

Luft nach oben: ein Whitepaper zur SCR-Nachrüstung von PKW-Modellen mit 4-Zylinder-Dieselmotoren des Konzerns Stellantis	
Die Einzelprojekte wurden gefördert durch	
 Bundesministerium für Digitales und Verkehr	 Bundesanstalt für Verwaltungsdienstleistungen
Referenz Förderkennzeichen:	
FKZ 45SYS00031	

Inhaltsverzeichnis

I. Einleitung	3
Hintergrund	3
Die Entwicklung des Bestandes	4
II. Umsetzung & Wirksamkeit bei Personenkraftwagen.....	7
Konzept.....	7
III. Produktdatenerfassung der Fahrzeuge mit 4 Zylinder Dieselmotoren (Euro 5) aus dem Stellantis Konzern.....	14
Familie I – Prüffahrzeug Opel Insignia.....	17
Familie II – Prüffahrzeug Peugeot Expert.....	19
IV. Fahrzeugspezifische Anpassung in Familie I und II	22
Familie I – Opel Insignia.....	23
Familie II – Peugeot Expert.....	25
V. Konstruktion und Bau sowie Validierung prototypischer Systeme.....	27
VI. Aufbau und Applikation von nachgerüsteten Demonstratorfahrzeugen.....	29
Familie I – Testfahrzeug Opel Insignia	29
Familie II – Testfahrzeug Peugeot Expert	31
VII. Systemvalidierung, Leistungsmessungen und Produkt-/Projektdokumentation.....	33
Familie I – Prüffahrzeug Opel Insignia.....	34
Familie II – Prüffahrzeug Peugeot Expert.....	35
VIII. Fazit	38

I. Einleitung

**Keine Angst vor neuen Grenzwerten – es gibt noch Luft nach oben:
Umwelt & Gesundheitsschutz mit alten Dieseln - erfolgreiche Lösungsansätze.**

HJS entwickelt seit 2020 gefördert durch das Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV) modulare Systeme zur Reduktion von Emissionen und Bestandsfahrzeugen. Hierbei liegt der Fokus auf einer zeitwertgerechten Nachrüstung vor allem von Nutzfahrzeugen im gewerblichen und kommunalen Einsatz, die sich durch hohe spezifische Schadstoffemissionen und eine hohe Lebensdauer auszeichnen.

Eine signifikante Elektrifizierungsrate durch Neuanschaffungen ist bei diesen Anwendungen kurz- und auch mittelfristig mangels Verfügbarkeit nicht zu erwarten. Durch den Einsatz technologisch fortschrittlicher Nach- und Umrüstsysteme wird dennoch auch für diese Anwendungen ein zusätzlicher, notwendiger Beitrag zur Senkung von Emissionen ermöglicht.

Die von HJS zur Marktreife entwickelten Nach- und Umrüstungssysteme stellen somit eine Brückentechnologie dar, die die unvermeidbare Weiternutzung von Bestandsmotoren auch unter ökologischen Aspekten ermöglicht.

Hintergrund

Eine Vielzahl von Kommunen in Deutschland sieht sich seit Jahren einer teilweise erheblichen Stickstoffdioxid-Belastung ausgesetzt. Die Bundesregierung hat daher ergänzend zu dem „Sofortprogramm Saubere Luft 2017 bis 2020“ ein Konzept für saubere Luft und die Sicherung der individuellen Mobilität am 2. Oktober 2018 vorgestellt. In vielen Kommunen hat sich die Luftqualität verbessert, neue WHO Grenzwertempfehlungen¹ aus 09.2020 führen aber weiterhin zu Handlungsbedarf im Bereich NOx aber auch Feinstaub.

Das EU-Parlament hatte bereits im März 2021 gefordert, dass die zuständige EU-Kommission sich an den neuen WHO-Richtwerten orientiert, die Adaption mit Vorschlag zu einer Gesetzgebung² wurde am 26. Oktober 2022 veröffentlicht.

Das Umweltbundesamt schreibt hierzu bereits in seiner Pressemitteilung zur Luftqualität 2021 vom 10.02.2022 „Allerdings muss man trotz dieser Erfolge berücksichtigen, dass die EU-weit gültigen Grenzwerte für Feinstaub und Stickstoffdioxid vor mehr als 20 Jahren festgelegt wurden und dringend an die neuesten wissenschaftlichen Erkenntnisse über die gesundheitlichen Auswirkungen von Luftverschmutzung angepasst werden müssen“

Bezugnehmend auf die zum Zeitpunkt der Veröffentlichung der WHO-Grenzwerte zur Verfügung stehenden Jahresmittelwerte des Jahres 2020 überschreiten nachweislich mindestens

¹ World Health Organization. (2021). WHO global air quality guidelines: particulate matter (PM2.5 and PM10), ozone, nitrogen dioxide, sulphur dioxide and carbon monoxide. World Health Organization. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/345329>

² Proposal for a revision of the Ambient Air Quality Directives https://environment.ec.europa.eu/publications/revision-eu-ambient-air-quality-legislation_en

400 deutsche Kommunen³ die neue WHO-Empfehlung für Stickstoffdioxid (NO₂) von 10 µg/m³ im Jahresmittel. Bei Feinstaub (PM_{2,5}) überschreiten nahezu alle Kommunen den empfohlenen Grenzwert von 5 µg/m³ im Jahresmittel. Selbst in kleinen Städten und auf dem Land gibt es zahlreiche Überschreitungen.

Die Entwicklung des Bestandes

Die Verfügbarkeit klimaschonender Antriebe bei Neuanschaffungen wird voranschreiten. Dennoch ist zu erwarten, dass es vor allem im Bereich der Nutzfahrzeuge mangels Angebots keine signifikante Elektrifizierungsrate geben wird.

Die Analyse verschiedener Studien kommt zu einem klaren Bild: Im Jahr 2031 werden noch über > 40 Millionen Verbrennungsmotoren in Deutschland im Einsatz sein, davon rund 1.4 Mio. Motoren in urbanen, gewerblichen Anwendungen.

Tabelle 1: Ergebnis Recherche⁴

Segment	Emission	2021	2031
PKW	Euro 5	4.300.000	37.500.00
	Euro 6d/t	1.800.000	
	Rest	41.800.000	
Urbane Logistik (bis 12 t)	Euro V	1.000.000	500.000
	Euro VI	1.187.867	500.000
ÖPNV-Busse & Kommunal	Euro V	61.000	15.250
	Euro VI	68.000	98.750
Fernlogistik (> 12t) und Fernbusse	Euro V	108.000	25.000
	Euro VI	334.000	775.000
Baumaschinen & stationäre Motoren	Stufe III-IV	250.000	62.500
	Stufe V	50.000	237.500
Landmaschinen	Gesamt	1.500.000	1.500.000
Bahn	Gesamt	~ 5.000	~ 5.000
Binnenschiffe	Gesamt	~ 5.000	~ 5.000

Ohne weitere Maßnahmen werden somit wohl auch noch in 5 Jahren die Hälfte aller heutigen Nutzfahrzeuge bis 12t mit Dieselmotoren der Emissionsnorm Euro V/EEV im Markt sein.

³ <https://www.tagesschau.de/investigativ/ndr/who-luftverschmutzung-111.html>

⁴ Interne HJS Recherche

Selbst in 10 Jahren ist immer noch ein Anteil von über 25% aller heutigen Nutzfahrzeuge bis 12t mit Dieselmotoren der Emissionsnorm Euro V/EEV im Markt zu erwarten. Diese belegen die nachfolgenden Statistiken der ACEA ⁵.

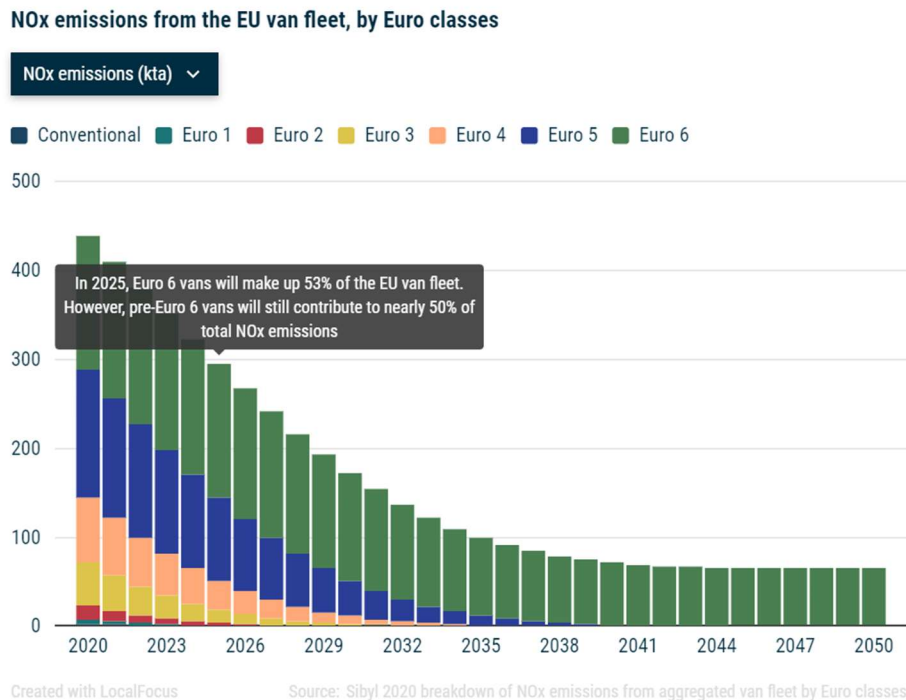


Abbildung 1: Beispiel-Studie ACEA: im Jahr 2030 werden 38kt von 150kta also ca. 25% der NOx-Emissionen im Bereich der LDV von Fahrzeugen der Generation Euro 5 und älter verursacht

⁵ European Automobile Manufacturers' Association, (ACEA): NOx emissions from the EU van fleet by Euro classes, 27.01.2023: https://www.acea.auto/figure/nox-emissions-from-the-eu-van-fleet-by-euro-classes/?utm_source=mailpoet&utm_medium=email&utm_campaign=newsletter-post-title_191

NOx emissions from the EU van fleet, by Euro classes

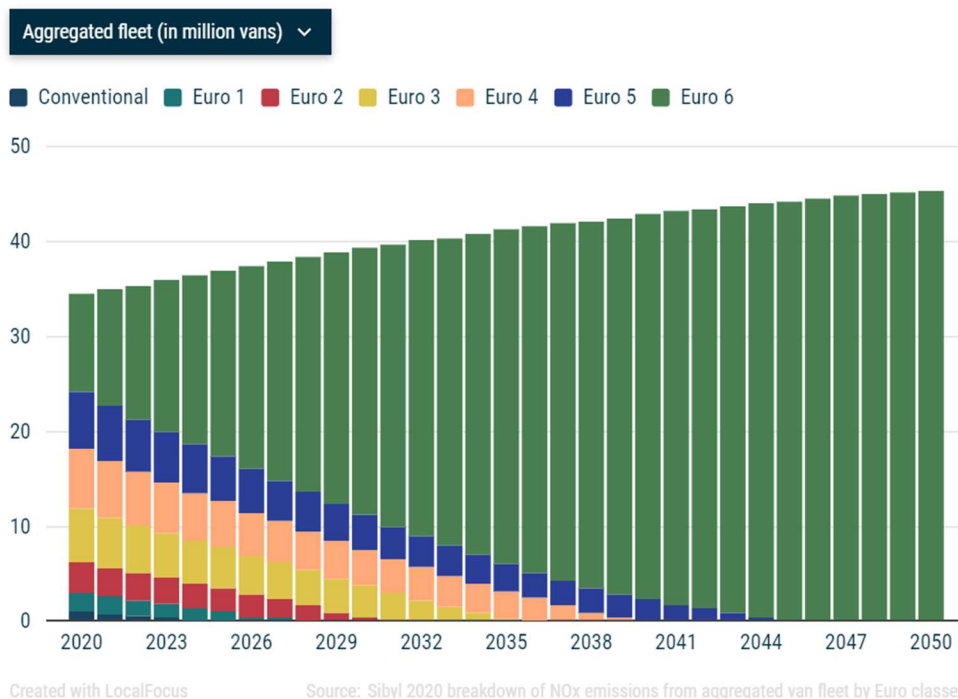


Abbildung 2: Beispiel-Studie ACEA: im Jahr 2031 werden 10 Mio. von 40 Mio. also ca. 25% Fahrzeuge im Bereich der LDV-Fahrzeuge der Generation Euro 5 und älter sein

Hinzu kommen Baumaschinen, stationäre Aggregate, Schiffe oder Bahnanwendungen: Diese werden in der laufenden Dekade mangels Alternativen noch im Wesentlichen mit Verbrennungsmotor zugelassen und langfristig betrieben.

Der Einsatz technologisch fortschrittlicher Nach- und Umrüstsysteme an Fahrzeugen oder Maschinen mit Dieselmotoren kann einen zusätzlichen Beitrag zur Senkung von Emissionen ermöglichen und so die Luftqualität und damit den Gesundheitsschutz der Bevölkerung vor allem in Städten und anliegenden Landkreisen effektiv verbessern.

So kann der Schadstoffausstoß zeitnah drastisch reduziert werden, zusätzlich haben Maßnahmen zur Verringerung der Luftverschmutzung auch einen unmittelbaren Effekt auf die Reduzierung von Treibhausgasen und unterstützen beim Klimaschutz.

Dieselmotoren werden mit innovativen, modularen Abgasnachbehandlungssystemen auch die zukünftigen Emissionsvorschriften erfüllen und so quasi zu „zero impact“ Antrieben. Die Kombination aus elektrischen Hochleistungsabgasheizern, einem effizienten SCR-System und weiterentwickelter Beschichtungs- und Substrattechnologie ermöglicht die Erfüllung zukünftiger, strenger Emissionsgesetzgebungen. Dazu müssen Schadstoffemissionen unter allen Betriebsbedingungen, auch unmittelbar nach Kaltstart, fast vollständig vermieden werden.

II. Umsetzung & Wirksamkeit bei Personenkraftwagen

Konzept

Bei der Ausarbeitung des Konzeptes wurde untersucht, inwieweit auf vorhandene Technologien von HJS und Originalkomponenten des vorhandenen Abgasnachbehandlungssystems zurückgegriffen konnte.

Da die Fahrzeuge im Originalzustand lediglich über ein DPF und DOC verfügen, nicht aber über Module zur Stickoxid-Reduktion, sollte ein SCR-System zur Reduktion der Stickoxid-Emissionen ausgearbeitet werden.

Das neue System basiert auf folgendem Ansatz (Abbildung 3):

- SCR-Katalysator mit vorgeschalteter Mischstrecke inkl. Mischer und Flansch zu Aufnahme des Injektors,
- Thermomanagement mittels Heizelementes, um auch bei ungünstigen Temperaturbedingungen eine hohe Stickoxid-Minderung zu erzielen,
- Autarke Systemarchitektur.

Es wurde dabei auch untersucht, ob die Verwendung eines Partikelfilters auf Sintermetallbauweise anstelle des Original-Filters technische Vorteile bietet. Die Bewertung ergab, dass der vorhandene DPF bei beiden Fahrzeugen weiterverwendet werden konnte und das SCR-System hinter DPF und DOC platziert werden sollte.

Um das System zu realisieren, wurde ein Aufbau bestehend aus folgenden Komponenten ausgearbeitet:

- SCR-Katalysator (Abbildung 4) mit Mischerrohrbogen (Abbildung 5),
- AdBlue-Tank (Abbildung 6) und Dosiersystem,
- Heizelement (Abbildung 7).

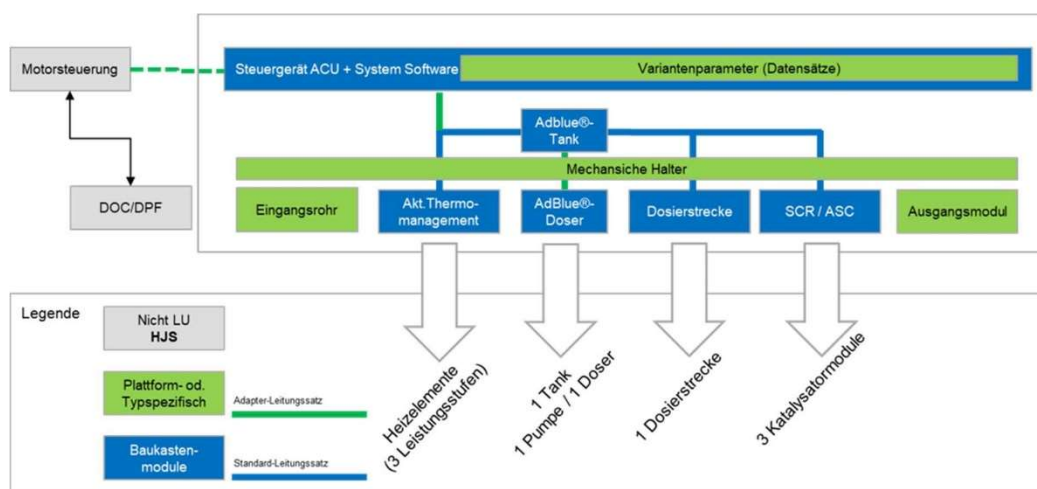


Abbildung 3: Konzept des Nachrüstsystems

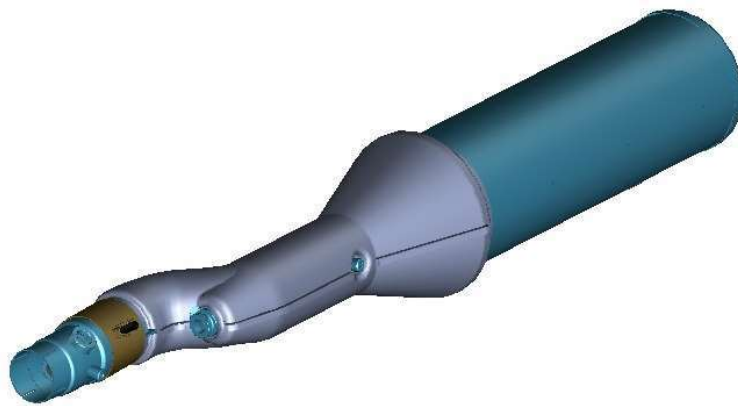


Abbildung 4: SCR- Nachrüstsystem

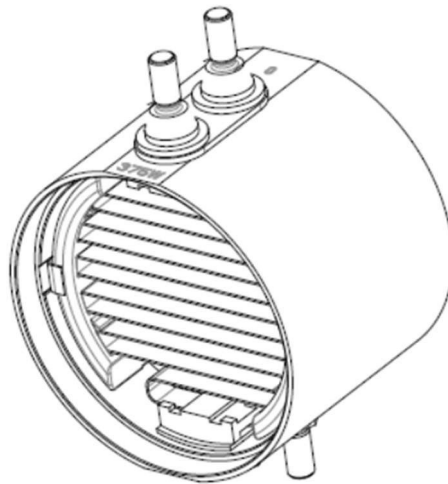


Abbildung 5: Heizelement

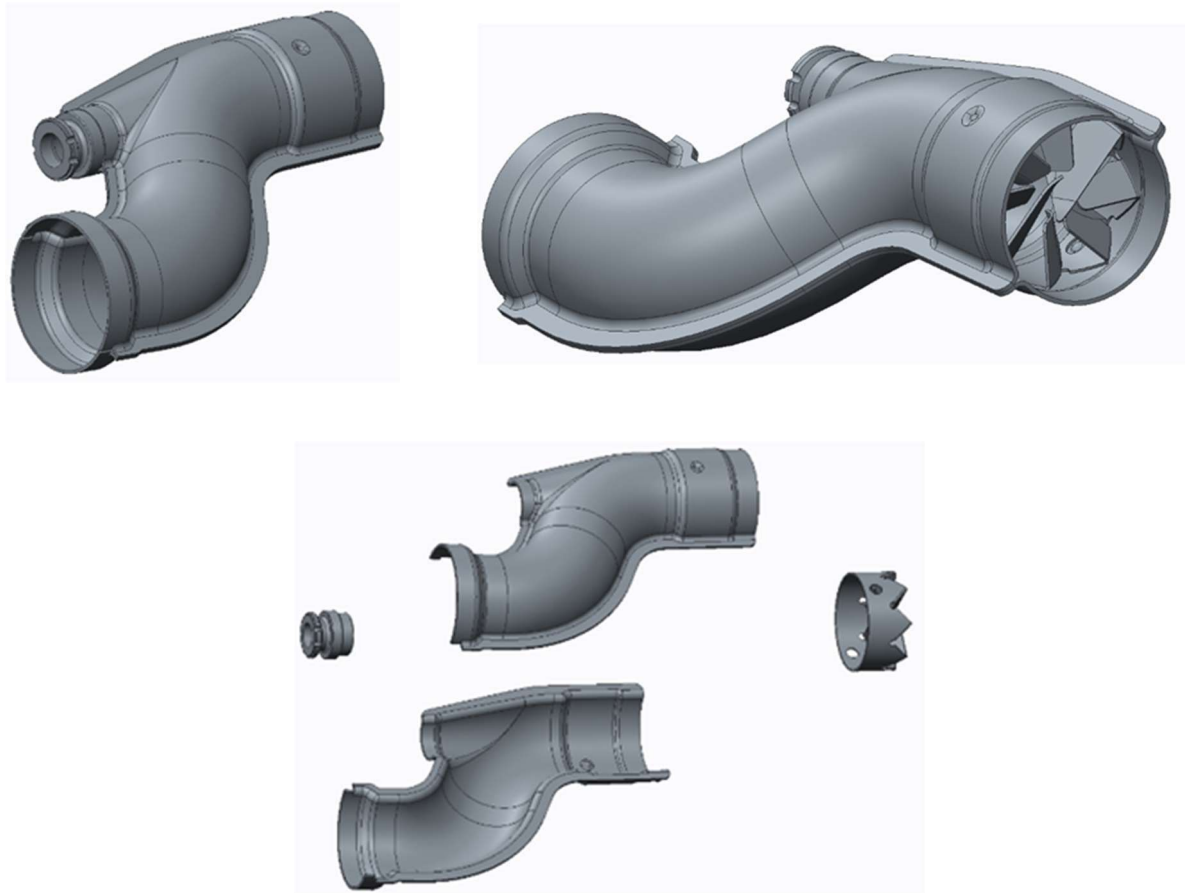


Abbildung 6: Mischerrohrbogen mit Flansch für das Dosiermodulflansch

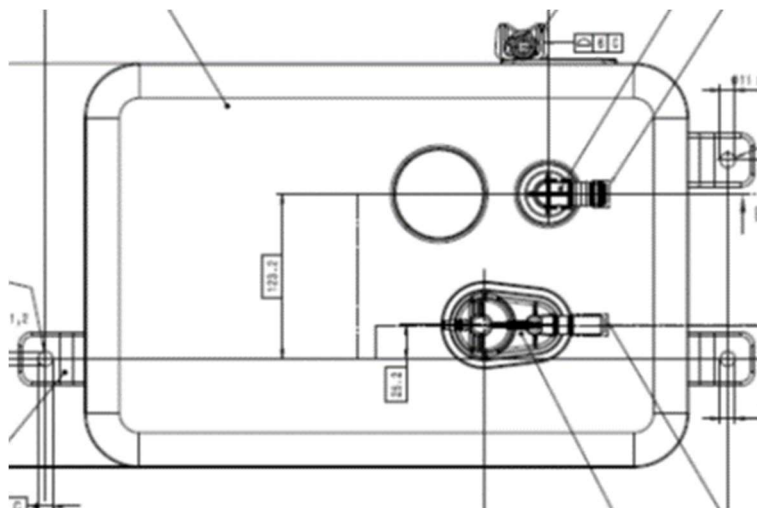


Abbildung 7: AdBlue-Tank

Die Realisierung des Nachrüstsystems setzt ein Signal- und Datenverarbeitungskonzept voraus, dass autark von der Fahrzeugsteuerung des OEM-Hersteller und auch von möglichen Updates unabhängig ist. Dieses Konzept basiert auf dem Auslesen des Luftmassenmessers

und einer neuen Schnittstelle zum Ladeluftdrucksensor zur Realisierung des Inducements unter Nutzung vorhandener Fehlerpfade, wie in Abbildung 8 dargestellt.

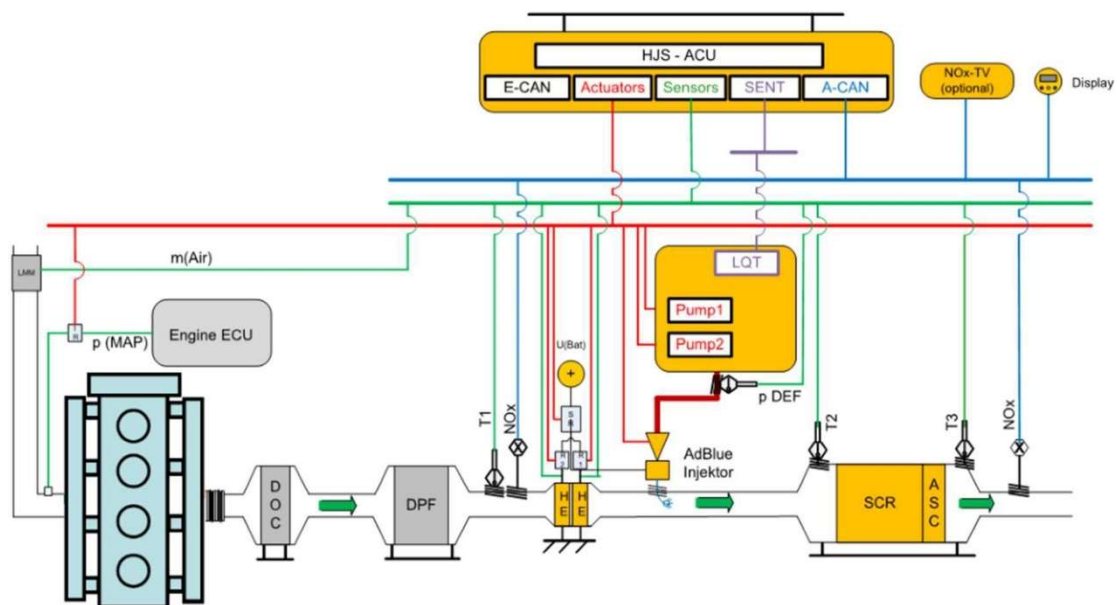


Abbildung 8: Signallaufplan des Eingriffskonzeptes der nachrüstbaren Abgasnachbehandlung (Systemumfang HJS in gelb)

Das Konzept umfasst:

- Erkennung Motorlauf,
- Aktivierung des Dosiersystems (Druckaufbau in der Leitung),
- Messung von Abgastemperatur, Luftmasse und NOx-Konzentration,
- Ansteuerung des Heizelements (Stufe 0, 1, 2 oder 3),
- Berechnung der AdBlue-Dosiermenge zur Erzielung des maximal möglichen Umsatzes,
- parallel erfolgt die fortlaufende Berechnung des NH₃-Speicherfüllstands,
- fortlaufende Messung von AdBlue-Level im Tank und AdBlue-Qualität,
- Anzeige von Serviceinformationen und Fehlern mittels Displays,
- Einleiten des Inducements (Fahrzeugnotlauf), z. B., wenn trotz mehrmaliger Aufforderung kein AdBlue nachgetankt wird,
- Herunterfahren/Deaktivieren des Systems nach Abstellen des Motors.

Hinzu kommen zahlreiche Diagnosefunktionen, um das System als Ganzes, aber auch die Funktion der einzelnen Komponenten zu überwachen.

Temperatur und NOx-Konzentration vor und nach SCR stellen die wesentlichen Größen zur Steuerung des SCR-Systems dar und werden durch eigene Sensoren ermittelt. Das Signal des Luftmassenmessers wird jedoch vom Fahrzeug abgegriffen.

Weitere Komponenten wie das Heizungsrelais und eine Kabelbaum vervollständigen die Stückliste, sind hier allerdings nicht dargestellt.

Folgende Anforderungen an das Nachrüstsystem wurden im Rahmen der Spezifikation festgelegt und bei der Ausarbeitung des Systems berücksichtigt:

- der Grenzwert für die Stickoxid-Emission von 270 mg/km ist einzuhalten,
- der Mehrverbrauch darf max. 6 % betragen,
- Vermeidung von Fehlermeldungen der Motorsteuerung nach Einbau des Nachrüstsystems ohne Defeat device.

Folgende Aufgaben und Herausforderungen stellten sich bei der Ausarbeitung des Systems:

- Berücksichtigung der Einbausituation und des Bauraums beim Grunddesign des Katalysatormoduls,
- Ausarbeitung eines Tanks und Betankungssystems für den Nutzer,
- Ausarbeitung von ACU, Relais und Kabelbaum für die Sensorik,
- Ausarbeitung der Haltersysteme für Tank, ACU, Relais und Kabelbaum für die Sensorik,
- Berücksichtigung der fahrzeug-/motorspezifischen Abgastemperaturen in den jeweiligen Lastkollektiven,
- Anpassung der Heizungssteuerung an das Fahrzeug, die den spezifischen Abgastemperaturen des jeweiligen Fahrzeuges in den jeweiligen Lastkollektiven gerecht wird,
- Anpassung / Adaption der Dosierstrategie,
- Realisierung der geeigneten Tankkennlinie,
- Realisierung der geeigneten Kennlinie des Luftmassensensors,
- Sicherstellen eines geeigneten Rohrverlaufs für das Fahrzeug.

In diesem Arbeitspaket erfolgten fahrzeugspezifische Anpassungen der beiden Systeme. Dies beinhaltete unter anderem die Ausarbeitung geeigneter Ein- und Ausgangskomponenten sowie Halter für die Installation im Fahrzeug.

Die Herausforderungen und Risiken hinsichtlich der Integration der Hardware in die Fahrzeuge waren dabei folgende:

- das Realisieren einer geeigneten Anbindung des abgasführenden SCR-Hardware-Systems sowie der notwendigen elektronischen Anbindungen an das Fahrzeug unter der erforderlichen Absicherung (Sicherungskasten),
- geeignete Positionierung der Sensorik und der Steuergeräte der NOx-Sensoren,
- hydraulische Installation und Anbindung der Bauteile, wie Pumpe und Doser sowie des für die AdBlue-Dosierung notwendigen Tanksystems im Fahrzeug,
- Ableitung und Realisierung des geeigneten Konzeptes zur Betankung mit AdBlue:
- AdBlue-Betankung im Kofferraum oder
- AdBlue-Betankung von außen (ähnlich Tankdeckel).
- Es wurde eine Betankung des AdBlues im Kofferraum ausgewählt, da die Tankfrequenz niedrig ist und ein AdBlue-Tankdeckel von außen sichtbar wäre, was bei Kunden

wenig Akzeptanz finden würde: Im Bereich des Dieseltankdeckels steht für beide betrachteten Fahrzeuge kein ausreichender Bauraum zur Verfügung, um den AdBlue-Tankstutzen außerhalb des normalen Sichtfeldes (unterhalb Tankklappe) zu platzieren.

- Ausarbeitung der Halterung des Gesamtsystems im Unterboden und der Halteplatte in der Reserveradmulde.

Weiterhin sind Herausforderungen und Risiken hinsichtlich der Bedatung zu nennen, insbesondere, da die Bedatung einigen sich gegenläufig beeinflussenden Randbedingungen unterliegt:

- Der erlaubte Mehrverbrauch nach Einbau des SCR-Systems muss nachweisbar kleiner als 6 % sein (der Nachweis erfolgt anhand eines WLTP-Zyklus auf dem Rollenprüfstand mit Vergleich der Werte vor und nach dem Einbau des SCR-Systems).
- Ein gewisser Mehrverbrauch entsteht allerdings bereits durch den höheren Gesamtgedruck nach Einbau des SCR-Systems. Das Anwendungsfenster des Heizers, der zusätzliche Energie verbraucht, ist somit einschränkt.
- Ein Heizbetrieb kann nur bei laufendem Motor erfolgen, d. h. ein Abgasmassenstrom muss vorhanden sein und das Temperaturdelta zur Dosierfreigabe muss erreichbar sein.
- Das Batteriemanagementsystem sorgt dafür, dass die notwendige Betriebsspannung für den Heizer, das Gesamtsystem sowie für die Fahrzeugversorgung vorhanden ist. Hier hat die

Versorgung des Fahrzeuges Vorrang. Dennoch muss auch der Betrieb des Heizers zuverlässig gewährleistet sein.

- Für Betriebsphasen, in denen kein AdBlue zudosiert werden kann, wird ein NO_x-Speicher benötigt. Dieser muss mittels Überdosierungen aufgefüllt werden, was erfolgt, wenn die Temperatur oberhalb der Dosierfreigabe liegt. Diese Überdosierung ist jedoch durch einen möglichen NH₃-Schlupf begrenzt.
- Parallel waren auch die Lachgaskonzentrationen (N₂O) zu berücksichtigen. NO₂ wird als Nebenprodukt am Cu-Zeolithen gebildet, ist aber unkritisch, soweit es nur in Konzentrationen von weniger als 10 ppm vorkommt. Höhere, kritische Konzentrationen können jedoch durch einen zu hohen NH₃-Schlupf am Slipkat bei Temperaturen zwischen 150 – 180 °C entstehen und müssen vermieden werden.

Weiterhin war für die beiden Fahrzeuge jeweils die Ermittlung der Luftmassenkennlinie erforderlich: Der aktuelle Luftmassenstrom wird zur Motorlauferkennung sowie zur Bestimmung des Abgasmassenstroms und damit der Berechnung der Dosiermenge des Reduktionsmittels benötigt. Das Konzept sah vor, dass zur Erfassung der aktuellen Verbrennungsluftmasse das Frequenzsignal des fahrzeugseitig verbauten Luftmassenmessers passiv abgegriffen und im SCR-Steuergerät verarbeitet wird.

Um die Luftmassenkennlinie zu ermitteln, wurde anhand der Testfahrzeuge jeweils die Zuordnung von Verbrennungsluftmasse zur Frequenz in einer Testfahrt ermittelt. Hier wurde zusätzlich zur Frequenz des Luftmassensignals auch der vom Fahrzeugsteuergerät bereitgestellte Luftmassenstrom aufgezeichnet und aus diesen Messwerten die Kennlinie ermittelt.

III. Produktdatenerfassung der Fahrzeuge mit 4 Zylinder Dieselmotoren (Euro 5) aus dem Stellantis Konzern

Zu Beginn des Projektes standen insbesondere die Erfassung der Produktdaten, die Systemspezifikation und die Konzeptdetaillierung im Mittelpunkt der Arbeiten.

Dazu wurden die Fahrzeugbestände der Marken Peugeot, Citroen, Opel und Fiat des Herstellers Stellantis mit 4-Zylinder-Dieselmotoren der Schadstoffklasse 5 erfasst und nach Motoreigenschaften (Hubraum) eingeteilt. Auch das vorhandene Abgassystem wurde erfasst. Der Bestand betrug insgesamt 579.416 Fahrzeuge, die unterschiedliche Hubräume (ab 1248 cm³) aufweisen (Stand Januar 2023).

Die Familienbildungskriterien, die hier zu berücksichtigen waren, lauten wie folgt:

- Zylinderzahl und -anordnung,
- Ansaugsystem (natürlich ansaugend, mechanisch aufgeladen oder turbogeladen),
- Einspritzsystem,
- Gesamtzylinderhubvolumen (1.000 cm³ zwischen dem kleinsten und dem größten Gesamtzylinderhubvolumen der PEMS-Prüffamilie),
- Wirkprinzip der schadstoffreduzierenden Maßnahmen,
- Ausgangssystem z.B.:
- Abgasrückführung – Hochdruck oder Niederdruck
- Abgasrückführung – gekühlt oder ungekühlt
- PMS
- NOx-Speicherkatalysator
- SCR-Katalysator,
- Emissionsklasse.

Als Basis einer Familienbildung der ABE wurden die Fahrzeuge entsprechend der Motoreigenschaften in folgende zwei Gruppen eingeteilt, wie in

Tabelle 2 dargestellt:

Tabelle 2: Motoreigenschaften hinsichtlich der Familienbildungskriterien (Gruppe I: Opel u. Fiat; Gruppe II Citroen u. Peugeot)

		Opel	Fiat	Citroen	Peugeot
Zylinderanzahl und -anordnung		R4	R4	R4	R4
Ansaugsystem		TC	TC	TC	TC
Einspritzsystem		CR	CR	CR	CR
Gesamtzylinderhubvolumen	[mm ³]	1.248 - 1.956	1248- 1.956	1.248 - 1.997	1.248 - 1.997
Wirkprinzip der schadstoff-reduzierenden Maßnahmen					
Abgasrückführung		Hoch	Hoch	Hoch	Hoch
Abgasrückführung		gekühlt	gekühlt	gekühlt	gekühlt
PMS		DOC/DPF	DOC/DPF	DOC/DPF	DOC/DPF
NOx-Speicherkat.		-	-	-	-
SCR-Katalysator		-	-	-	-
Emissionsklasse		5	5	5	5
Stückzahl		231.324	40.513	82.623	79.091

- Gruppe I besteht aus Fahrzeugen der Marken Opel und Fiat mit einem 4 Zylinder-Dieselmotor mit einem Hubraum bis 1956 cm³.
- Die Motoreigenschaften lassen darauf schließen, dass prinzipiell ein gemeinsames SCR-System geeignet ist, um die gesamte Gruppe abzudecken.
- Der Bestand, der im Rahmen dieser Familie I abgedeckt werden sollte, lag im Jahr 2023 bei 271.837 Fahrzeugen ().

Tabelle 3: Fahrzeugbestände der Gruppe I aus dem Stellantis-Konzern (Stand 01/2023)

Hersteller	cm ³	Summe von Anzahl der FZG
 FIAT (I)	1248	14.438
	1560	536
	1598	12.101
	1910	139
	1956	13.299
 OPEL	1248	20.010
	1598	16.403
	1686	82.079
	1956	112.832
Gesamtergebnis		271.837

- Gruppe II umfasst die Fahrzeuge der Hersteller Citroen und Peugeot mit einem 4 Zylinder-Dieselmotor mit einem Hubraum bis 1.997 cm³.

Auch hier lassen die Motoreigenschaften darauf schließen, dass prinzipiell ein gemeinsames SCR-System geeignet ist, um die gesamte Gruppe abzudecken. Der betroffene Bestand lag im Jahr 2023 bei 161.714 Fahrzeugen (Tabelle 4).

Tabelle 4: Fahrzeugbestände der Gruppe II aus dem Stellantis-Konzern in 01/2023

Hersteller	cm ³	Summe von Anzahl der FZG
 CITROEN (F)	1248	1.665
	1398	1.410
	1560	57.123
	1598	1
	1798	809
	1997	21.615
 PEUGEOT (F)	1248	1.882
	1398	2.838
	1560	41.320
	1798	973
	1997	32.078
Gesamtergebnis		161.714

Die Fahrzeuge beider Gruppen verfügen im Originalzustand über ein Partikelminderungssystem mit DOC und DPF sowie einer Abgasrückführung, jedoch nicht über einen SCR für eine effiziente Stickoxidreduktion.

Im Anschluss daran wurde für die beiden angestrebten Fahrzeugfamilien jeweils ein geeignetes Prüffahrzeug, anhand dessen das neue Nachrüstsystem ausgearbeitet und erprobt werden sollte, ermittelt und beschafft.

Familie I – Prüffahrzeug Opel Insignia

Für Familie I wurde ein Opel Insignia mit A20DT-Motor und einem Hubraum von 1.956 cm³ sowie einer Leistung von 118 kW ausgewählt.

Für die Übertragung auf andere Fahrzeuge im Rahmen einer Familienbildung war dabei entscheidend, dass die Raumgeschwindigkeit (Leistung) maximal 20 % höher sein darf als im Fall des Prüffahrzeuges. Dies wären in diesem Fall 141 kW. Nach unten gibt es keinerlei Beschränkungen, so dass mit dem ausgewählten Opel Insignia diese Voraussetzungen für die Familienbildung innerhalb der definierten Fahrzeuggruppe erfüllt wurden. Abbildung 9 zeigt das Prüffahrzeug.



Abbildung 9: Prüffahrzeug Opel Insignia (Euro 5).

Das Original-Abgasnachbehandlungssystem des Fahrzeuges wurde untersucht. Abbildung 10 zeigt den Unterboden mit Original-Abgassystem und die Reserveradmulde des Fahrzeuges. Diese wurden betrachtet und zudem ein 3D-Scan vorgenommen, so dass der zur Verfügung stehende Bauraum für das AGN-System genau ermittelt wurde. Abbildung 11 zeigt Scans des Unterbodens ohne Original-Abgasnachbehandlungssystem und der Reserveradmulde. Diese wurde als möglicher Bauraum für den AdBlue-Tank, die ACU und das Heizungsrelais des Nachrüstsystems ermittelt.



Abbildung 10: Opel Insignia – Unterboden mit Original-Abgasnachbehandlungssystem und Reserveradmulde (Bauraum für das Nachrüstsystem).

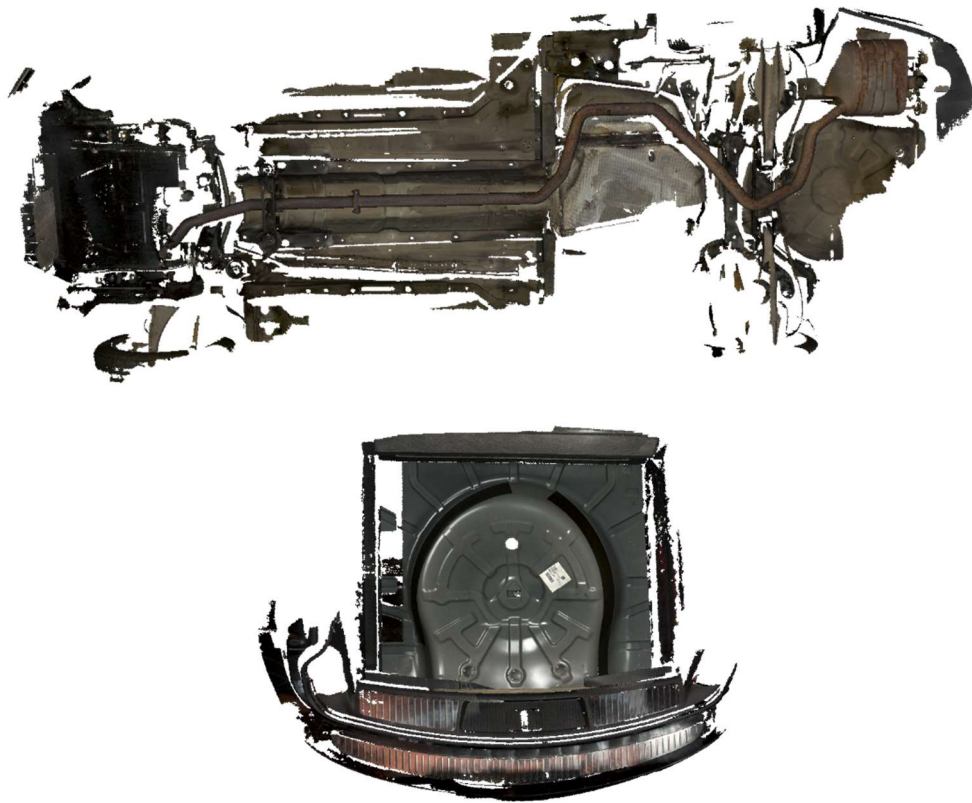


Abbildung 11: Opel Insignia – Scan des Unterbodens mit Original-Abgasnachbehandlungssystem und der Reserveradmulde (Bauraum für das Nachrüstsystem).

Familie II – Prüffahrzeug Peugeot Expert

Für Familie II fiel die Wahl des Prüffahrzeuges auf einen Peugeot Expert mit dem Motor RH02, einem Hubraum von 1997 cm³ und einer Leistung von 120 kW (**Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**).



Abbildung 12: Prüffahrzeug Peugeot Expert.

Auch für dieses Fahrzeug wurde der Unterboden untersucht sowie gescannt und der Bauraum ermittelt. Dazu wurde der Unterboden sowohl mit dem Original-AGN-System (Abbildung 13) als auch nach dessen Ausbau (Abbildung 14) gescannt.

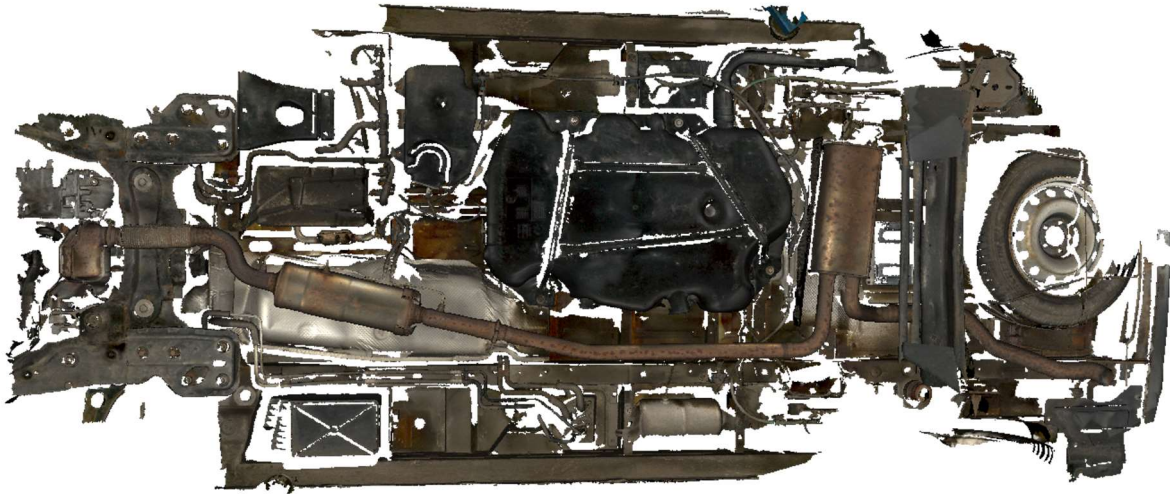


Abbildung 13: Peugeot Expert – Scan des Unterbodens mit Original-Abgasnachbehandlungssystem (Bauraum für das Nachrüstsysteem).

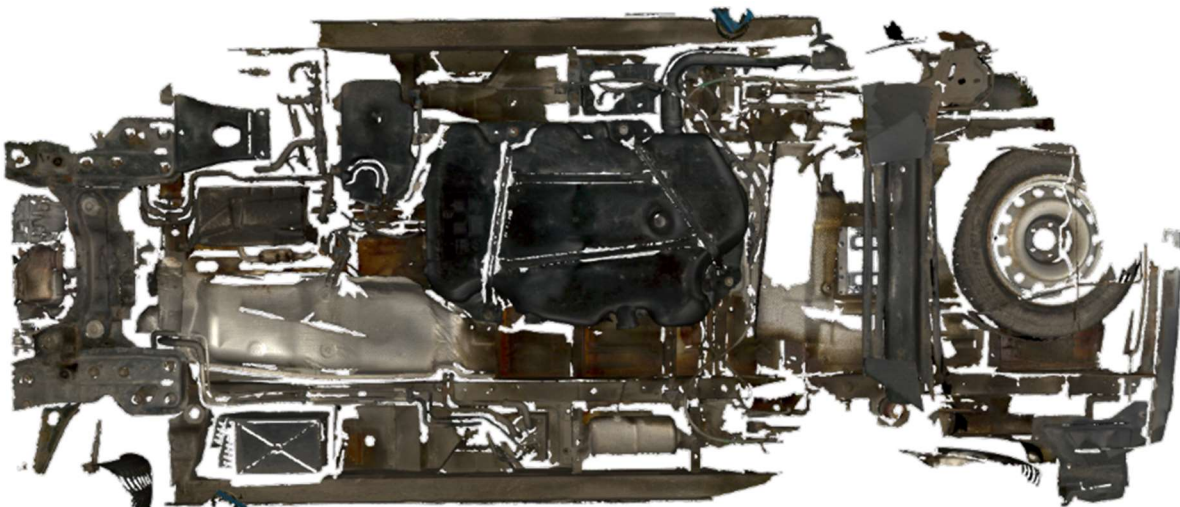


Abbildung 14: Peugeot Expert – Scan des Unterbodens ohne Original-Abgasnachbehandlungssystem (Bauraum für das Nachrüstsysteem).

Aufgrund seiner Bauweise als 8-Sitzer verfügt dieses Fahrzeug nicht über eine Reserveradmulde. Deshalb mussten für den AdBlue-Tank, die ACU und das Heizungsrelais des Nachrüstsystems Einbaumöglichkeiten im Unterboden realisiert werden.

Folgende Anforderungen an das Nachrüstsysteem wurden im Rahmen der Spezifikation festgelegt und bei der Ausarbeitung des Systems berücksichtigt:

- der Grenzwert für die Stickoxid-Emission von 270 mg/km ist einzuhalten,
- der Mehrverbrauch darf maximal 6 % betragen,

- Vermeidung von Fehlermeldungen der Motorsteuerung nach Einbau des Nachrüstsystems ohne Defeat device.

Folgende Aufgaben und Herausforderungen stellten sich bei der Ausarbeitung des Systems:

- Berücksichtigung der Einbausituation und des Bauraums beim Grunddesign des Katalysatormoduls,
- Ausarbeitung eines Tanks und Betankungssystems für den Nutzer,
- Ausarbeitung von ACU, Relais und Kabelbaum für die Sensorik,
- Ausarbeitung der Haltersysteme für Tank, ACU, Relais und Kabelbaum für die Sensorik,
- Berücksichtigung der fahrzeug-/motorspezifischen Abgastemperaturen in den jeweiligen Lastkollektiven,
- Anpassung der Heizungssteuerung an das Fahrzeug, die den spezifischen Abgastemperaturen des jeweiligen Fahrzeuges in den jeweiligen Lastkollektiven gerecht wird,
- Anpassung / Adaption der Dosierstrategie,
- Realisierung der geeigneten Tankkennlinie,
- Realisierung der geeigneten Kennlinie des Luftmassensensors,
- Sicherstellen eines geeigneten Rohrverlaufs für das Fahrzeug.

IV. Fahrzeugspezifische Anpassung in Familie I und II

In diesem Arbeitspaket erfolgten fahrzeugspezifische Anpassungen der beiden Systeme. Dies beinhaltete unter anderem die Ausarbeitung geeigneter Ein- und Ausgangskomponenten, des SCR-Katalysators sowie der Halter für die Installation im Fahrzeug.

Die Herausforderungen und Risiken hinsichtlich der Integration der Hardware in die Fahrzeuge waren dabei folgende:

- Das Realisieren einer geeigneten Anbindung des abgasführenden SCR-Hardware-Systems sowie der notwendigen elektronischen Anbindungen an das Fahrzeug unter der erforderlichen Absicherung (Sicherungskasten).
- Geeignete Positionierung der Sensorik und der Steuergeräte der NOx-Sensoren.
- Hydraulische Installation und Anbindung der Bauteile, wie Pumpe und Doser sowie des für die AdBlue-Dosierung notwendigen Tanksystems im Fahrzeug.
- Bei beiden Fahrzeugen wurde ein SCR-Modul verbaut. Die SCR-Systeme unterscheiden sich allerdings in ihrer Größe bzw. ihrem Volumen:
- Im Insignia wurde unter Berücksichtigung des zur Verfügung stehenden Bauraums ein sogenanntes 2 Stein-System mit einem SCR-Volumen von 4,12 l und einem Sperrkatalysator von 0,8 l verbaut.
- Im Peugeot Expert wurde ein 3 Stein-System mit einem SCR-Volumen von 6,18 l verbaut. Der Sperrkatalysator hier hat das gleiche Volumen von 0,8 l.
- Ableitung und Realisierung des geeigneten Konzeptes zur Betankung mit AdBlue:
- AdBlue-Betankung im Kofferraum oder
- AdBlue-Betankung von außen (ähnlich Tankdeckel).

Für den Opel Insignia wurde das Tanksystem in die Reserveradmulde integriert. Es wurde eine Betankung des AdBlues im Kofferraum ausgewählt, da die Tankfrequenz niedrig ist und ein AdBlue-Tankdeckel von außen sichtbar wäre, was bei Kunden wenig Akzeptanz finden würde:

Für den Peugeot Expert wurde der AdBluetank im Unterboden verbaut, da keine Reserveradmulde im Innenraum (8-Sitzer) zur Verfügung stand. Das Reserverad ist bei diesem Fahrzeug auch im Unterboden untergebracht. Eine Betankung mit AdBlue konnte unter dem Motorhaubendeckel realisiert werden.

- Ausarbeitung der Halterung des Gesamtsystems im Unterboden und der Halteplatte in der Reserveradmulde.

Weiterhin sind Herausforderungen und Risiken hinsichtlich der Bedatung zu nennen, insbesondere, da die Bedatung einigen, sich gegenläufig beeinflussenden Randbedingungen unterliegt:

- Der erlaubte Mehrverbrauch nach Einbau des SCR-Systems muss nachweisbar kleiner als 6 % sein (der Nachweis erfolgt anhand eines WLTP-Zyklus auf dem Rollenprüfstand mit Vergleich der Werte vor und nach dem Einbau des SCR-Systems).

Ein gewisser Mehrverbrauch entsteht allerdings bereits durch den höheren Gesamtgegendruck nach Einbau des SCR-Systems. Das Anwendungsfenster des Heizers, der zusätzliche Energie verbraucht, ist somit eingeschränkt.

- Ein Heizbetrieb kann nur bei laufendem Motor erfolgen, d. h. ein Abgasmassenstrom muss vorhanden sein - und das Temperaturdelta zur Dosierfreigabe muss erreichbar sein.
- Das Batteriemanagementsystem sorgt dafür, dass die notwendige Betriebsspannung für den Heizer, das Gesamtsystem sowie für die Fahrzeugversorgung vorhanden ist. Hier hat die Versorgung des Fahrzeuges Vorrang. Dennoch muss auch der Betrieb des Heizers zuverlässig gewährleistet sein.
- Für Betriebsphasen, in denen kein AdBlue zudosiert werden kann ($< 200\text{ }^{\circ}\text{C}$), wird ein NOx-Speicher benötigt. Dieser muss mittels Überdosierungen aufgefüllt werden, was erfolgt, wenn die Temperatur oberhalb der Dosierfreigabe liegt. Diese Überdosierung ist jedoch durch einen möglichen NH₃-Schlupf begrenzt.

Weiterhin war für die beiden Fahrzeuge jeweils die Ermittlung der Luftmassenkennlinie erforderlich: Der aktuelle Luftmassenstrom wird zur Motorlauferkennung sowie zur Bestimmung des Abgasmassenstroms und damit der Berechnung der Dosiermenge des Reduktionsmittels benötigt. Das Konzept sah vor, dass zur Erfassung der aktuellen Verbrennungsluftmasse das Frequenzsignal des fahrzeugseitig verbauten Luftmassenmessers passiv abgegriffen und im SCR-Steuergerät verarbeitet wird.

Um die Luftmassenkennlinie zu ermitteln, wurde anhand der Testfahrzeuge jeweils die Zuordnung von Verbrennungsluftmasse zur Frequenz in einer Testfahrt ermittelt. Hier wurde zusätzlich zur Frequenz des Luftmassensignals auch der vom Fahrzeugsteuergerät bereitgestellte Luftmassenstrom aufgezeichnet und aus diesen Messwerten die Kennlinie ermittelt.

Familie I – Opel Insignia

Die durchgeführte Bauraumuntersuchung des Opel Insignia und deren Analyse ergab, dass für die notwendigen Hardware-Hauptkomponenten ausreichend Platz zur Verfügung stand.

Die Konstruktion des SCR-Systems inkl. der Ein- und Auslassrohre für den Opel Insignia ist in Abbildung 15 dargestellt. Abbildung 16 zeigt die Baugruppe der Halter für AdBlue Tank, ACU und andere elektronische Bauteile.

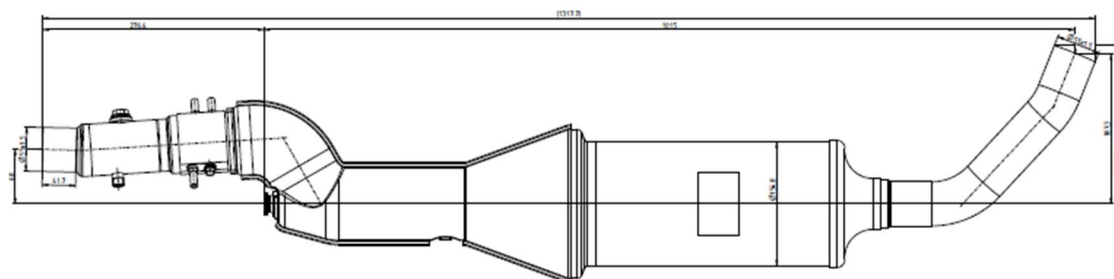


Abbildung 15: SCR-System inklusive Ein- und Auslassrohre sowie Heizer und Dosiermodul

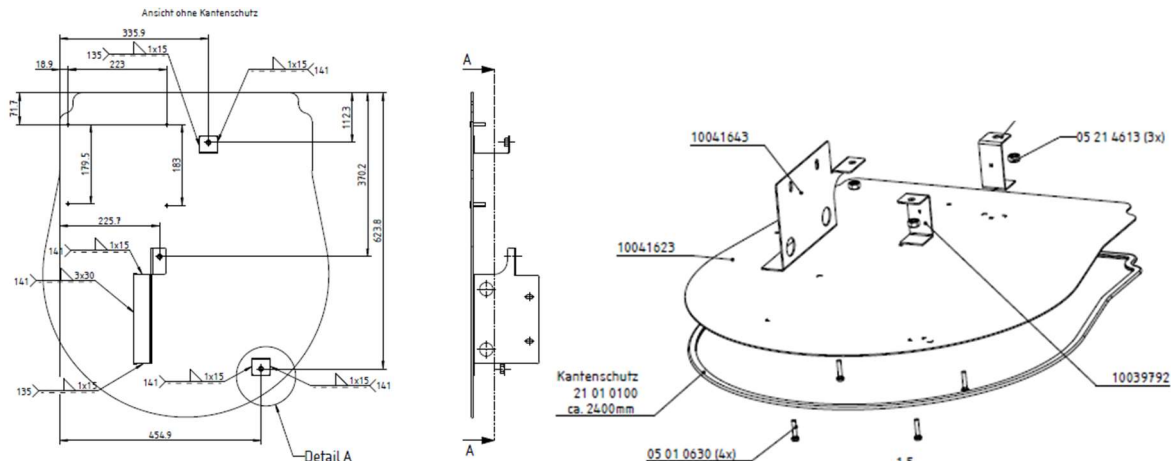
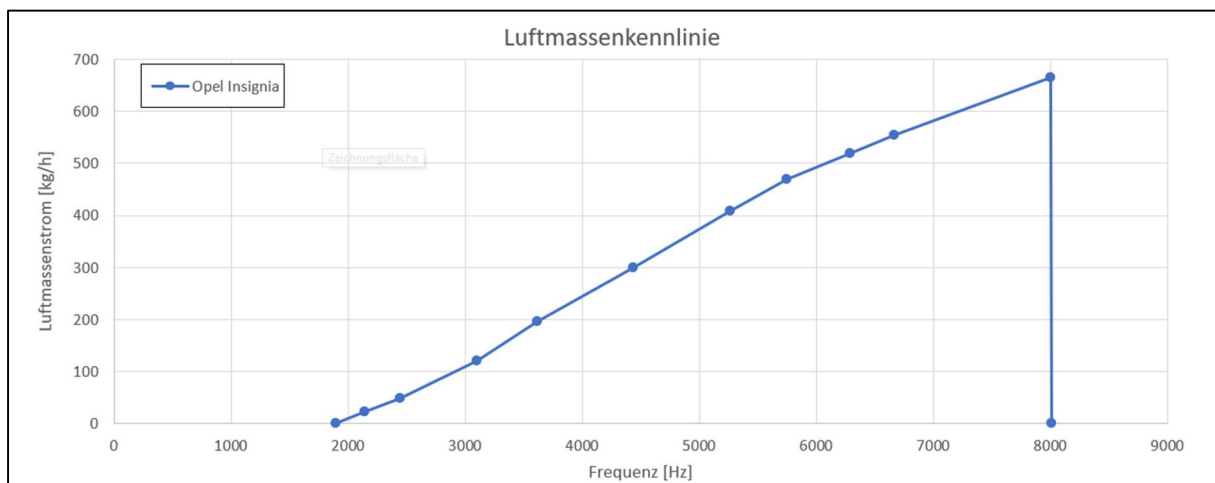


Abbildung 16: Baugruppe Halter für AdBlue-Tank, ACU und andere elektronische Bauteile

Die anhand der Testfahrt ermittelte Luftmassenkennlinie ist in Abbildung 17 dargestellt. Die Ergebnisse gingen in die Bedatung des Systems ein. Die Motorlauferkennung wurde erfolgreich umgesetzt und die geeignete Dosiermenge des Reduktionsmittels wird entsprechend dem ermittelten Abgasmassenstrom berechnet, so dass eine hohe Wirkung des SCR sichergestellt wird.



[Hz]	1900	2140	2449	3105	3616	4436	5267	5749	6289	6663	8000	8010
[kg/h]	0	23	49	121	196	300	408	469	520	555	665	0

Abbildung 17: Opel Insignia – Luftmassenkennlinie.

Weiterhin zeigten die Betrachtungen, dass eine Übertragung des Systems auf die Fahrzeugtypen, möglich ist (

Tabelle 2).

Durch die ABE der Gruppe I liegt eine Genehmigung für eine sehr breite Fahrzeugpalette vor (Tabelle 3: Fahrzeugbestände der Gruppe I aus dem Stellantis-Konzern (Stand 01/2023)). Allein von 67.743 Insignia-Fahrzeugen mit nahezu identischem Unterboden lässt sich ein Großteil der Fahrzeuge problemlos nachrüsten. Bei den anderen Fahrzeugen sind evtl. Applikationsarbeiten bzw. Tankposition, Ein- und Austrittsgeometrien und Halterung durchzuführen.

Familie II – Peugeot Expert

Der SCR-Katalysator, AdBlue-Tank, ACU sowie die Dosierstrecke und Heizung sind für den Opel Insignia (Fahrzeuggruppe I) und den Peugeot Expert (Fahrzeuggruppe II, Abbildung 18) bis auf das Volumen bzw. die Baugröße identisch.

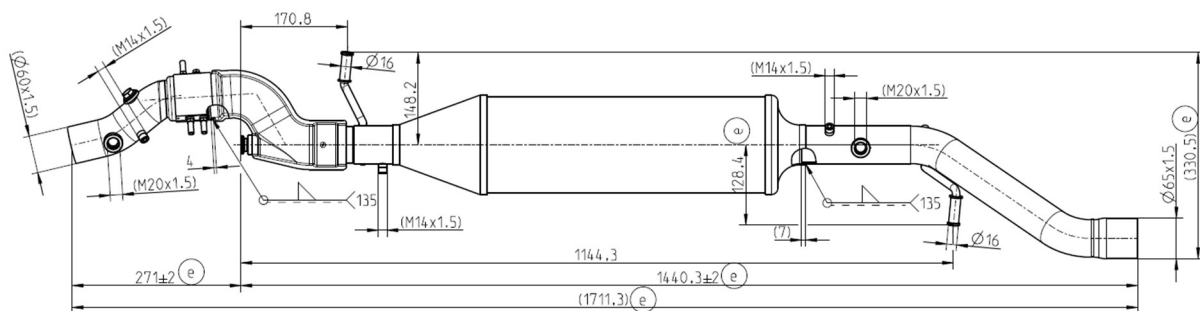
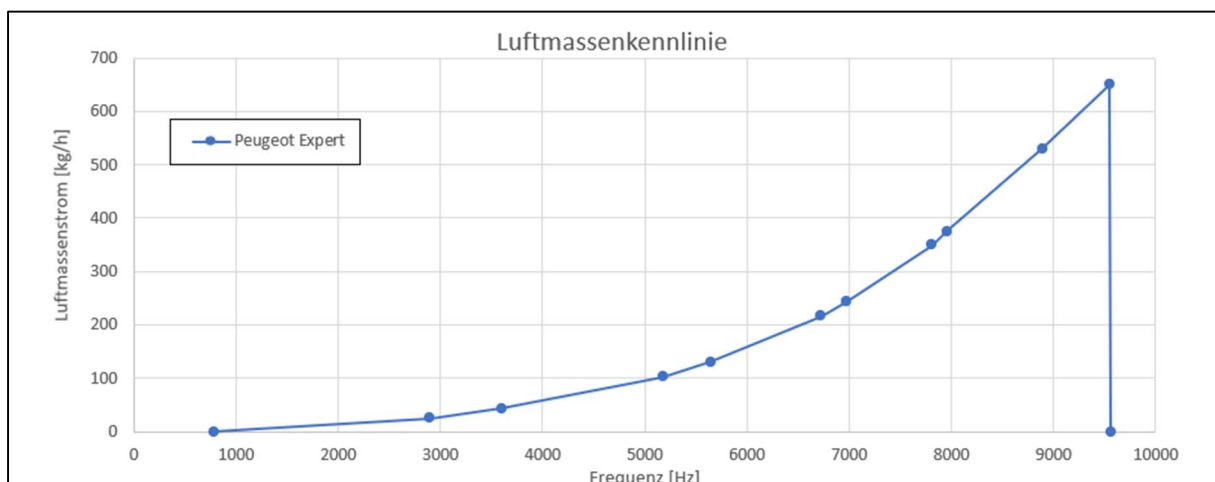


Abbildung 18: SCR 3 Stein-System inkl. Eindosierung und Heizer sowie fahrzeugspezifische Anbindung wie Ein- und Ausgangsverrohrung und Halter

Unterschiede finden sich in der Ein- und Auströmungsgeometrie der Rohre sowie in der Tankposition und -halterung, da diese beim Peugeot Expert anders als beim Opel Insignia im Unterboden des Fahrzeugs verbaut wurde.

Auch für den Peugeot Expert wurde die Luftmassenkennlinie in einer Testfahrt mit Aufzeichnung des Luftmassenstroms ermittelt (Abbildung 19), um den Luftmassenstrom aus der Frequenz des Luftmassensignals bestimmen zu können.



[Hz]	780	2900	3600	5176	5644	6725	6971	7813	7961	8890	9550	9560
------	-----	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

[kg/h]	0	25	43	103	130	216	243	350	375	530	650	0
--------	---	----	----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	---

Abbildung 19: Peugeot Expert – Luftmassenkennlinie.

Durch die ABE der Gruppe II liegt eine Genehmigung für eine sehr breite Fahrzeugpalette für Fahrzeuge von Peugeot und Citroen vor (**Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**). Allein die Hubraumklasse von 1997 cm³ deckt ca. 24 % ab. Bei den anderen Fahrzeugen sind Applikationsarbeiten zu Tankposition, Ein- und Austrittsgeometrien und Halterung durchzuführen.

V. Konstruktion und Bau sowie Validierung prototypischer Systeme

Nachdem das Nachrüstsysteem für die zwei Fahrzeugfamilien im Detail definiert worden war, wurden die jeweiligen Komponenten beschafft bzw., wo erforderlich, hergestellt und schließlich Muster für die Erprobung der Systeme aufgebaut. Die Hauptkomponenten dieser Muster umfassen jeweils:

- SCR-System mit Ein- und Ausgangsrohren,
- Sensorik,
- ACU und Heizerrelais,
- Tank- und Dosiersystem und
- Kabelbaum.

Abbildung 20 zeigt das die Zeichnung SCR-2 Stein Systems exemplarisch für Gruppe I.

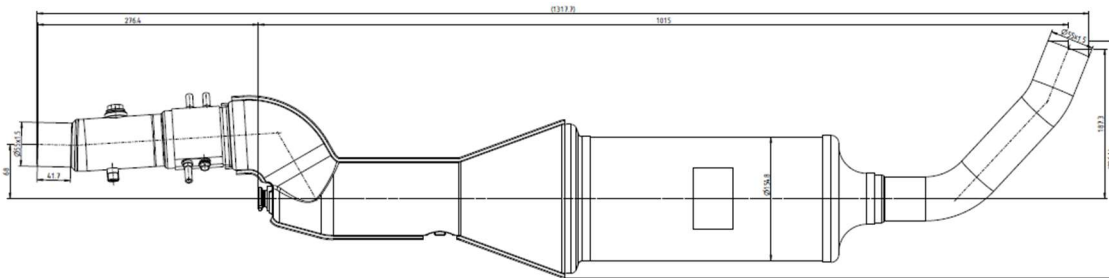


Abbildung 20: Muster des SCR-Systems mit Dosierung, Heizung und Anschlussverrohrung

Bestandteile des Systems waren dabei auch das AdBlue-Dosiermodul (Abbildung 21), NO_x-Sensoren und Temperatursensoren (Abbildung 22) sowie ferner das Anzeigemodul (Abbildung 23).



Abbildung 21: AdBlue-Dosiermodul.



Abbildung 22: NO_x-Sensor (links) und Temperatursensor (rechts).



Abbildung 23: Anzeigemodul.

Auch die Schnittstellen für die Integration in die Fahrzeuge wurden dabei berücksichtigt und die erforderlichen Halter gefertigt.

VI. Aufbau und Applikation von nachgerüsteten Demonstratorfahrzeugen

Die Erprobung erfolgte anhand der beschafften Gebrauchtfahrzeuge der Stufe Euro 5 mit original verbautelem DOC/DPF-System. Daher lagen hinsichtlich der Nachrüstung eines solchen gebrauchten Fahrzeuges mit einem SCR-Nachrüstsystem Herausforderungen und Risiken auch im Zustand und der Auswahl des Fahrzeuges.

So wurden unter anderem die Fehlerspeicher überprüft und der Zustand der Fahrzeuge wurde bewertet. Final musste ein NEFZ-Test durchgeführt werden, inwieweit die für die damalige Zulassung erforderlichen Werte (Typprüfwerte) im gebrauchten Zustand noch erreicht werden.

Der Opel Insignia mit Erstzulassung 06/2011 und einer Laufleistung von 112.453 km zeigte sich äußerlich in einem guten Zustand. Die Überprüfung des Serviceheftes und Händlernachfrage ergaben, dass sämtliche Wartungen durch Fachhändler durchgeführt wurden. Das Auslesen des Fehlerspeichers ergab keinerlei nennenswerte Erkenntnisse auf mögliche Fehlfunktionen des Fahrzeuges. Anhand dieses Gesamteindrucks wurde das Fahrzeug als geeignet bewertet, um es als Prüffahrzeug für die Nachrüstung mit einem SCR zu verwenden.

Gleiches galt für den Peugeot Expert mit Erstzulassung 08/2012 und einer Laufleistung von 161.019 km. Es wurde ein Software-Update durchgeführt und das Fahrzeug ebenfalls als geeignet bewertet.

Um die Systeme erproben zu können, wurden daraufhin die zwei vorliegenden Muster in die Testfahrzeuge Opel Insignia und Peugeot Expert integriert und schließlich erfolgreich in Betrieb genommen.

Der Einbau umfasste insbesondere folgende Schritte:

- Installation des SCR hinter dem DPF des Herstellers,
- Einbau der Sensoren (Temperaturen, NO_x vor und nach SCR),
- Einbau des Tanks, der Relaisplatte und der ACU,
- Verlegung der AdBlue-Leitung,
- Verlegung der Kabel,
- Isolierung von Heizung und NO_x-Doser,
- Anschluss Inducement,
- Abgreifen des Signals des Ladedrucksensors,
- Installation des Anzeigemoduls.

Familie I – Testfahrzeug Opel Insignia

Abbildung 24 und Abbildung 25 zeigen das eingebaute System für das Testfahrzeug Opel Insignia.



Abbildung 24: Opel Insignia mit appliziertem SCR-System

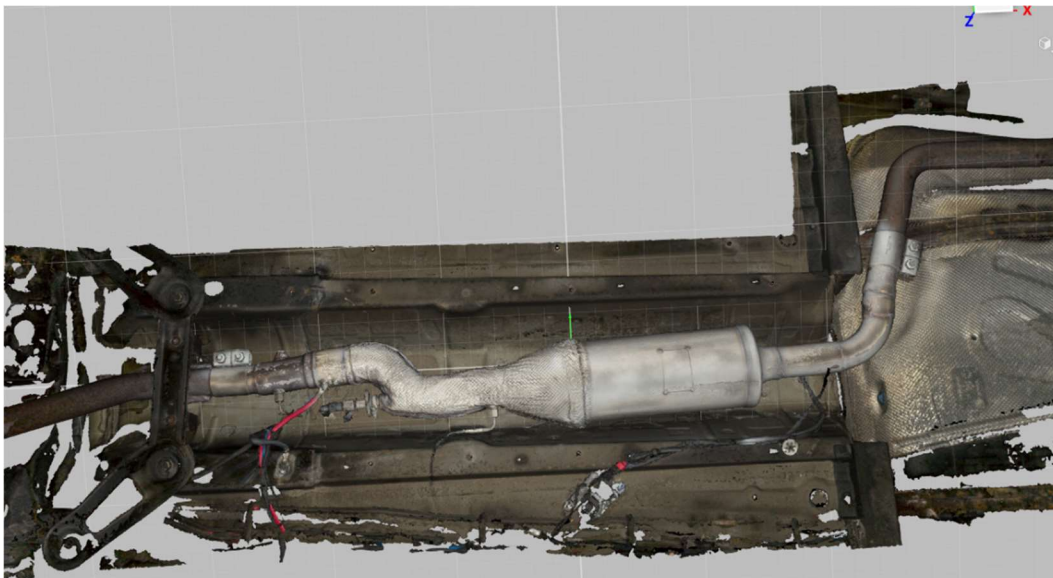


Abbildung 25: Opel Insignia – Scan des eingebauten SCR-Systems

Besonderheiten und Herausforderungen der Applikation waren:

- Aufgrund des Bauraums war nur kleiner SCR-Katalysator möglich (2-Stein System).
- Es liegen hohe NO_x-Rohemissionen im RDE-Zyklus vor (> 1200 mg/km).

- Die Abstimmung der Heizzyklen erwies sich somit als sehr aufwendig, um die Anforderungen des Kraftstoffmehrer Verbrauchs und der NOx-Minderung einzuhalten.
- Der Aufwand zur Dosiermengenabstimmung war extrem hoch und erforderte
- die Abstimmung des Dosierbeginns hinsichtlich der Temperatur
- die Abstimmung des Speichermodells (Umsatz vs. Ammoniakschlupf)

Familie II – Testfahrzeug Peugeot Expert

Wie erläutert, wurde auch für den Peugeot Expert ein System in das Fahrzeug integriert (Abbildung 26).



Abbildung 26: Peugeot Expert mit SCR-Nachrüstsystem.

Besonderheiten und Herausforderungen dieser Applikation waren:

- Die Bedatung erwies sich als vergleichsweise einfach, da hier ein großer 3-Stein-SCR bei moderaten NOx-Emissionen eingesetzt wurde.
- Hauptaugenmerk beim Expert lag auf der Stabilität der NOx-Minderung unter schwierigen Fahrbedingungen:
- Innenstadt: Die Ergebnisse waren aufgrund des eingesetzten Heizkatalysators und des großen SCR sehr gut.
- Lange Last- und Schubfahrten (Bergauf, bergab):

- In Schubphasen kühlt das System so weit aus, dass keine Dosierung mehr stattfinden kann bzw. nur noch eine niedrige NOx-Minderung stattfindet. Allerdings liegen in diesem Fall durch den Schubbetrieb auch niedrige NOx-Emissionen vor.
- Bei der direkt anschließenden Bergfahrt war das System bei Beginn noch so kalt, dass nur eine sehr niedrige NOx-Minderung stattfindet. Die hohe Motorlast führte dabei zu hohen NOx-Motoremissionen. Sobald nach kurzer Zeit (< 2 Minuten) das System warm genug ist, steigt die NOx-Minderung wieder auf > 80 % an.

VII. Systemvalidierung, Leistungsmessungen und Produkt-/Projektdokumentation

Die Nachrüstsysteme sollten im Rahmen der Erprobung anhand der Prüffahrzeuge hinsichtlich ihrer Funktion, der Stickoxid-Minderung und des Kraftstoffverbrauches untersucht und mit dem Originalzustand verglichen werden, um die Stickoxid-Minderung nachzuweisen und den Kraftstoffmehrverbrauch zu messen.

Zur Vorbereitung und Bedatungsapplikation wurde die „HJS“-Teststrecke genutzt, die sich im Laufe vieler vorangegangener Testfahrten bewährt hatte (Abbildung 27).

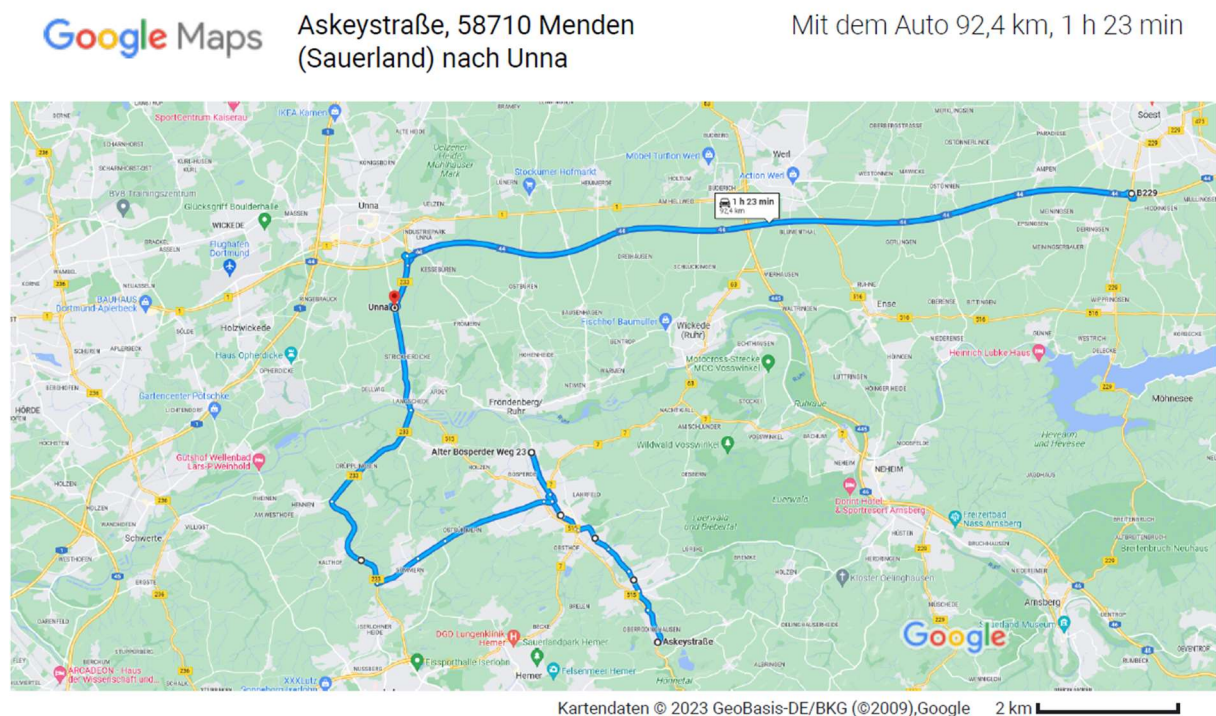


Abbildung 27: Auswahl der Teststrecke mit Autobahn-, Stadt- und Landfahrt.

Weiterhin waren im Rahmen der Erprobung zunächst die Emissionen der Testfahrzeuge vor Nachrüstung im NEFZ-Testzyklus auf dem Rollenprüfstand zu ermitteln und der Zustand der Testfahrzeuge zu überprüfen. Der Vergleich dieser aktuellen Messung (NEFZ, Euro 5) mit den Typprüfwerten des Originalzustandes sollte eine Indikation über den Zustand des Fahrzeuges und speziell der bestehenden, vorinstallierten Abgasanlage bestehend aus DOC und DPF geben.

Erst dann konnte der Einbau der Nachrüstsysteme in die zwei Prüffahrzeuge erfolgen. Im ersten Schritt wurde schließlich der Kraftstoffverbrauch anhand des WLTC-Zyklus und schließlich wurden auch die Funktion des SCR-Systems und die Stickoxid-Reduktion anhand der Teststrecke untersucht.

Familie I – Prüffahrzeug Opel Insignia

Im Fall des Opel Insignia zeigte der Abgleich zwischen Emissionsmessungen des Prüffahrzeuges mit ursprünglichem AGN-System und Typprüfwerten, dass sich das Fahrzeug in einem geeigneten Zustand für die weiteren Untersuchungen befand. Wie Tabelle 5 zeigt, befinden sich die Abweichungen der Messwerte im üblichen Rahmen, auch wenn ein gewisser Verschleiß erkennbar ist.

Somit konnte das SCR-System ohne weiteren Aufwand in das Testfahrzeug installiert und erprobt werden.

Tabelle 5: Prüffahrzeug Opel Insignia - Vergleich der Emissionen des ausgewählten Prüffahrzeuges mit Original-AGN-System mit den Typprüfwerten (NEFZ-Zyklus).

		NEFZ (neu)	NEFZ (Typprüfwerte)
<u>NO_x</u>	[mg/km]	160,64	130,6 - 144,3
<u>HC+NO_x</u>	[mg/km]	289,86	152,3 - 159,7
CO	[mg/km]	494,09	168,4 - 192,7

Daraufhin wurde ebenfalls anhand des WLTC-Zyklus auf dem Rollenprüfstand der Einfluss des Nachrüstsystems auf dem Kraftstoffverbrauch untersucht. Der Verbrauch mit nachgerüstetem SCR-System liegt nur leicht über dem ursprünglichen Verbrauch (Tabelle 6). Die Werte liegen im Rahmen der üblichen Abweichungen. Es ist kein nennenswerter Kraftstoffmehrverbrauch durch den Betrieb des Nachrüstsystems zu verzeichnen. Die Anforderungen an den Kraftstoffverbrauch werden somit erfüllt.

Tabelle 6: Prüffahrzeug Opel Insignia – Vergleich der Verbrauchsmessungen (WLTC) mit HJS-Nachrüstsystem und im Originalzustand (ohne SCR).

		WLTC
CO ₂ ohne SCR	[g/km]	141,01
CO ₂ mit SCR	[g/km]	145,64
Verschlechterung	[%]	3,28

Somit erfüllt das System die grundlegenden Anforderungen. Schließlich wurde die NO_x-Reduktion anhand Testfahren auf der Teststrecke untersucht. Dabei wurden die Motordrehzahl, die Abgasmasse, die Abgastemperatur, die NO_x-Konzentration vor und nach dem SCR-System sowie die Funktion des Heizelementes erfasst und untersucht (Abbildung 28).

Das Heizelement schaltet im ungünstigen Temperaturbereichen korrekt zu und bei Temperaturen über 200 °C ab, so dass der Abgasstrom im SCR-System auch unter ungünstigen Bedingungen und niedrigen Motordrehzahlen zuverlässig auf einer geeigneten Temperatur für eine effektive NO_x-Minderung durch den SCR gehalten wird.

Die Minderungsrate erwies sich schließlich mit 89 % mehr als ausreichend. Der Grenzwert von 270 mg/km wird deutlich unterschritten (Tabelle 1 Tabelle 7), auch unter den ungünstigen Bedingungen von Stadt- oder Landfahrten (S+L).

Das Nachrüstsystem erfüllt somit alle Anforderungen.

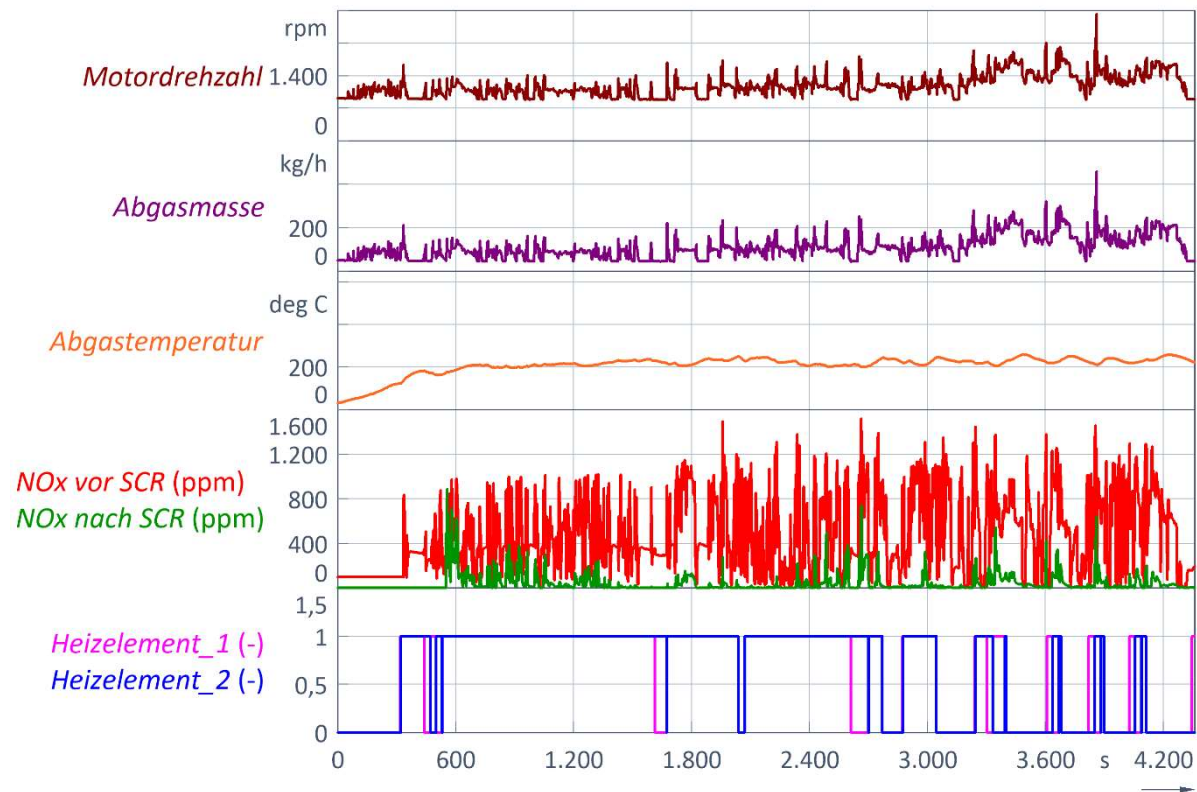


Abbildung 28: Opel Insignia – Messung der Kennzahlen und der NO_x-Emissionen auf der Teststrecke: NO_x Reduktion von 89 %.

Tabelle 7: Prüffahrzeug Opel Insignia – PEMS-Messung der NO_x-Emissionen mit HJS-Nachrüstsystem.

		RDE
<u>NO_x ges.</u>	[mg/km]	176,40
<u>NO_x S+L</u>	[mg/km]	228,00
Grenzwert	[mg/km]	270,00

Familie II – Prüffahrzeug Peugeot Expert

Auch dieses Testfahrzeug wurde im ersten Schritt vor dem Einbau des Nachrüstsystems hinsichtlich der Emissionen im NEFZ-Zyklus untersucht, um den Fahrzeugzustand bewerten zu können. Der Partikelfilter erwies sich als defekt, sodass der Partikelfilter und DOC ersetzt wur-

den. Wie bereits beim Opel Insignia lagen somit auch hier die Abweichungen im üblichen Bereich (Tabelle 8). In diesem Zustand waren die Nachrüstung und die Erprobung schließlich möglich.

Tabelle 8: Peugeot Expert: Vergleich der Emissionen des Prüffahrzeuges mit den Typprüfwerten.

		NEFZ (neu)	NEFZ (Typprüfwerte)
NO _x	[mg/km]	239,22	228,9
HC+NO _x	[mg/km]	279,81	252,7
CO	[mg/km]	218,87	211,8

Weiterhin zeigten die Messungen zum Verbrauch, dass der Wert mit SCR mit dem des Original-Zustandes übereinstimmt, sodass durch das System keine Verschlechterung des Kraftstoffverbrauches erfolgt (Tabelle 9).

Tabelle 9: Prüffahrzeug Peugeot Expert – Vergleich der Verbrauchsmessungen (WLTC) mit HJS-Nachrüstsystem und im Originalzustand (ohne SCR).

		WLTC
CO ₂ ohne SCR	[g/km]	181,02
CO ₂ mit SCR	[g/km]	178,86
Verschlechterung	[%]	-

Somit erfüllt das System auch im Fall des Peugeot Expert die grundlegenden Anforderungen, so dass auch hier die NO_x-Reduktion anhand Testfahren auf der Teststrecke untersucht werden konnte. Wie beim Opel Insignia bereits erläutert, erfolgte dabei die Erfassung der Motordrehzahl, der Abgasmasse, der Abgastemperatur, der NO_x-Konzentration vor und nach dem SCR-System sowie der Funktion des Heizelementes. Die Ergebnisse sind in Abbildung 29 dargestellt. Auch hier wurde die Funktion des Systems inklusive Heizelement erfolgreich nachgewiesen. Die Stickoxid-Minderung lag bei 90 %.

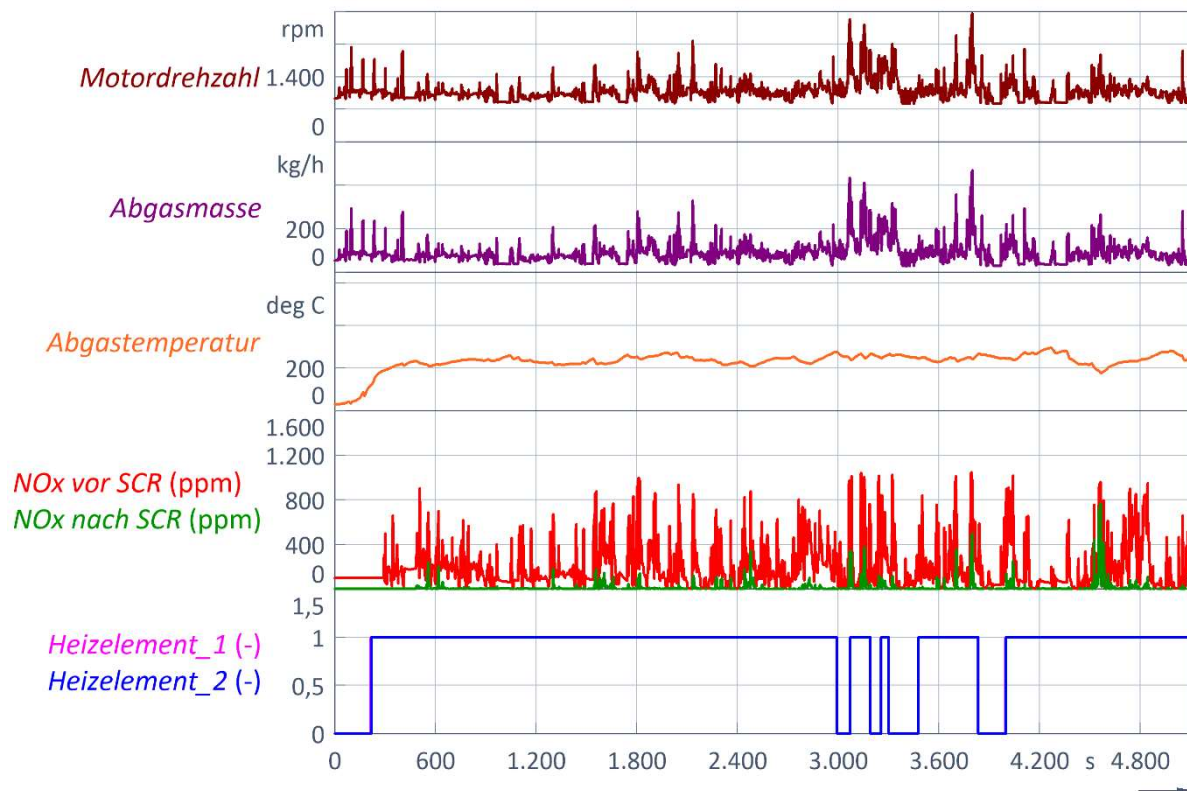


Abbildung 29: Peugeot Expert – Messung der Kennzahlen und der NO_x-Emissionen auf Teststrecke (NO_x Reduktion von 90 %).

Auch hier war festzustellen, dass der Grenzwert von 270 mg/km deutlich unterschritten wird (Tabelle 10) und dies auch unter den ungünstigen Bedingungen der Stand- und Landfahrten der Fall ist. Hierzu trägt der Heizer bei, der geeignete Temperaturbedingungen zuverlässig sicherstellt.

Tabelle 10: Prüffahrzeug Peugeot Expert – PEMS-Messung der NO_x-Emissionen mit HJS-Nachrüstsystem.

		RDE
NO _x _ges.	[mg/km]	65,3
NO _x _S+L	[mg/km]	73,2
Grenzwert	[mg/km]	270,00

Somit wurde auch für diese Fahrzeuggruppe eine geeignete Lösung erarbeitet, um eine hohe Stickoxid-Minderung zu realisieren.

VIII. Fazit

Aus dem Projekt gehen zwei Systeme für die Nachrüstung mit NO_x-Minderungssystemen für PKW-Volumenmodelle mit 4 Zylinder-Dieselmotoren der Schadstoffklasse Euro 5 der Marken Peugeot, Citroen, Opel und Fiat des Herstellers Stellantis hervor. Die Anforderungen an die Stickoxid-Emission von weniger als 270 mg/km werden erfüllt. Die Emissionen werden gegenüber dem Original-Zustand auf, der von HJS gewählten Teststrecke mit einer Stickoxid-Minderungsrate von 89 % für den Opel Insignia und 90 % für den Peugeot Expert deutlich reduziert.

Als Voraussetzung für den Einbau und den Betrieb nachgerüsteter Fahrzeuge wurde die Zulassung für beide Systeme bereits beantragt. Für Familie I wurden die ABE (Nr. 17351) -am 04.01.2024 erteilt, für Familie II am 23.02.2024 (Nr. 17352). Im Rahmen der Familienbildungen konnten dabei zahlreiche Fahrzeugmodelle mit hohen Fahrzeugbeständen durch die beiden ABE abgedeckt werden.

Die angestrebte Anwendung der Stickoxid-Minderungssysteme in PKW der Schadstoffklasse Euro 5 der Marken Peugeot, Citroen, Opel und Fiat des Herstellers Stellantis soll somit einen wichtigen Beitrag zur Realisierung der Stickoxid-Minderungsziele leisten.