen 0 en 10 ºC.

- RDE test cyclus en criteria conform huidige Europese wetgeving aangevuld met bijvoorbeeld een extra testcyclus van minimaal 1 uur in stadsverkeer met koude start
- Aparte NO_x emissie-eisen voor stadsverkeer en gehele test.
- Een NH_3 emissie-eis (bijv. NH_3 is gemiddeld minder dan 10 ppm)
- Startblokkering in geval van lege reagens tank.
- Permanente monitoring en bewaking van de NO_x conversiegraad.
- ISC testprogramma's door onafhankelijke partij. Dit zou plaats kunnen vinden door de installatie van een emissiemeetsysteem met NO_x en NH_3 sensoren dat gedurende langere tijd de emissies vastlegt.

Autokeuring
- Verplichte controle in de Autokeuring op aanwezigheid van alle onderdelen van het SCR-retrofit systeem.
- De ontwikkeling van een korte emissietest die in de Autokeuring kan worden toegepast voor de controle van SCR retrofit systemen.

Invoering van SCR-retrofit systemen betekent dat de huidige wet- en regelgeving uitgebreid en verbeterd moet worden. Ook zullen bepaalde zaken (zoals een emissietest voor de Autokeuring) nog ontwikkeld en ingevoerd moeten worden. Het is de verwachting dat dit aanzienlijke maatschappelijke inspanningen en kosten met zich mee zal brengen.

6 Werking van SCR retrofit garanderen

Een goede werking van SCR retrofit systemen is niet vanzelfsprekend. Retrofit installaties kunnen om diverse redenen niet of niet goed functioneren.

Deze redenen zijn in te delen in de volgende categorieën:
- Installatie van het SCR retrofit systeem.
- Kwaliteit van de diverse onderdelen van het SCR retrofit systeem.
- Dagelijks gebruik van het voertuig
- Inspectie, onderhoud en jaarlijkse keuring van het SCR retrofit systeem
- Manipulatie van het SCR retrofit systeem

Voor de borging van de werking van SCR retrofit systemen zijn zowel technische als overheidsmaatregelen noodzakelijk.

6.1 Technische maatregelen

Technische maatregelen betreffen de systeemeigenschappen en kenmerken van SCR retrofit systemen maar ook het vermogen tot zelfdiagnoses. Door specifieke beschrijvingen van systeemeisen in de wet- en regelgeving en kwalitatief goede typegoedkeuringsprocedures kan het gewenste technische niveau worden bereikt.

Een complicerende factor is de mogelijke technische verbinding van het SCR retrofit systeem met het voertuig. Technisch gezien bestaan er de volgende drie mogelijkheden:

- SCR retrofit systeem als volledig autonoom systeem installeren dat geen enkele technische of fysieke verbinding heeft met voertuigsystemen.
- SCR retrofit systeem verbinden met het voertuig (Bijv. CAN-bus en/of OBD) zonder aanpassing van motormanagement en kalibraties.
- SCR retrofit systeem verbinden met het voertuig (Bijv. CAN-bus en/of OBD) met aanpassing van motormanagement en kalibraties.

De aanpassing van het motormanagement en kalibraties vereist medewerking van de voertuigfabrikant. Met deze aanpassingen kunnen de operationele temperaturen in de SCR katalysator (in de opwarmfase) worden verhoogd waardoor de SCR katalysator in een groter deel van het operationele gebied werkzaam is.

De volgende technische maatregelen vereisen specificatie in wet- en regelgeving:

6.1.1 Maatregelen in geval van een lege reagens tank

SCR retrofit systemen werken alleen als voldoende ammoniak of AdBlue in de voorraadtank aanwezig is.

Startblokkering:
In geval van een lege reagens tank is het aan te bevelen een startblokkering te activeren en dit als systeemeis in wet- en regelgeving op te nemen. Hiermee worden berijders gedwongen bij te dragen aan de goede werking van het SCR retrofit systeem. De kwaliteit van de startblokkering is van groot belang omdat manipulatie van de startblokkering het retrofit systeem ineffectief zal maken.

Het aanbrengen van een startblokkering als onderdeel van een SCR retrofitsysteem is zonder hulp van een automobielfabrikant een lastige opgave. Deze systemen zijn vaak onvolkomen en worden in de praktijk niet geaccepteerd door berijders van voertuigen.

Minder effectieve systemen als alternatief voor een startblokkering zijn:
Vermindering van het beschikbare motorvermogen. Een substantiële verlaging van het beschikbare motorvermogen in geval van een lege reagenstank is een mogelijk alternatief voor een startblokkering. Ook hier geldt dat manipulatie een risico is. Dit kan worden voorkomen door kwalitatief goede wet- en regelgeving.

Akoestische of optische signalen
Een alternatief voor een startblokkering of vermindering van het motorvermogen in geval van een lege reagens tank zijn akoestische en/of optische signalen. Het nadeel van deze signalen is dat zij genegeerd kunnen worden waardoor SCR retrofit systemen niet altijd effectief zijn. Ook hier geldt dat manipulatie moet worden voorkomen.

6.1.2 Diagnosesysteem en melding foutcodes

Een diagnosesysteem met actieve melding van foutcodes waarschuwt de berijder als het SCR retrofit systeem niet (goed) functioneert. Dit diagnosesysteem is een essentieel onderdeel om de goede werking in de dagelijkse praktijk te waarborgen. De berijder kan immers actie ondernemen in geval van storingen.
De specificatie van de eigenschappen van een diagnosesysteem is zeer complex en vraagt zeer gedetailleerde systeemkennis. Mogelijke storingen moeten worden gedefinieerd en criteria voor activering van de foutcodes zijn ook nodig.
Om een indruk te krijgen van de complexiteit wordt verwezen naar de OBD wetgeving van wegvoertuigen.

6.1.3 Monitoring van de NO_x reductie

Een SCR-retrofit systeem dat is voorzien van twee NO_x sensoren (voor en na SCR) kan op eenvoudige wijze het omzettingsrendement van het SCR retrofitsysteem bepalen. In Londen heeft men een eis gesteld dat de NO_x conversie op dagbasis minimaal 80% dient te zijn. Los van een absolute emissie-eis (Duitsland) wordt aanbevolen de bepaling van de gemiddelde NO_x conversie over een bepaalde tijdsperiode of kilometrage als systeemeis op te nemen die op een display moet worden weergegeven. Ook worden in Londen de meetdata via een telecom verbinding in een database opgeslagen. Dit biedt de mogelijkheid voor externe beoordeling van de emissieprestaties van de voertuigen.
Aangezien er tot op heden geen emissietest beschikbaar is voor de Autokeuring is permanente monitoring van de NO_x reductie de enige werkbare beschikbare optie om de werking van SCR-retrofit installaties te garanderen. Deze systemen zijn al beschikbaar op de markt en zijn een belangrijk instrument om de kwaliteit van SCR-retrofit te monitoren.

6.1.4 Beheersing van NH_3 emissies

NH_3 emissies zijn ongewenst en als deze niet worden gereglementeerd is de kans aanwezig dat voertuigen minder NO_x maar substantieel meer NH_3 uitstoten.
De Duitse wetgeving heeft dit gespecificeerd in de vorm van een verplichte aanwezigheid van een ASR die eventuele NH_3 emissies oxideert tot onschadelijke componenten.

De Engelse wetgeving specificeert een maximale gemiddelde NH_3 concentratie van 10 ppm en kortstondige toegelaten piekwaarden van 25 ppm. Dit laatste is een technologie-neutrale emissie-eis biedt meer garantie op lage NH_3 emissies.

6.2 Overheidsmaatregelen

Alleen door gerichte overheidsmaatregelen kan de invoering van SCR-retrofit systemen slagen. Door middel van systeem homologaties die ook In-Service-Conformity testprogramma's bevatten wordt de primaire werking van de SCR-retrofit systemen gecontroleerd.

Een expliciet verbod op de manipulatie van SCR retrofit systemen is nodig om de werking in de dagelijkse praktijk zeker te stellen. Dit houdt ook in dat voertuigeigenaren een verantwoordelijkheid krijgen en mogelijk ook sancties opgelegd kunnen krijgen. Een dergelijk verbod betekent dat het opsporingsapparaat en justitiële organisaties de materie van SCR-retrofit moeten kunnen hanteren.

De werking van een SCR retrofit dient door de overheid in de Autokeuring worden gecontroleerd omdat dit het meest geëigende moment is voor controle. Naast controle op aanwezigheid van de componenten zou een eenvoudige emissietest moeten worden uitgevoerd. Deze emissietest voor de Autokeuring dient echter nog ontwikkeld te worden. Tot op heden hebben de onderzoeken op dit gebied geen oplossing opgeleverd en het lijkt niet de verwachting dat dit op korte termijn tot een werkbare oplossing zal leiden. Een zeer werkbaar alternatief is de permanente meting van het omzettingsrendement van de SCR-katalysator door middel van twee NO_x sensoren (voor en na SCR), op voorwaarde dat zowel deze sensoren als de opslag van het resultaat in het voertuiggeheugen betrouwbaar en niet fraudegevoelig zijn.

6.3 Periodieke controles

6.3.1 Regulier onderhoud

Net als voertuigen hebben SCR-retrofit systemen onderhoud en/of inspectie nodig. Het onderhoud beperkt zich tot het vervangen van reagens filters en het bijvullen van reagens.
Een lastig punt is de eventuele kristallisatie van ureum op de AdBlue injector of de binnenzijde van het uitlaatsysteem die mogelijk zelfs tot volledige ineffectiviteit van het SCR retrofit systeem kan leiden. Dit valt alleen te controleren door demontage en inspectie van de AdBlue injector en de binnenzijde van het uitlaatsysteem. Als inspectie van de injector en SCR katalysator niet door de systeemleverancier wordt voorgeschreven is dit een potentieel probleem omdat voertuigen op geen ander moment dergelijke inspecties ondergaan. SCR-retrofit systemen zouden daarom op basis van de gemonteerde NO_x sensor in staat moeten zijn om een onverwachte vermindering van de NO_x reductie te meten en dit in de vorm van een storingsmelding aan de berijder te laten weten.

6.3.2 Periodieke Autokeuring

Tijdens de inspectie van het systeem in de periodieke Autokeuring kan op lekkage worden gecontroleerd en de algehele staat van het SCR-retrofit systeem.

Demontage van onderdelen is wettelijk niet toegestaan en controle op aanwezigheid van alle onderdelen in een Autokeuring is relatief eenvoudig.
De inspectie van de reagens injector zal dus alleen bij regulier onderhoud kunnen plaatsvinden. Zoals eerder aangegeven is bij gebrek aan een NOx-emissietest tijdens de keuring het momenteel niet mogelijk om de goede werking van het retrofitsysteem op die manier te garanderen. Een mogelijke oplossing daarvoor kan bestaan uit de permanente monitoring van het omzettingsrendement van de SCR-katalysator door middel van twee NO_x sensoren (voor en na SCR). Hiervoor dienen nog wel specifieke goed- en afkeurcriteria te worden ontwikkeld. Ook moeten hierbij storings- en fraudegevoeligheid van de sensoren en het boordgeheugen in acht worden genomen.

6.3.3 Wegkantinspecties

Bij wegkantinspecties kan op de aanwezigheid van alle SCR-retrofit onderdelen worden gecontroleerd. Ook kunnen de diagnosesystemen worden uitgelezen en de gemiddelde omzettingsgraad van de SCR-katalysator als een dergelijk systeem beschikbaar is. Verder kan de kwaliteit van AdBlue in de tank worden beoordeeld. Ook kan worden gecontroleerd of het SCR-retrofit systeem is gemanipuleerd.
Dit vraagt echter zeer specialistische kennis van het team van controleurs.

6.4 Verantwoordelijkheid voor blijvend goede werking

Een blijvend goede werking van een SCR-retrofit systeem garanderen is een gedeelde verantwoordelijkheid. De voertuigeigenaar dient de reagens tank gevuld te houden en het onderhoud uit te (laten) voeren. Ook dient hij/zij in geval van een storing de auto ter reparatie aan te bieden. De onderhoudswerkplaats dient er voor zorg te dragen dat het onderhoud en de eventuele reparaties correct worden uitgevoerd door gekwalificeerd personeel. Verder dient de overheid kwalitatief goede regelgeving te maken die heldere eisen stelt aan de systemen, het gebruik en de controle. Ook dient zij te formuleren of een voertuig nog op de openbare weg mag rijden en/of een LEZ mag betreden in geval van een defecte SCR-retrofit installatie.
Eventuele handhaving van dergelijke regelgeving vereist goede instructie voor de handhavende partij. Tijdens een wegkantinspectie moet helder zijn of het voertuig is voorzien van een SCR-retrofit (via kentekenregistratie) en of het systeem goed functioneert [VUBTNO 2019].

6.5 Beleidsimplicaties voor de gegarandeerde werking van SCR retrofit systemen

De werking van een SCR retrofit systeem kan alleen effectief worden gegarandeerd als de NO_x reductie permanent wordt gemeten en gemonitord. Dit dient dan ook als systeemeis in de regelgeving te worden opgenomen. Ook dient de werking van dit systeem te worden gegarandeerd en maatregelen te worden genomen om fraude te voorkomen.
De NO_x reductie kan echter per voertuig verschillen omdat de NO_x emissie van het oorspronkelijke voertuig verschillend kan zijn. Een mogelijke werkbare optie is, gegeven een absolute NO_x emissie-eis van bijv. 250 mg/km, een aanvullende minimum gemiddelde NO_x reductie van 50% over de laatste 50 km te eisen. Dit kan eventueel aanvullend door een handhavende onafhankelijke partij in een RDE rit worden gecontroleerd.

7 Discussie

In de voorgaande hoofdstukken zijn de werking en beschikbaarheid van SCR retrofit systemen en de elementen van een SCR retrofit programma of regeling beschreven. In dit hoofdstuk wordt de inspanning – het opzetten van een regeling – geplaatst tegenover de opbrengst - de emissiereductie. De elementen die het meest bepalend zullen zijn voor de uiteindelijke conclusies worden gepresenteerd.

In deze discussie wordt de effectiviteit van SCR retrofit systemen besproken en worden randvoorwaarden, nodig bij een introductie van een SCR retrofit regeling, tegen het licht gehouden op basis van de informatie die in de vorige hoofdstukken is opgenomen.

Daarvoor wordt eerst in paragraaf 7.1 de verwachte emissies van Vlaamse Euro 5 dieselvoertuigen met SCR retrofit behandeld. Verder wordt in paragraaf 7.2 de haalbaarheid besproken.

Op basis hiervan moet het mogelijk worden om conclusies te trekken over de haalbaarheid, wenselijkheid en effectiviteit van het stimuleren van retrofittoepassingen voor diesels.

De discussie bevat de volgende elementen:

- het NO_x reductiepotentieel van SCR retrofit systemen,
- de wagenparksamenstelling in Vlaanderen,
- de randvoorwaarden,
- de risico's,
- de kosten,
- pakket van eisen en
- de tijdlijn.

7.1 Verwachte NO_x emissies van voertuigen met SCR retrofit

In deze studie is het NO_x reductiepotentieel van met name Euro 4 en 5 dieselvoertuigen met SCR retrofit onderzocht. Op basis van meetdata en technische inzichten is vervolgens een modelberekening gemaakt van de te verwachten NO_x emissies van SCR retrofit voertuigen. Hiervoor zijn de Vlaamse emissiefactoren als basis genomen. Dit model is in bijlage A verantwoord.

In Table 7-1 en Table 7-2 zijn de emissiefactoren van Euro 4 en Euro 5 dieselpersonenvoertuigen (M) en dieselbestelwagens (N1 klasse 3) met SCR retrofit weergegeven. Ter vergelijk zijn ook de emissiefactoren van Euro 6abc, Euro 6d-Temp en Euro 6d-final opgenomen[19].

[19] Euro 6 a, b en c dieselvoertuigen zijn deels uitgerust met SCR, Euro 6d-Temp en Euro 6d-final dieselvoertuigen zijn vrijwel allemaal uitgerust met SCR.

Table 7-1: Verwachte gemiddelde emissiefactorfactoren van de vloot Euro 4 en 5 light-duty diesel personenwagens (M1) met SCR retrofit en Euro 6 COPERT emissiefactoren.

Emissieklasse	**Stad**	**Buitenweg**	**Snelweg**
	NO_x	**NO_x**	**NO_x**
	[mg/km]	**[mg/km]**	**[mg/km]**
Euro-4	0.502 – 0.575	0.269 – 0.319	0.377 – 0.455
Euro-4 + cDPF	0.502 – 0.575	0.269 – 0,319	0.377 – 0.455
Euro-5	0.530 – 0.607	0.311 – 0.368	0.337 – 0.406
Euro-6abc	0.563	0.422	0.386
Euro-6d-Temp	0.430	0.323	0.386
Euro-6d-final	0.209	0.157	0.187

Table 7-2: Verwachte gemiddelde emissiefactorfactoren van de vloot Euro 4 en 5 light-duty diesel grote bestelwagens (N1 klasse 3) met SCR retrofit (praktisch scenario).

Emissieklasse	**Stad**	**Buitenweg**	**Snelweg**
	NO_x	**NO_x**	**NO_x**
	[mg/km]	**[mg/km]**	**[mg/km]**
Euro-4	0.688 – 0.788	0.412 – 0.488	0.539 – 0.649
Euro-4 + cDPF	0.688 – 0.788	0.412 – 0.488	0.539 – 0.649
Euro-5	0.933 – 1.068	0.677 – 0.802	1.182 – 1.424
Euro-6abc	0.973	0.902	1.736
Euro-6d-Temp	0.347	0.321	0.619
Euro-6d-final	0.090	0.084	0.161

In de stedelijke omgeving, daar waar LEZ zich bevinden, liggen de verwachte NO_x emissies van Euro 4 en 5 voertuigen met SCR retrofit op het niveau van Euro 6abc voertuigen. Dit geldt voor zover dieselpersonenauto's als voor bestelauto's klassen 1 t/m 3. Op de buitenweg en snelweg zijn de verwachte NO_x emissies van voertuigen met SCR retrofit lager dan van Euro 6abc voertuigen. Voor bestelauto's klasse 3 gemiddeld wel 18-25% lager. Dieselpersonenauto's en lichte bestelauto's (klasse 2 en 3) benaderen op buitenweg en snelweg de emissies van Euro 6d-Temp voertuigen. In de stad zijn de emissiefactoren van Euro 6d-Temp voertuigen fors lager dan die van Euro 4 en 5 voertuigen met SCR retrofit. De emissiefactoren van Euro 6d-final voertuigen in alle rijomstandigheden zeer veel lager.

Deze beschrijving is gebaseerd op een werkingsgraad van SCR retrofit systemen bij een relatief hoge omgevingstemperatuur van 20 ºC Bij een omgevingstemperatuur van 0 ºC is het de verwachting dat de NO_x reducties van Euro 4 en 5 diesel personen- en bestelvoertuigen met een SCR retrofit installatie ongeveer halveren. De emissiefactoren van voertuigen met SCR retrofit blijven bij lage omgevingstemperaturen over de hele linie hoger dan van Euro 6abc voertuigen.

Ook is bovenstaande beschrijving gebaseerd op solitaire SCR retrofit systemen die niet interacteren met de bestaande emissieregelsystemen van de motor.

Als de bestaande regelsystemen van dieselvoertuigen gekoppeld worden aan het SCR retrofit systeem is het de verwachting dat de NO_x reductiepercentages hoger kunnen zijn omdat dan gemiddeld hogere uitlaatgastemperaturen gerealiseerd kunnen worden. De verwachte NO_x emissies van Euro 5 voertuigen met SCR retrofit en aangepaste emissieregelingen van de motor zijn dan lager dan die van voertuigen alleen met SCR retrofit en hoger dan de emissies van Euro 6d voertuigen. Verder wordt ingeschat dat voertuigfabrikanten geen medewerking aan de koppeling van voertuigsystemen en een SCR retrofit zullen verlenen omdat het aantal voertuigen dat mogelijk voorzien wordt van een SCR retrofit voor hen relatief gering is en dit een aanpassing van de typegoedkeuring vereist omdat wezenlijke elementen van het voertuig worden aangepast.

7.2 De haalbaarheid van SCR retrofit

In de hoofdstukken 2 t/m 6 van deze studie zijn de mogelijkheden voor SCR retrofit systemen voor personen- en bestelwagens onderzocht.

7.2.1 Overwegingen.

Een kwalitatief goed SCR retrofit programma vereist een zeer uitvoerig pakket van eisen dat haast vergelijkbaar is met de typegoedkeuring van nieuwe voertuigen. De ontwikkeling van een dergelijke regelgeving zal tijd kosten. Dit zal doorwerken in een hogere kostprijs van SCR retrofit systemen en in hoge maatschappelijke kosten voor typegoedkeuring en handhaving. Daarmee wordt de haalbaarheidsvraag relevant.

De belangrijkste overwegingen voor invoering van een SCR retrofit programma in Vlaanderen kunnen worden gecategoriseerd en deze zijn:

Algemeen:

- SCR retrofit systemen zijn technisch haalbaar en de componenten zijn beschikbaar. Deze dienen specifiek te worden aangepast voor specifieke voertuigmodellen. Dit kan worden gekwalificeerd als een standaard productontwikkeling die door een aantal leveranciers is gestart om aan verwachte Duitse en Engelse vraag te kunnen voldoen. Er is nog geen zicht op de levensduureigenschappen van deze systemen.
- Gezien de wagenparksamenstelling wordt voorgesteld de discussie te concentreren op Euro 5 voertuigen omdat het verwachte aandeel Euro 3 en 4 voertuigen in 2025 zeer gering is of een lage dagwaarde heeft. In 2025 hebben Euro 4 voertuigen een leeftijd van 16 tot 20 jaar en Euro 3 voertuigen zijn dan 20 tot 25 jaar oud. Euro 6 voertuigen beschikken in grote mate reeds over SCR installaties.
- Er dient een Vlaamse SCR retrofit regeling voor Euro 5 dieselvoertuigen te worden opgesteld die tot in detail de eisen en testprocedures beschrijft. De kwaliteit van een dergelijke regeling is van grote invloed op de uiteindelijke reductie van NO_x emissies. In paragraaf 2.8 zijn de systeemeisen, de emissie-eisen, levensduureisen en controles, eisen voor diagnosesystemen, onderhoudseisen, controle in de Autokeuring en juridische aspecten beschreven die de Vlaamse SCR retrofitregeling zou moeten bevatten.

- SCR retrofit systemen hebben een omgevingstemperatuurafhankelijke NO_x conversie, bij lage omgevingstemperaturen is er sprake van een relatief lage NO_x conversie. Daarentegen zijn de NO_2 concentraties o.a. in de winterperiode het hoogst[20]
- SCR retrofit systemen dienen in de nationale voertuigregistratie te worden vermeld zodat controles bij betreden van LEZ's, wegkantinspecties en in Autokeuringen kunnen worden uitgevoerd.

Emissie-eisen:

- De Duitse en Engelse nationale regelingen kunnen als basis voor de emissie-eisen gelden maar dienen de volgende punten te worden aangescherpt.
    - Er wordt aanbevolen een aparte NO_x emissie-eis voor stadsverkeer (0-60 km/h) op te nemen. Omdat deze emissies sterk variëren per voertuigklasse en afhankelijk zijn van de omgevingstemperatuur dient dit nader te worden uitgewerkt.
    - Er wordt aanbevolen de NO_x emissie-eisen te relateren aan de omgevingstemperatuur.
    - Er wordt aanbevolen een NH_3 emissie-eis op te nemen.
    - De emissies in de typegoedkeuring dienen door een onafhankelijke gekwalificeerde partij te worden bepaald in emissietesten die op de weg worden uitgevoerd (bijvoorbeeld RDE testen met extra aandacht voor emissies in stadsverkeer).

Technische eisen SCR retrofit systemen:

- Om permanente functionaliteit zeker te stellen dienen SCR retrofit systemen voorzien te zijn van een startblokkering die actief wordt in geval van een lege reagens tank. Eventueel kan de startblokkering worden vervangen door een forse vermogensreductie.
- Er wordt aanbevolen een eis voor permanente weergave van de NO_x conversiegraad van het SCR retrofit systeem op te nemen. Ook dienen er eisen te komen voor een permanente conversiegraad zodat de goede werking van een SCR retrofit systeem is gegarandeerd. Criteria voor deze permanente eisen moeten nog worden ontwikkeld. Deze informatie kan ook worden gebruikt in de Autokeuring en dit lijkt de enige optie voor een effectieve controle van het SCR-retrofit systeem in de Autokeuring. De criteria voor goed- of afkeur en de systeemeisen dienen nog te worden ontwikkeld.
- De permanente monitoring van de NO_x conversiegraad (op dagbasis) is technisch mogelijk door deze gegevens via een mobiele dataverbinding in een centrale database op te slaan (in Engeland voor Euro VI bussen verplicht). Dit systeem lijkt voor specifieke voertuigvloten geschikt, maar is technisch mogelijk te complex voor een voertuigvloot die uit vele individuele voertuigen bestaat.
- De definitie van een diagnosesysteem is zeer complex en vraagt zeer specialistische kennis. Alleen met globale eisen is de goede werking niet gegarandeerd. Hiervoor zijn specifieke eisen en goed gedefinieerde testprocedures nodig. Een en ander kan worden gebaseerd op Europese OBD wetgeving.

[20] https://luchtkwaliteit.brussels/content/de-winter

De inspanningen voor de definitie en validatie van dergelijke wetgeving is zeer tijdrovend en het traject van definitie-ontwikkeling-testen-validatie en invoering kost naar verwachting enkele jaren. Pas na publicatie kunnen leveranciers hun definitieve SCR-retrofitsystemen laten homologeren.

Voorwaarden voor duurzame SCR retrofit systemen:

- De inbouw van SCR retrofit systemen dient door gekwalificeerde technici te worden uitgevoerd.
- Er dienen specifieke SCR retrofit trainingsprogramma's te worden ontwikkeld voor installateurs en onderhoudstechnici.
- Er dienen In-Service-Conformity programma's door onafhankelijke partijen te worden georganiseerd ter controle van de kwaliteit van SCR-retrofit systemen in het veld.
- Er dienen waarborgen te worden aangebracht dat voertuigeigenaren worden gestimuleerd om defecte SCR-retrofit systemen te laten repareren. Dit begint met de aanwezigheid van een kwalitatief goed diagnosesysteem dat ook een startblokkering inschakelt als de storing niet binnen een bepaalde tijd wordt verholpen.

7.2.2 Bereidwilligheid voertuigeigenaar voor SCR-retrofit

Uit hoofdstuk 2.7 blijkt dat de kostprijs van een SCR retrofit systeem varieert van € 2.000,- tot € 7.000,-. Als Vlaanderen hogere eisen stelt dan Duitsland aan SCR-retrofit systemen (bijvoorbeeld startonderbreking of vermogensreductie in geval van niet functioneren van het systeem) is het de verwachting dat de kostprijzen zullen toenemen. De kosten worden daarmee hoog in vergelijking met de (rest)waarde van de auto. Zonder voordelen zullen voertuigeigenaren niet of slechts op zeer beperkte schaal overgaan tot het installeren van de SCR retrofit. Als het respons klein is en de verkoopaantallen gering zijn dan zal de kostprijs verder toenemen.

Het verkrijgen van toegang tot LEZ zal waarschijnlijk onvoldoende stimulans geven om voor SCR retrofit te kiezen. De toegang tot LEZ zal naar verwachting slechts voor een beperkte periode gelden, omdat plannen voorliggen om op termijn de LEZ slechts open te stellen voor dieselvoertuigen die het Euro 6d-final emissieniveau halen. SCR retrofit blijft daar ver van verwijderd. Autobezitters van Euro 5 diesels zullen ervoor kiezen de auto van de hand te doen of – indien de LEZ regeling die mogelijkheid biedt – betalen voor de ontheffing om toch nog, zonder SCR, toegang te krijgen tot LEZ.

Toepassing van SCR retrofit zal naar verwachting slechts grotere omvang aannemen als er - bovenop het toegangsregime tot LEZ – een financiële stimuleringsregeling tegenover staat, met een stimulans in de orde van enkele duizenden euro's.

Er zijn indicaties dat in Duitsland de autofabrikanten direct of indirect financieel bijdragen aan de stimulering van SCR retrofit. Zo'n betrokkenheid kan invloed hebben op de mogelijkheden om een uitvoerig pakket voorwaarden in een SCR retrofit programma op te nemen.

7.2.3 Potentiële respons

De Vlaamse overheid heeft een schatting gemaakt van het aantal aanwezige Euro 5 dieselvoertuigen dat in 2025 in principe de LEZ zal betreden. De schatting is gebaseerd op de in 2020 aanwezige Euro 5 voertuigen en de verwachte afname van dit voertuigaandeel t.g.v. reguliere verversing van het wagenpark, zie Table 7-3. In Antwerpen en Gent zullen op basis van reguliere ontwikkelingen van het wagenpark naar verwachting in 2025 27.000 tot 36.000 een LEZ betreden. Het verwachte aandeel Euro 4 dieselvoertuigen is niet bepaald, maar zal hoogstwaarschijnlijk zeer laag zijn omdat deze auto's in 2025 minimaal 16 jaar oud zijn. Dit betekent dat de potentiële markt voor verkoop van SCR retrofit systemen naar verwachting maximaal 27.000 tot 36.000 voertuigen groot is, maar waarschijnlijk minder. Financieel betekent dit een markt voor retrofit SCR van maximaal 125 miljoen euro. Dit lijkt een forse omvang, maar vrijwel ieder voertuigmodel vraagt een toegesneden systeem. In totaal zal het snel gaan over 100 verschillende systemen, die ieder voor zich aan de in paragraaf 7.2.1. opgesomde eisen dienen te voldoen. Gekoppeld aan de mogelijk lage respons van autobezitters, roept dit de vraag op of fabrikanten van systemen de ontwikkelingsinspanning zullen willen oppakken.
Voor eigenaren van kampeervoertuigen (campers) die veelal van één bepaald merk zijn lijkt er mogelijk wel een markt te zijn. Volgens de European Caravan Association zijn er in België op 31-12-2018 45.000 campers in gebruik. Het is niet bekend welk deel Euro 4 en 5 technologie aan boord hebben. Vooralsnog wordt het aantal Euro 5 campers in 2025 ingeschat op 15.000 tot 20.000.

Table 7-3: Totaal aantal en verwacht Euro 5 aandeel voertuigen dat in 2025 LEZ betreedt

Zichtjaar 2025		**Antwerpen**	**Gent**
Totaal aantal voertuigen in LEZ	[-]	300.000	150.000
Perc. Euro 5 diesel	[%]	6-8	6-8
Aantal Euro 5 diesel in LEZ	[-]	18.000 – 24.000	9.000 – 12.000

7.2.4 NO_x reductiepotentieel

In hoofdstuk 3 gaven we aan voor welk type diesels retrofittoepassingen beschikbaar en zinvol zijn. In paragraaf 7.1 is de gemiddelde potentiële NO_x reductie bepaald. Op basis hiervan schatten we het NO_x reductiepotentieel als volgt is voor Vlaanderen:

In Table 7-4 zijn de potentiële NO_x reducties van Euro 4 en 5 dieselvoertuigen weergegeven indien zij voorzien worden van een SCR-retrofit installatie.
De hoofddoelstelling van een dergelijke operatie is de beheersing van NO_x emissies in LEZ's waar hoofdzakelijk minder dan 60 km/h wordt gereden.

Bij dergelijke snelheden kunnen NO_x reducties van 11 - 23% worden behaald bij een omgevingstemperatuur van 20 ºC. Indien deze daalt naar 0 ºC is de verwachte NO_x reductie 6 -11%. Als het aandeel voertuigen met SCR retrofit in een LEZ 10 % is dan is de vermindering van de totale NO_x emissies slechts enkele procenten.

Table 7-4: Potentiële NOx reducties van Euro 4 en 5 dieselvoertuigen t.g.v. installatie van een SCR retrofit systeem bij een omgevingstemperatuur van 20 ºC.

	Stad	**Buitenweg**	**Snelweg**	**Totaal**
	NO_x	**NO_x**	**NO_x**	**NO_x**
	reductie	**reductie**	**reductie**	**reductie**
Euro-4	11-23%	28-39%	34-45%	26-38%
Euro-4 + cDPF	11-23%	28-39%	34-45%	26-38%
Euro-5	11-23%	28-38%	34-45%	26-38%

7.2.5 *Randvoorwaarden voor introductie van SCR retrofitprogramma's*

Hoofdstuk 1 en 7.2.1 geven de technische mogelijkheden en voorwaarden voor de typegoedkeuring en conformiteitswetgeving om de werking van SCR retrofit systemen bij aflevering te kunnen garanderen. Daarnaast is het belangrijk om de werking van de SCR systemen te garanderen in gebruik. We gaan in deze paragraaf daarom dieper in op hoe een SCR retrofitprogramma er in de praktijk best uitziet om het reductiepotentieel beschreven in paragraaf 7.1 te kunnen bereiken.

Controle van SCR retrofit systemen in de Autokeuring:
Tot op heden is geen eenvoudige emissietest beschikbaar voor controle van NO_x emissies in de Autokeuring. Er lopen diverse onderzoeksinitiatieven om een test op een eenvoudige rollenbank uit te kunnen voeren maar dit heeft nog niet geleid tot resultaat. De permanente monitoring van de SCR conversiegraad met een NO_x sensor voor en na de SCR katalysator lijkt de meest haalbare en effectieve oplossing voor controles in de Autokeuring. Hiervoor dienen nog wel de testprocedures en de criteria te worden ontwikkeld.
Mogelijk kunnen voertuigen periodiek worden gecontroleerd door middel van remote emission sensing. Dit vereist echter ook ontwikkeling van passende limietwaarden. Zo'n systeem vraagt nadere analyse hoe gegarandeerd kan worden dat alle voertuigen met SCR retrofit daadwerkelijk zullen worden bemeten.

Maatregelen ter voorkoming van manipulatie van systemen:
Manipulatie van SCR-retrofit systemen is mogelijk en alleen effectief controleerbaar als op onverwachte momenten zonder medeweten van de berijder controles (op afstand) worden uitgevoerd. Manipulatie om economische redenen zal gebeuren omdat de jaarlijkse kosten voor reagens te verminderen of reparatiekosten in geval van een optredend defect. Indien de NO_x conversie in de jaarlijkse Autokeuring wordt uitgelezen kan manipulatie naar verwachting redelijk snel worden gedetecteerd.

Een mogelijk alternatief voor detectie van manipulatie is het uitlezen van de softwareversie van een motormanagementsysteem en het aantal keren dat er een update heeft plaatsgevonden.

Aangezien de verwachte conversiegraden van SCR retrofit systemen in stadsverkeer beperkt zijn, is het de verwachting dat gemanipuleerde SCR retrofit systemen met remote emission sensing systemen in stadsverkeer niet detecteerbaar zijn. Mogelijk kan dat wel op de buitenweg of snelweg, maar hier zullen inzichten moeten worden opgebouwd zodat limietwaarden kunnen worden ontwikkeld.

7.2.6 Risico's bij invoering van SCR retrofit systemen

De huidige beschikbare informatie laat zien dat de risico's bij invoering van een SCR retrofit aanzienlijk zijn. Deels zijn de risico's technisch van aard, deels bestaan er risico's door manipulatie, gebrekkig onderhoud, etc. Alleen door kwalitatief goede wetgeving, adequate ISC programma's en kwalitatief goede Autokeuringen worden de technische risico's beperkt.

Alhoewel Euro 4 en 5 voertuigen met SCR retrofit soortgelijke NO_x emissies in de stad hebben als Euro 6 a/b/c/ dieselvoertuigen is de geschatte gemiddelde NO_x reductie in stadsverkeer relatief laag (6 – 23%) en dit helpt niet om het draagvlak van SCR retrofit te vergroten. Een eventueel SCR retrofit programma zal dan gevoelsmatig veel (maatschappelijke) inspanning kosten voor een zeer beperkte NO_x reductie in stadsverkeer.

Tijdlijn en noodzakelijkheid van SCR retrofit.

Indien vanaf 2025 alleen nog Euro 6 diesel personenvoertuigen toegelaten worden in LEZ's van Vlaamse steden en vanaf september 2027 alleen nog Euro 6d voertuigen en indien de SCR retrofit regeling het mogelijk zou maken dat Euro 4 en 5 diesel voertuigen nog 2,5 jaar langer (van 2025 tot september 2027) in de LEZ mogen rijden, dan heeft een voertuigeigenaar de keuze om te investeren in een SCR-retrofit installatie van € 2.500 tot € 7.000 of kan hij/zij voor deze periode een ontheffing kopen van enkele honderden euro's per jaar. Het is de verwachting dat de een dergelijke ontheffing de keuze voor een SCR-retrofit vrijwel uitsluit. Ook zullen leveranciers van SCR-retrofit systemen niet snel grote investeringen doen voor ontwikkeling van SCR-retrofit systemen omdat de verwachte te verkopen aantallen laag zijn.

8 Conclusies en aanbevelingen

In deze studie is in het kader van Lage Emissie Zones de haalbaarheid van SCR retrofit systemen voor dieselpersonen- en bestelwagens onderzocht. Hiervoor zijn de beschikbare systemen geïnventariseerd en hun NO_x emissieprestaties en de noodzakelijke technische en beleidsmatige randvoorwaarden in kaart gebracht.
De studie leidt tot de volgende bevindingen:

Beschikbaarheid van SCR retrofit systemen.
Vijf leveranciers van SCR retrofit systemen bedienen de Engelse en Duitse markt, vier van deze systemen passen het reagens AdBlue toe. De vijfde leverancier slaat het reagens als ammoniak in kristallijne vorm op. Het is de verwachting dat systemen die AdBlue gebruiken in de Vlaamse situatie om logistieke redenen het beste passen in de Vlaamse situatie.

Vlaamse wet- en/of regelgeving.
Als eerste stap voor een mogelijk SCR retrofit programma is Vlaamse wet- en/of regelgeving vereist. De voorwaarden voor toegang van dieselvoertuigen met SCR retrofit in een Vlaamse LEZ en de homologatie-eisen van SCR retrofit systemen dienen te worden beschreven. Voor de laatste kunnen de Duitse en Engelse regelgeving als basis dienen maar voor betere garanties van de praktijkemissies dienen deze te worden aangevuld met een uitbreiding van systeemeisen, aangescherpte testcondities en definiëring van handhavingsprogramma's.
Het is de verwachting dat de genoemde uitbreidingen van SCR retrofit regelgeving substantieel doorlooptijd/inspanning vergen.

Prijzen SCR retrofit systemen.
Eerste indicaties van prijzen van Duitse SCR retrofit systemen liggen tussen € 2.000,- en € 7.000,-. Eén gerenommeerde leverancier, met basis in Vlaanderen, waarvan verwacht wordt dat die relatief veel systemen zal afzetten biedt een systeem aan voor circa € 3.500,-.
Als de Vlaamse eisen uitgebreider zijn dan de Duitse eisen zullen de verwachte systeemprijzen (fors) hoger zijn.

Potentieel aantal voertuigen dat met SCR retrofit kan en zal worden uitgerust.
Op basis van huidige statistieken van de Vlaamse overheid wordt ingeschat dat in 2025 27.000 tot 36.000 Euro 5 dieselvoertuigen een LEZ betreden. Dit betekent dat de potentiële markt voor verkoop van SCR retrofit systemen naar verwachting maximaal 27.000 tot 36.000 voertuigen groot is, maar waarschijnlijk minder.

Als meerdere leveranciers deze markt met een groot aantal verschillende automerken/typen bedient, roept dit de vraag op of fabrikanten van systemen de ontwikkelingsinspanning zullen willen oppakken.

Verder is het de verwachting dat de huidige optie van betaling van een extra heffing van ongeveer € 300 per jaar voor toegang tot een LEZ in de periode 2025 t/m 2027 door veel voertuigeigenaren verkozen zal worden boven de aankoop van een SCR retrofit systeem.

Verwachte milieueffecten en vergelijk met Euro 6 dieselvoertuigen.
Onder zeer gunstige omstandigheden realiseren SCR retrofit installaties een NOx reductie tot wel 80%. In praktijkomstandigheden zal de efficiëntie lager zijn door sterk wisselende rij- en weerscondities en variaties in kwaliteit van inbouw en afstemming tussen SCR installatie en voertuig. De verwachte NO_x reducties ten gevolge van de installatie van SCR retrofit installaties op Euro 5 dieselvoertuigen zijn beperkt. Onder zomerse condities zijn de NO_x reducties: in stadsverkeer 11 tot 23%, op de buitenweg 28 tot 39% en op de snelweg 34 tot 45%. Indien de omgevingstemperatuur daalt naar 0 ºC is de verwachte NO_x reductie in stadsverkeer 6 -11%.

In de stedelijke omgeving, daar waar LEZ zich bevinden, liggen de verwachte NO_x emissies van Euro 4 en 5 voertuigen met SCR retrofit op het niveau van Euro 6abc voertuigen. Dit geldt voor zover dieselpersonenauto's als voor bestelauto's klassen 1 t/m 3. Op de buitenweg en snelweg zijn de verwachte NO_x emissies van voertuigen met SCR retrofit lager dan van Euro 6abc voertuigen. Voor bestelauto's klasse 3 gemiddeld wel 18-25% lager. Dieselpersonenauto's en lichte bestelauto's (klasse 2 en 3) benaderen op buitenweg en snelweg de emissies van Euro 6d-Temp voertuigen.. De emissiefactoren van Euro 6d-final voertuigen zijn onder alle rijomstandigheden, ook in de stedelijke omgeving, zeer veel lager dan die van Euro 4 en 5 voertuigen met SCR retrofit. Voertuigen die uitgerust worden met een SCR retrofit lopen een verhoogd risico op NH_3-emissies. NH_3 emissies zijn ongewenst en als deze niet worden gereglementeerd is de kans aanwezig dat voertuigen minder NO_x maar substantieel meer NH_3 uitstoten.

Technische randvoorwaarden voor goede werking van SCR retrofit systemen.
Randvoorwaarden voor goede werking van SCR retrofit systemen zijn essentieel om de beoogde NO_x reductie in de praktijk te realiseren.

Daarom dienen eisen te worden gesteld aan de volgende zaken:

- Aanvullende technische eisen (bijv. startblokkering in geval van lege AdBluetank en OBD functionaliteiten).
- Limietwaarden voor ammoniak emissies.
- Bewaking van emissies in de praktijk (monitoring).
- Garanties voor een goede inbouwkwaliteit van SCR retrofit systemen.
- Opleidingen voor onderhoudspersoneel.

Zijn er alternatieven voor SCR retrofit?
Twee alternatieven voor reductie van NO_x emissies zijn onderzocht en deze zijn niet of onvoldoende effectief voor de reductie van NO_x emissies en moeilijk uitvoerbaar.

De effectiviteit van de onderzochte software updates van emissiecontrolesystemen is mede door de verschillende toegepaste testmethodieken zeer divers. Verder is deze optie vanwege het grote aantal verschillende voertuigfabrikanten praktisch moeilijk uitvoerbaar.

Het gebruik van synthetische dieselbrandstof heeft geen of zeer gering effect (tot maximaal 5% reductie) op de NO_x emissies van Euro 5 dieselvoertuigen.

Duurzame werking van SCR retrofit systemen:
Gegeven de homologatietesten die op de rollenbank en op de openbare weg onder representatieve condities worden uitgevoerd door een onafhankelijke partij dienen voor een goede blijvende werking van SCR retrofit systemen eisen te worden gesteld aan de volgende zaken:

- Registratie van voertuigen die zijn voorzien van SCR retrofit in de nationale database. Dit is een noodzakelijke voor controle- en handhavingsdoeleinden.
- Definiëring van In Service Conformity programma's ter controle van de werking van SCR retrofit systemen (inclusief de verantwoordelijke partij). Deze programma's kunnen ook worden ingezet voor controle van de levensduureigenschappen.
- Bewaking van emissies in de praktijk (monitoring). Door permanente monitoring blijft er zicht op de actuele prestaties van voertuigen.
- Mogelijkheid tot controle in de Autokeuring en bij wegkantinspecties, dit kan goed worden gecombineerd met monitoring.
- Aansprakelijkheid en actieplannen voor het geval dat systemen niet goed functioneren.

Eindconclusie:
Voor reductie van NO_x emissies van Euro 5 dieselvoertuigen in Lage Emissie Zones is de toepassing van SCR retrofitsystemen een minder geschikte optie. De verwachte NO_x reductiepercentages in stadsverkeer liggen tussen 6 en 23%. Verder is een zeer breed, uitvoerig en kostbaar pakket aan (ontwikkelingen voor) maatregelen voor een relatief gering aantal voertuigen nodig om deze reductiepercentages blijvend te garanderen. Vanwege de mogelijkheid voor het kunnen betreden van een LEZ door de betaling van een in verhouding goedkope jaarlijkse heffing is de verwachte belangstelling voor SCR retrofit laag.

9 Afkortingen

AMOX	Ammonia oxidation catalyst
APK	Algemene Periodieke Keuring
ASC	Ammonia Slip Catalyst
CNG	Compressed Natural Gas
CUC	Clean Up Catalyst
DOC	Diesel Oxidation Catalyst
DPF	Diesel Particulate Filter
EGR	Exhaust Gas Recirculation
EOBD	Electronic On Board Diagnosis
GTL	Gas To Liquid
HVO	Hydrogenated Vegetable Oil
ISC	In Service Conformity
LD	Light Duty
LEZ	Lage Emissie Zone
LNT	Lean NOx Trap
LPG	Liquified Petroleum Gas
NEDC	New European Driving Cycle
NH_3	Ammoniak
NO_x	Nitrogen Oxides ($NO + NO_2$)
PEMS	Portable Emission Measurement System
PPM	Parts Per Million
PTI	Periodic Technical Inspection
RDE	Real Driving Emissions
SAPS	Sulphated Ash, Phosphorus, Sulphur
SEMS	Smart Emission Measurement System
SCR	Selective Catalytic Reduction
SCRF	Selective Catalytic Reduction with particulate filter
SEMS	Smart Emission Measurement System
TWC	Three Way Catalyst

10 Referenties

[TNO 2016b] Kadijk et al., *NO_x emissions of Euro 5 diesel vans – test results in the lab and on the road*, TNO report 2016 R10356.

[TNO 2016c] Heijne et al., *NO_x emissions of fifteen Euro 6 diesel cars: Results of the Dutch LD road vehicle emission testing programme 2016*, TNO report 2016 R11177.

[TNO 2017] Kadijk et al., *NO_x emissions of eighteen diesel Light Commercial Vehicles: Results of the Dutch Light-Duty road vehicle emission testing programme 2017*, TNO report TNO 2017 R11473.

[TNO 2020] Indrujuana and Ligterink., *Towards monitoring-based assessment – a demonstration of an emission study based on monitoring of a Renault Talisman and a Volkswagen Caddy*, TNO report 2020 R10438.

[UBA 2020] Schneider et al., *Fortentwicklung der Abgasuntersuchung*, Forschungskennzahl FKZ 37 17 57 1010 FB000130. https://www.umweltbundesamt.de/publikationen.

[ADAC 2019] ADAC Württemberg e.V., ADAC e.V. Test & Technical Services, *Euro5 diesel vehicles and their operation and performance in everyday traffic following a hardware retrofit*, ADAC report of 18 March 2019.

[Carslaw 2015] Carslaw et al., *Performance of optimized SCR retrofit buses* under urban driving and controlled conditions, Science direct Atmospheric Environment 105 (2015) 70-77.

[ADAC 2018] Final report "Reduction of NO_x emissions from Euro5 diesel vehicles by hardware retrofits" of 20 February 2018. Published at www.adac.de/scr

[UBA 2017] UBA Braunschweig, Ergänzung der Bewertung zu marktverfügbaren fahrzeugseitigen NOx-Nachrüsttechnologien und Bewertung der Nachbesserung

[EC JRC 2018] Giechaskiel et al., *Evaluation of NO_x emissions of a retrofitted Euro 5 passenger car for the Horizon prize "Engine retrofit",* Environmental Research 166 (2018), 298-309

[LowCVP 2019] Daniel Hayes, *The clean vehicle retrofit technology guide*, 2019. Published at https://www.lowcvp.org.uk/

[EC JRC 2019] Giechaskiel et al., *Emissions of a Euro 6b Diesel Passenger Car Retrofitted with a Solid Ammonia Reduction System,* Article in magazine Atmosphere of March 31st, 2019.

[BMVI 2018] Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur , *Bekanntmachung der Technischen Anforderungen an Stickoxid (NO_x)-Minderungssysteme mit erhöhter Minderungsleistung für die Nachrüstung an Pkw und Pkw-ähnlichen Fahrzeugen*, 21 december 2018.

[KBA 2020] Kraftfahrt-Bundesambt, *Wirksamkeit von Software-Updates zur Reduzierung von Stickoxiden bei Dieselmotoren*, 10 januari 2020.

[TNO 2019a] Indrajuana et al*, Effects of a software update on NO_x emissions and performance of a VW Polo*, TNO report TNO 2019 R10541v2, 29 November 2019.

[TNO 2019b] Kadijk et al., *Onderzoek NO_x emissiegedrag van een Jeep Grand Cherokee Euro 5a diesel*, TNO report TNO R10635, 3 mei 2019.

[TNO 2019c] Kadijk et al., *Onderzoek NO_x emissiegedrag van een Suzuki Vitara Euro 6b diesel*, TNO rapport TNO R11215, 24 september 2019.

[BMVI 2018a] Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur , *Bekanntmachung der Technischen Anforderungen an Stickoxid (NO_x)-Minderungssysteme mit erhöhter Minderungsleistung für die Nachrüstung an Pkw und Pkw-ähnlichen Fahrzeugen*, 21 december 2018.

[BMVI 2018b] Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur , *Bekanntmachung Förderrichtlinie für die Nachrüstung von Diesel-Bussen der Schadstoffklassen Euro III, IV, V und EEV im Öffentlichen Personennahverkehr*, 19 november 2018.

[CVRAS 2019] Energy Saving Trust, *Clean Vehicle Retrofit Certification (CVRC) for the clean vehicle retrofit accreditation scheme (CVRAS). Chassis dynamometer test procedures for approval of low emission adaptations to comply with clean air zones (CAZ)*, 23 september 2019.

[VUBTNO 2019] Hooftman et al., *Beleidsstudie naar het voorkomen en bestrijden van emissiefraude bij wegvoertuigen,* concept versie maart 2020.

[AECC 2019] Demuynck et al., *Integrated Diesel System Achieving Ultra-Low Urban and Motorway NOx Emissions on the Road*, AECC publication of 16-05-2019.

11 Ondertekening

Den Haag, 22 januari 2021

TNO

Arjan Eijk
Projectleider

Gerrit Kadijk
Auteur

A Bepaling van de gemiddelde potentiële NO_x reductie van Vlaamse Euro 4 en 5 dieselvoertuigen met SCR retrofit

In deze bijlage wordt modelmatig het NO_x reductiepotentieel van SCR retrofitsystemen voor Euro 4 en 5 dieselvoertuigen en de afhankelijkheden beschreven.

Invloedfactoren op de effectiviteit van SCR retrofit systemen

De gemiddelde NO_x reductie van SCR retrofit systemen is afhankelijk van de volgende factoren:

1. De Euroklasse van het voertuig.
2. Het type voertuig (M of N klasse 1,2,3).
3. De kwaliteit van de SCR retrofit installatie.
4. De kwaliteit van de nationale typegoedkeuring van SCR retrofit installaties.
5. Het (dominante) gebruik van het voertuig (stad/buitenweg/snelweg).
6. De kwaliteit van het onderhoud van de SCR retrofit installatie.
7. De mate van handhaving en monitoring door de Vlaamse overheid.
8. De omgevingstemperatuur.

Modelberekeningen NO_x emissies van voertuigen met SCR retrofit

Voor de bepaling van de gemiddelde NO_x emissie van voertuigen met SCR retrofit systemen wordt in dit model gewerkt met de volgende formule:

EFscr = EF * SCR conv. * RF(A) * RF(B) * WT 1/2/3

EFscr	= Emissiefactor voertuigen met SCR retrofit.
EF	= Emissiefactorfactor voertuigen voorafgaand aan SCR retrofit
SCR conv.	= SCR conversiegraad retrofitsystemen obv af-fabrieksopgave
RF(A)	= Praktijkwerkingsgraad retrofit t.o.v. af-fabriek
RF(B)	= Praktijkkwaliteit bestaande SCR retrofit installaties
WT 1/2/3	= Kilometeraandelen stad/buitenweg/snelweg

Toelichting formule:

- De Emissiefactor (EFscr) na retrofit hangt af van praktijkemissies voorafgaand aan retrofit. Hiervoor worden de Vlaamse emissiefactoren (EF, gebaseerd op COPERT) als uitgangspunt genomen.
- Retrofit systemen hebben een omzettingsrendement dat afhangt van installatie ontwerp en voertuig. De omzettingsrendementen zijn niet beschikbaar in publieke rapporten. Het NO_x reductiepotentieel (SCR conv.) van SCR retrofit systemen is door TNO bepaald op basis van door TNO gemeten NO_x reducties in monitoringsprogramma's van Euro 6b dieselvoertuigen. Deze geteste Euro 6b dieselvoertuigen met af-fabriek SCR systemen die voor en na de SCR katalysator waren voorzien van een NO_x sensor zijn gedurende enkele duizenden kilometers getest. De NO_x concentraties voor en na SCR werden met een frequentie van 1 Hz gelogd.

De geschatte omzettingsrendementen zijn verder naar boven aangepast op basis van technische inzichten omdat ingeschat wordt dat op de buitenweg en snelweg hogere conversiegraden mogelijk zijn dan in de geteste voertuigen. Het lijkt er op dat SCR systemen in Euro 6 abc voertuigen suboptimaal worden gebruikt om AdBlue te besparen.

- Praktijkwerkingsgraad: Daarnaast zal de kwaliteit van retrofit installaties, mede door afstemmingsproblemen tussen systeem en voertuig, lager zijn dan de af-fabrieksopgave. Dit wordt uitgedrukt in RF (A).
- De Praktijkkwaliteit RF (B): Er wordt ingeschat dat de gemiddelde NOx reductie van de vloot voertuigen met SCR retrofit wordt beïnvloed door het aandeel SCR retrofit installaties dat niet of niet goed functioneert omdat de systemen waarschijnlijk nog niet volledig zijn ontwikkeld onder praktijkcondities als deze op de markt komen.
- Zowel Emissiefactor als conversiefactor hangen sterk af van het gebruik van het voertuig. Op snelwegen is het rendement veelal hoger door een hoge uitlaatgastemperatuur en in stadsritten meestal lager, omdat het systeem moeite zal hebben op temperatuur te komen.
  Met de gegeven formule kan de gemiddelde emissie van een voertuig uit een bepaalde Euroklasse na toepassing van een retrofit SCR worden vergeleken met de gemiddelde emissie van een voertuig dat niet aan een retrofit programma deelneemt.

Bepaling emissiefactoren van voertuigen met SCR retrofit systeem.

Als vertrekpunt gelden de Vlaamse emissiefactorfactoren (COPERT) van Euro 4 en Euro 5 personen- en bestelwagens (klasse 3), zie Table 11-1 en Table 11-2.
De emissies van bestelwagens van de klassen 1 en 2 zijn ruwweg gelijk aan personenwagens. De NOx emissiefactorfactoren van Euro 4 voertuigen zonder DPF zijn gelijk aan die van Euro 4 voertuigen met DPF. Ter vergelijk zijn ook de verschillende COPERT Euro 6 emissiefactorfactoren vermeld.

Table 11-1: COPERT emissiefactorfactoren van Euro 4 en 5 light duty dieselvoertuigen (M1) zonder SCR (personenauto's en bestelauto's klasse 1 en 2).

Emissieklasse	**Stad**	**Buitenweg**	**Snelweg**
	NO_x	**NO_x**	**NO_x**
	[mg/km]	**[mg/km]**	**[mg/km]**
Euro-4	0.648	0.444	0.686
Euro-4 + cDPF	0.648	0.444	0.686
Euro-5	0.683	0.513	0.613
Euro-6abc	0.563	0.422	0.386
Euro-6d-Temp	0.430	0.323	0.386
Euro-6d-final	0.209	0.157	0.187

Table 11-2: COPERT emissiefactorfactoren van Euro 4 en 5 light duty bestelwagens (N1 klasse 3) zonder SCR.

Emissieklasse	**Stad**	**Buitenweg**	**Snelweg**
	NO_x	**NO_x**	**NO_x**
	[mg/km]	**[mg/km]**	**[mg/km]**
Euro-4	0.887	0.679	0.980
Euro-4 + cDPF	0.887	0.679	0.980
Euro-5	1.204	1.116	2.149
Euro-6abc	0.973	0.902	1.736
Euro-6d-Temp	0.347	0.321	0.619
Euro-6d-final	0.090	0.084	0.161

SCR conv: Bepaling van de verwachte NO_x conversie van SCR retrofit systemen:
Het NO_x reductiepotentieel (SCR conv.) van SCR retrofit systemen is bepaald op basis van door TNO gemeten NO_x reducties in monitoringsprogramma's. Deze geteste Euro 6b dieselvoertuigen met af-fabriek SCR systemen die voor en na de SCR katalysator waren voorzien van een NO_x sensor zijn gedurende enkele duizenden kilometers getest. De NO_x concentraties voor en na SCR werden met een frequentie van 1 Hz gelogd.

Per wegtype (stad/buitenweg/snelweg) zijn de data geanalyseerd.
Vervolgens zijn de verwachte NO_x reducties van SCR retrofit systemen (SCR conversiegraden) op basis van deze meetdata en technische inzichten bepaald (bij een omgevingstemperatuur van 20 ºC). Hiervoor zijn twee scenario's gehanteerd die resulteren in een bandbreedte van de conversies.

Dit heeft geresulteerd in de volgende NO_x conversies van SCR retrofit systemen:
- stadsverkeer 20-40%,
- buitenweg 50-70%,
- snelweg 60-80%.

Praktijkwerkingsgraad): Toelichting en onderbouwing reductiefactor RF(A)
De reductiefactor A is toegepast omdat naar verwachting de effectiviteit van een retrofit systeem lager is dan een af-fabriek systeem. Een retrofit SCR katalysator op een Euro 4 of 5 voertuig zal naar verwachting op een lagere bedrijfstemperatuur functioneren dan een SCR katalysator op een Euro 6b voertuig om de volgende twee redenen:

1. De positionering van een SCR retrofit katalysator in het uitlaatsysteem ten tijde van de inbouw praktisch niet geoptimaliseerd kan worden.
2. De motorkalibratie van een Euro 4 en 5 voertuig geoptimaliseerd is op brandstofverbruik en dit resulteert in relatief lage uitlaatgastemperaturen. Het is een bekend gegeven dat in deze voertuigen onder praktijkcondities minder EGR wordt toegediend dan onder typegoedkeuringscondities op de rollenbank. Door relatief meer EGR toe te voeren zou de actuele bedrijfstemperaturen in uitlaatsystemen stijgen, tevens daalt dan de NO_x emissie van de motor zodat de SCR katalysator minder NO_x hoeft te reduceren om een bepaalde voertuigemissie te realiseren.

De gekozen reductiefactor A is 0.75. Dit betekent dat SCR retrofit systemen 25% minder NO_x reduceren dan af-fabriek systemen.

Praktijkkwaliteit: Toelichting en onderbouwing reductiefactor B:
Verder wordt ingeschat dat de gemiddelde NO_x reductie van de vloot voertuigen met SCR retrofit wordt beïnvloed door het aandeel SCR retrofit installaties dat niet of niet goed functioneert. Ondanks de retrofit programma's in Duitsland, is verdere productontwikkeling van SCR retrofit installaties vereist voor een brede toepassing in een breed scala aan voertuigen in de Vlaamse situatie. Bij de huidige stand der techniek zullen kinderziektes verholpen moeten worden, het is de verwachting dat een gedeelte van de installaties niet of niet goed functioneert. Ook is het de verwachting dat voertuigeigenaren die eenmaal hun licentie voor toelating in een LEZ hebben minder snel geneigd zijn een defecte SCR retrofit installatie te laten repareren. Ook is manipulatie of verwijdering van de SCR retrofit denkbaar. Deze reductiefactor B zal ook afhankelijk zijn van het handhavingsbeleid van de Vlaamse overheid.

Vooralsnog wordt deze reductiefactor RF(B) op 0.75 geschat. Dit betekent dat 25% van de SCR retrofit installaties inactief zijn.

Emissiefactorfactoren van de vloot van voertuigen met SCR retrofit systemen:
In Table 11-3 en Table 11-4 zijn de verwachte gemiddelde emissiefactorfactoren van de vloot Euro 4 en Euro 5 personen- en bestelwagens uitgerust met SCR retrofit weergegeven. Ter vergelijk zijn ook de verschillende COPERT Euro 6 emissiefactorfactoren vermeld.

De emissiefactorfactoren in stadsverkeer van Euro 5 voertuigen die zijn uitgerust met SCR komen vrijwel overeen met de emissiefactorfactoren van Euro 6 a/b/c voertuigen. Op de buitenweg en snelweg zijn de emissiefactorfactoren van Euro 5 voertuigen met SCR retrofit (iets) gunstiger dan die van Euro 6 a/b/c voertuigen. De gepresenteerde marge weerspiegelt de bandbreedte in de twee snenario's gehanteerd voor inschatting van de conversiegraad SCRconv van de verschillende retrofit systemen.

Table 11-3: Verwachte gemiddelde emissiefactorfactoren van de vloot Euro 4 en 5 light-duty dieselvoertuigen (M1) met SCR retrofit (praktisch scenario).

Emissieklasse	**Stad**	**Buitenweg**	**Snelweg**
	NO_x	**NO_x**	**NO_x**
	[mg/km]	**[mg/km]**	**[mg/km]**
Euro-4	0.502 – 0.575	0.269 – 0.319	0.377 – 0.455
Euro-4 + cDPF	0.502 – 0.575	0.269 – 0,319	0.377 – 0.455
Euro-5	0.530 – 0.607	0.311 – 0.368	0.337 – 0.406
Euro-6abc	0.563	0.422	0.386
Euro-6d-Temp	0.430	0.323	0.386
Euro-6d-final	0.209	0.157	0.187

Table 11-4: Verwachte gemiddelde emissiefactorfactoren van de vloot Euro 4 en 5 light-duty dieselvoertuigen (N1 klasse 3) met SCR retrofit (praktisch scenario).

Emissieklasse	**Stad**	**Buitenweg**	**Snelweg**
	NO_x	**NO_x**	**NOx**
	[mg/km]	**[mg/km]**	**[mg/km]**
Euro-4	0.688 – 0.788	0.412 – 0.488	0.539 – 0.649
Euro-4 + cDPF	0.688 – 0.788	0.412 – 0.488	0.539 – 0.649
Euro-5	0.933 – 1.068	0.677 – 0.802	1.182 – 1.424
Euro-6abc	0.973	0.902	1.736
Euro-6d-Temp	0.347	0.321	0.619
Euro-6d-final	0.090	0.084	0.161

Emissiereductie: EFscr/EF

Met bovenstaande info kan het reductie-effect van SCR retrofit worden berekend = EFscr/EF.

Verwachte emissiereducties van voertuigen met SCR retrofit bij een omgevingstemperatuur van 20 ºC:
Met een Vlaamse verdeling van de gereden kilometers van stad/buitenweg/snelweg (24.0/36.5/39.5) leidt dat tot de volgende gemiddelde emissiereducties van de totale vloot van Euro 4 en Euro 5 dieselvoertuigen met SCR retrofit, zie Table 11-5.

Met de aannames voor de reductiefactoren A en B van elk 75% bij implementatie van SCR retrofitsystemen en een Vlaamse kilometerverdeling stad/buitenweg/snelweg van 24.0 / 36.5 / 39.5 en <u>een omgevingstemperatuur van 20 ºC</u> daalt de NOx emissie van Euro 4 en 5 diesel personen- en bestelvoertuigen (M en N voertuigen) met een SCR retrofit installatie gemiddeld met 26-38% (onderverdeeld in stad 11-23%, buitenweg 28-39% en snelweg 34-45%).

Table 11-5: Verwachte gemiddelde NOx reducties van de Vlaamse vloot van Euro 4 en 5 dieselvoertuigen (M1 en N1 klasse 3) met SCR retrofit.

	Stad	**Buitenweg**	**Snelweg**	**Totaal**
	NO_x	**NO_x**	**NO_x**	**NO_x**
	reductie	**reductie**	**reductie**	**reductie**
Euro-4	11-23%	28-39%	34-45%	26-38%
Euro-4 + cDPF	11-23%	28-39%	34-45%	26-38%
Euro-5	11-23%	28-38%	34-45%	26-38%
Euro-6abc	0%	0%	0%	0.0%
Euro-6d-Temp	0%	0%	0%	0.0%
Euro-6d-final	0%	0%	0%	0.0%

Verwachte emissiereducties van voertuigen met SCR retrofit bij een omgevingstemperatuur van 0 ºC:
Bij een omgevingstemperatuur van 0 ºC is het de verwachting dat de NOx reducties van Euro 4 en 5 diesel personen- en bestelvoertuigen met een SCR retrofit installatie gemiddeld met 23-29% zijn (onderverdeeld in stad 6-11%, buitenweg 23-28% en snelweg 34-39%).