

**Luft nach oben: ein Whitepaper zur SCR-Nachrüstung  
von PKW-Modellen mit 4- und 6-Zylinder-Dieselmotoren der Konzerne Volkswagen und Daimler**

**Die Einzelprojekte wurden gefördert durch**



Bundesministerium  
für Digitales  
und Verkehr



Bundesanstalt  
für Verwaltungsdienstleistungen

**Referenz Förderkennzeichen:**

**FKZ 45SYS00029, 45SYS00030**

## Inhaltsverzeichnis

|      |  |    |
|------|--|----|
| I.   | Einleitung .....   | 3  |
|      | Hintergrund .....  | 3  |
|      | Die Entwicklung des Bestandes .....                                | 4  |
| II.  | Umsetzung & Wirksamkeit bei PKWs .....                             | 7  |
|      | Konzept .....  | 7  |
| III. | Systemintegration 4- und 6-Zylinder-Motoren des VAG-Konzerns ..... | 13 |
|      | Familie I – Prüffahrzeug VW Passat .....                           | 15 |
|      | Familie II – Prüffahrzeug VW Touareg .....                         | 17 |
|      | Familie I – Nachrüstsystem Passat und Übertragbarkeit .....        | 20 |
|      | Familie II – Nachrüstsystem Touareg und Übertragbarkeit .....      | 28 |
|      | Familie I – Systemintegration beim VW Passat .....                 | 34 |
|      | Familie II – Systemintegration beim Touareg .....                  | 37 |
|      | Systemvalidierung und Leistungsmessungen .....                     | 41 |
|      | Familie I – Ergebnisse Prüffahrzeug VW-Passat .....                | 42 |
|      | Familie II – Ergebnisse Prüffahrzeug VW Touareg .....              | 44 |
| IV.  | Systemintegration 4- und 6-Zylinder-Motoren des VAG-Konzerns ..... | 47 |
|      | Familie I – Prüffahrzeug MB E220 CDI .....                         | 49 |
|      | Familie II – Prüffahrzeug Mercedes-Benz E300 CDI .....             | 52 |
|      | Familie I – Nachrüstsystem MB E220 CDI .....                       | 53 |
|      | Familie II – Nachrüstsystem MB E300 CDI .....                      | 56 |
|      | Systemintegration .....  | 58 |
|      | Familie I – Testfahrzeug MB E220 CDI .....                         | 60 |
|      | Familie II – Testfahrzeug MB E300 CDI .....                        | 61 |
|      | Familie I – Ergebnisse Prüffahrzeug MB E220 CDI .....              | 61 |
|      | Familie II – Ergebnisse Prüffahrzeug MB E300 CDI .....             | 63 |
|      | Zusammenfassung .....  | 65 |
| V.   | Fazit: .....   | 66 |

## 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 ein Fokus auf einer zeitwertgerechten Nachrüstung von Nutzfahrzeugen im gewerblichen und kommunalen Einsatz, die sich durch hohe spezifische Schadstoffemissionen und eine hohe Lebensdauer auszeichnen. Ein zweiter Fokus konzentriert sich auf Euro 5 Personenkraftwagen, die zwar einen Dieselpartikelfilter ab Werk besitzen, aber nicht über ein SCR-System zur Entstickung verfügen.

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 Umrüstsysteme 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 Grenzwertempfehlungen<sup>1</sup> 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 Gesetzgebung<sup>2</sup> 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“

---

<sup>1</sup> 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>

<sup>2</sup> Proposal for a revision of the Ambient Air Quality Directives [https://environment.ec.europa.eu/publications/revision-eu-ambient-air-quality-legislation\\_en](https://environment.ec.europa.eu/publications/revision-eu-ambient-air-quality-legislation_en)

Bezugnehmend auf die zum Zeitpunkt der Veröffentlichung der WHO-Grenzwerte zur Verfügung stehenden Jahresmittelwerte des Jahres 2020 überschreiten nachweislich mindestens 400 deutsche Kommunen<sup>3</sup> die neue WHO-Empfehlung für Stickstoffdioxid (NO<sub>2</sub>) von 10 µg/m<sup>3</sup> im Jahresmittel. Bei Feinstaub (PM<sub>2,5</sub>) überschreiten nahezu alle Kommunen den empfohlenen Grenzwert von 5 µg/m<sup>3</sup> 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.

| 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   |

Tabelle: Ergebnis Recherche<sup>4</sup>

Ohne weitere Maßnahmen werden somit wohl auch noch in 5 Jahren ein Großteil aller heutigen PKW-Modelle mit Dieselmotoren der Emissionsnorm Euro 5 und älter im Markt sein. Selbst in 10 Jahren ist

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

<sup>4</sup> HJS Interne Recherche

immer noch ein hoher Anteil an PKW-Modellen mit der Emissionsnorm Euro 5 und älter im Markt zu erwarten. Diese belegen die nachfolgenden Statistiken der ACEA<sup>5</sup>.

#### NOx emissions from the EU van fleet, by Euro classes

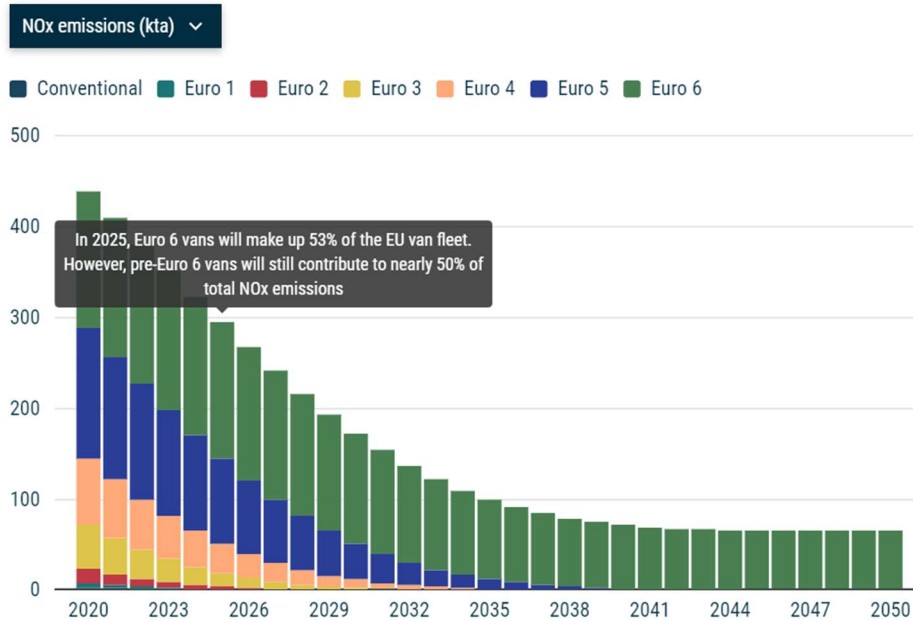


Abbildung 1: Beispiel-Studie ACEA: im Jahr 2030 werden 38kt von 150kta also ca. 25% der NOx-Emissionen im Bereich der LDV von Fahrzeugen der Generation Euro 5 und älter verursacht

<sup>5</sup> 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=mail-poet&utm\\_medium=email&utm\\_campaign=newsletter-post-title\\_191](https://www.acea.auto/figure/nox-emissions-from-the-eu-van-fleet-by-euro-classes/?utm_source=mail-poet&utm_medium=email&utm_campaign=newsletter-post-title_191)

## NOx emissions from the EU van fleet, by Euro classes

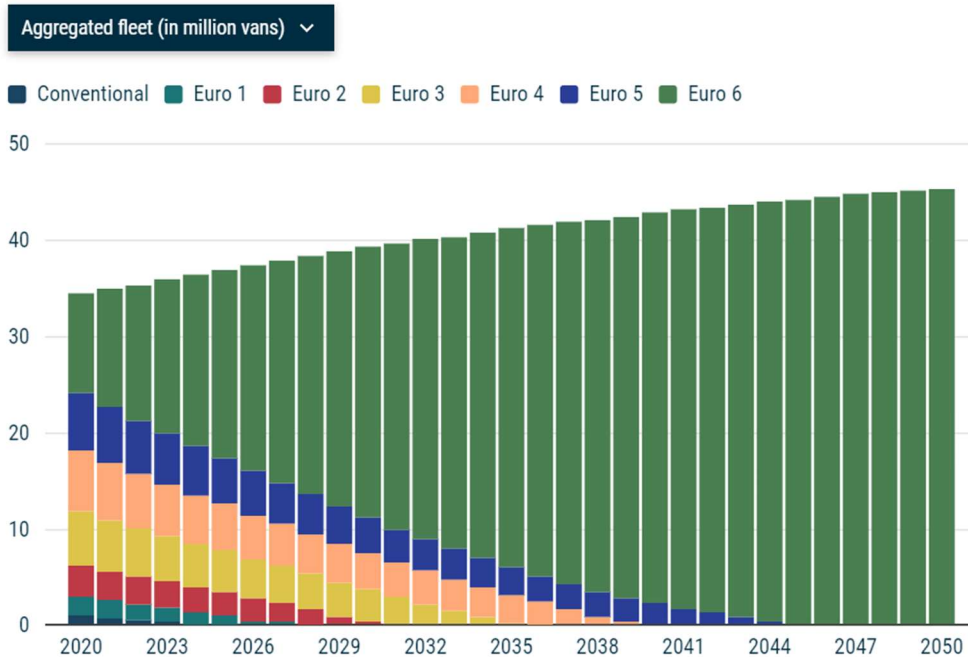


Abbildung 2: Beispiel-Studie ACEA: im Jahr 2031 werden 10 Mio. von 40 Mio. also ca. 25% Fahrzeuge im Bereich der LDV-Fahrzeuge der Generation Euro 5 und älter sein

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 PKWs

### 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).

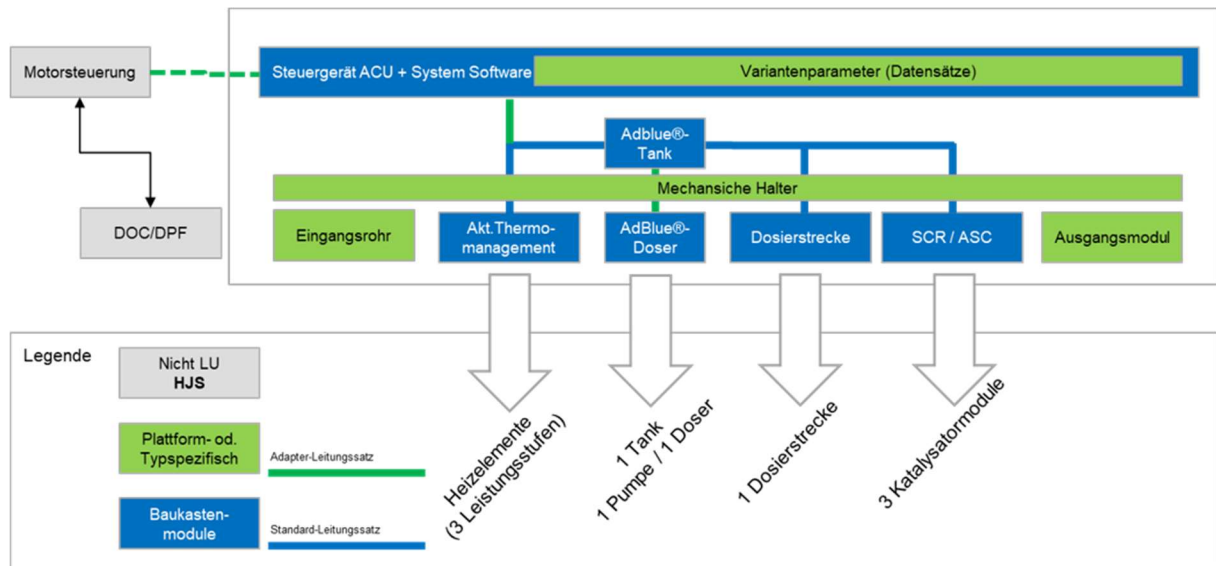


Abbildung 3: Konzept des Nachrüstsystems.

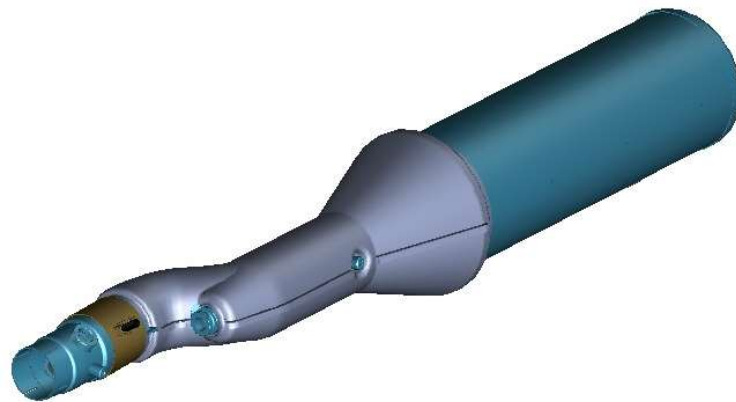


Abbildung 4: SCR- Nachrüstsystem.

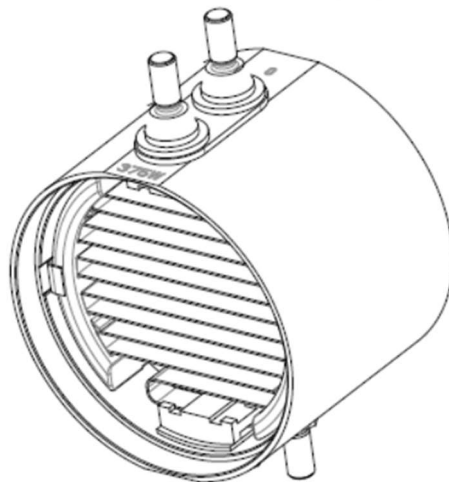


Abbildung 5: Heizelement.



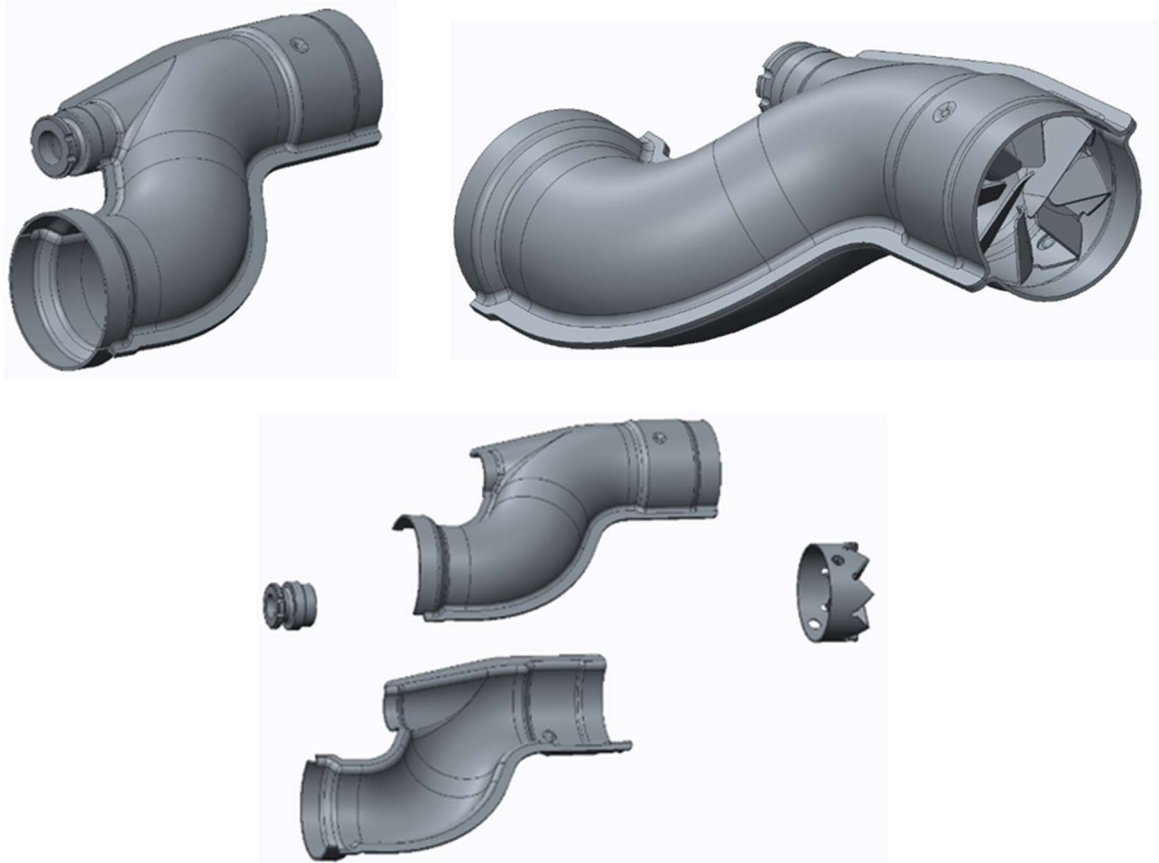


Abbildung 6: Mischerrohrbogen mit Flansch für das Dosiermodulflansch.

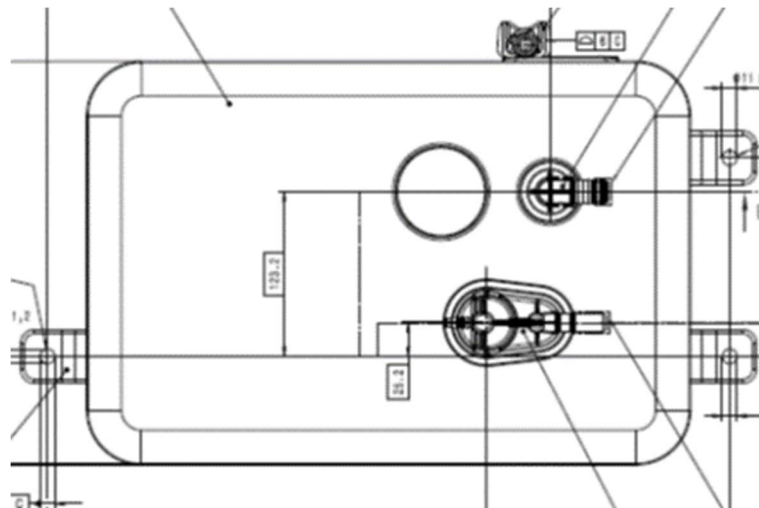


Abbildung 7: AdBlue-Tank.

Die Realisierung des Nachrüstsystems setzt ein Signal- und Datenverarbeitungskonzept voraus, das 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.

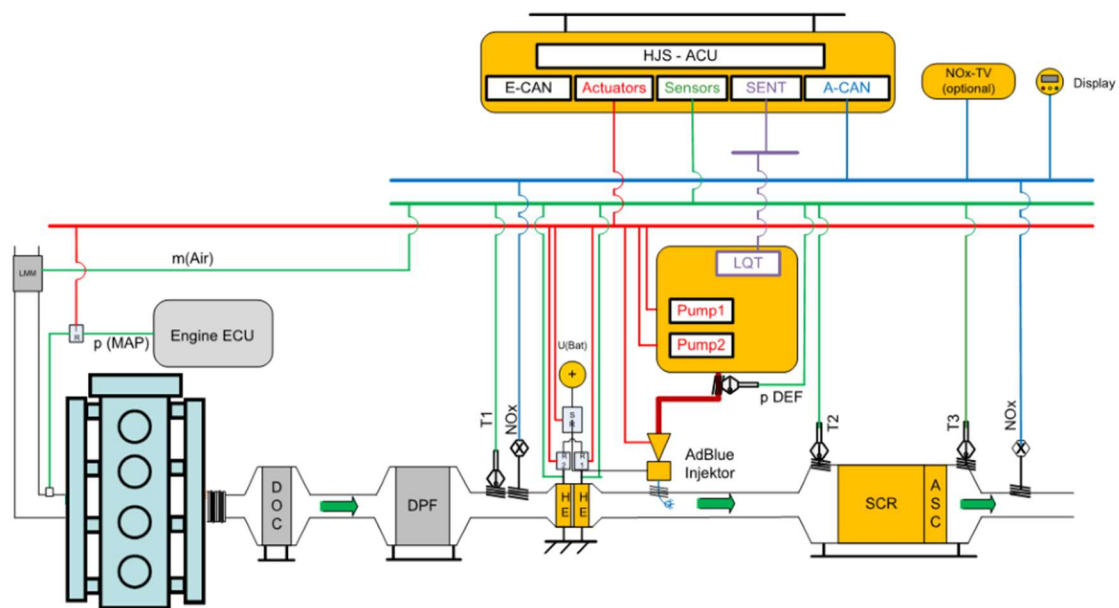


Abbildung 8: Signallaufplan des Eingriffskonzeptes der nachrüstbaren Abgasnachbehandlung (Systemumfang HJS in gelb).

Das Konzept umfasst:

- Erkennung Motorlauf,
- Aktivierung des Dosiersystems (Druckaufbau in der Leitung),
- Messung von Abgastemperatur, Luftmasse und  $\text{NO}_x$ -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  $\text{NH}_3$ -Speicherfüllstands,
- fortlaufende Messung von AdBlue-Level im Tank und AdBlue-Qualität,
- Anzeige von Serviceinformationen und Fehlern mittels Display,
- 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  $\text{NO}_x$ -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 sie 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 Halterysteme 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 NO<sub>x</sub>-Sensoren,
- hydraulische Installation und Anbindung der Bauteile, wie Pumpe und Dosier sowie des für die AdBlue-Dosierung notwendigen Tanksystems im Fahrzeug,
- Ableitung und Realisierung des geeigneten Konzeptes zur Betankung mit AdBlue:
  - o AdBlue-Betankung im Kofferraum oder
  - o 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 AdBluetankstützen 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 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, wird ein  $\text{NO}_x$ -Speicher benötigt. Dieser muss mittels Überdosierungen aufgefüllt werden, was erfolgt, wenn die Temperatur oberhalb der Dosierfreigabe liegt. Diese Überdosierung ist jedoch durch einen möglichen  $\text{NH}_3$ -Schlupf begrenzt.
- Parallel waren auch die Lachgaskonzentrationen ( $\text{N}_2\text{O}$ ) zu berücksichtigen.  $\text{NO}_2$  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  $\text{NH}_3$ -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. Systemintegration 4- und 6-Zylinder-Motoren des VAG-Konzerns

Dazu wurden die Fahrzeugbestände des VAG-Konzerns mit 4- und 6-Zylinder-Motoren der Schadstoffklasse 5 erfasst und nach Motoreigenschaften (Hubraum) eingeteilt (Abbildung 9). Auch das vorhandene Abgassystem wurde erfasst. Mit über 1,4 Mio. Stück sind Fahrzeuge mit Motoren einem Hubraum von 1.968 cm<sup>3</sup> am häufigsten, gefolgt von solchen mit 1.598 cm<sup>3</sup>. Fahrzeuge mit einem Hubraum von 2.967 cm<sup>3</sup> weisen geringere Bestandszahlen auf, jedoch sind auch diese mit über 127.000 Fahrzeugen recht weit verbreitet.

Als Basis einer Familienbildung der ABE wurden die Fahrzeuge entsprechend der Motoreigenschaften in folgende zwei Gruppen eingeteilt, wie in Abbildung 10 dargestellt.

- Gruppe I umfasst den 4-Zylinder-Motor EA 189 sowohl mit Hubraum 1.598 cm<sup>3</sup> als auch mit 1.968 cm<sup>3</sup>.  
Die Motoreigenschaften lassen darauf schließen, dass prinzipiell ein gemeinsames SCR-System geeignet ist, um die gesamte Gruppe abzudecken.  
Der betroffene Bestand lag im Jahr 2021 bei ca. 2.000.000 Fahrzeugen.
- Gruppe II besteht aus dem 6-Zylinder Motor EA 897 mit dem Hubraum von 2.967 cm<sup>3</sup>.  
Der Bestand, der im Rahmen dieser Familie II abgedeckt werden sollte, lag im Jahr 2021 bei 127.793 Fahrzeugen.

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.

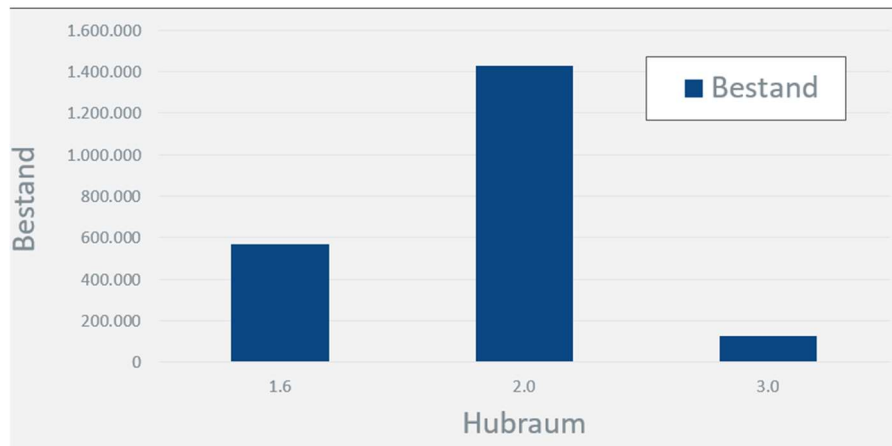


Abbildung 9: Fahrzeugbestände des VAG-Konzerns (4- und 6-Zylinder) mit Einteilung nach Hubraum des Motors.

|   |                    | 1.6<br>EA 189 | 2.0<br>EA 189 | 3.0<br>EA 897 |
|---|--------------------|---------------|---------------|---------------|
| Zylinderanzahl und -anordnung                     |                    | R4            | R4            | V6            |
| Ansaugsystem                                      |                    | VTG           | VTG           | VTG           |
| Einspritzsystem                                   |                    | CR            | CR            | CR            |
| Gesamtzylinderhubvolumen                          | [mm <sup>3</sup> ] | 1598          | 1968          | 2967          |
| Wirkprinzip der schadstoffreduzierenden Maßnahmen |                    |               |               |               |
| Abgasrückführung                                  |                    | Hoch          | Hoch          | Hoch          |
| Abgasrückführung                                  |                    | gekühlt       | gekühlt       | gekühlt       |
| PMS   |                    | DOC/DPF       | DOC/DPF       | DOC/DPF       |
| NOx-Speicherkat.                                  |                    | -             | -             | -             |
| SCR-Katalysator                                   |                    | -             | -             | -             |
| Emissionsklasse                                   |                    | 5             | 5             | 5             |
| Stückzahl   |                    | 568.526       | 1.426.952*    | 127.793       |

\* Bestandszahl enthält einen geringen Anteil an Fahrzeugen neuer Baureihen mit veränderter Abgasrückführung, die im Projekt nicht betrachtet werden.

Abbildung 10: Einteilung der Bestandsfahrzeuge (4- und 6-Zylinder) nach Eigenschaften der Motoren und des Abgassystems in zwei Gruppen als Basis für die Familienbildung.

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

## Familie I – Prüffahrzeug VW Passat

Für Familie I wurde ein VW Passat mit 2.0 TDI-Motor (EA 189) und einem Hubraum von 1.986 cm<sup>3</sup> sowie einer Leistung von 125 kW ausgewählt (Abbildung 11).

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. Nach unten gibt es keinerlei Beschränkungen, so dass mit dem ausgewählten Passat diese Voraussetzungen für die Familienbildung innerhalb der definierten Fahrzeuggruppe erfüllt wurden.

Abbildung 12 zeigt das Prüffahrzeug.

| Hersteller | Baureihe | Bezeichnung | Abgasnorm | Bauzeitraum | Motorkennbuchstaben    | Leistung |    |     |    | Drehzahl               | Drehmoment |    | Drehzahl                    |
|------------|----------|-------------|-----------|-------------|------------------------|----------|----|-----|----|------------------------|------------|----|-----------------------------|
| VW         | EA 189   | 1.6 TDI     | Euro 5    | 2009–2013   | CAYA                   | 55       | kW | 75  | PS | 4000 min <sup>-1</sup> | 195        | Nm | 1500–2000 min <sup>-1</sup> |
| VW         | EA 189   | 1.6 TDI     | Euro 5    | 2009–2013   | CAYB                   | 66       | kW | 90  | PS | 4200 min <sup>-1</sup> | 230        | Nm | 1500–2500 min <sup>-1</sup> |
| VW         | EA 189   | 1.6 TDI     | Euro 5    | 2009–2015   | CAYC                   | 77       | kW | 105 | PS | 4400 min <sup>-1</sup> | 250        | Nm | 1500–2500 min <sup>-1</sup> |
| VW         | EA 189   | 2.0 TDI     | Euro 5    | 2009–2013   | CAAA                   | 62       | kW | 84  | PS | 3500 min <sup>-1</sup> | 220        | Nm | 1250–2500 min <sup>-1</sup> |
| VW         | EA 189   | 2.0 TDI     | Euro 5    | 2009–2016   | CAAB                   | 75       | kW | 102 | PS | 3500 min <sup>-1</sup> | 250        | Nm | 1250–2500 min <sup>-1</sup> |
| VW         | EA 189   | 2.0 TDI     | Euro 5    | 2009–2013   | CBDC, CFFD             | 81       | kW | 110 | PS | 4200 min <sup>-1</sup> | 280        | Nm | 1500–2500 min <sup>-1</sup> |
| VW         | EA 189   | 2.0 TDI     | Euro 5    | 2007–2014   | CBAB, CFFB             | 103      | kW | 140 | PS | 4200 min <sup>-1</sup> | 320        | Nm | 1750–2500 min <sup>-1</sup> |
| VW         | EA 189   | 2.0 TDI     | Euro 5    | 2009–2015   | CFHD, CAGA, CJCA, CBAC | 105      | kW | 143 | PS | 4200 min <sup>-1</sup> | 320        | Nm | 1750–2500 min <sup>-1</sup> |
| VW         | EA 189   | 2.0 TDI     | Euro 5    | 2009–2014   | CAHA, CBBB, CFGB       | 125      | kW | 170 | PS | 4200 min <sup>-1</sup> | 350        | Nm | 1750–2500 min <sup>-1</sup> |
| VW         | EA 189   | 2.0 TDI     | Euro 5    | 2012–2015   | CFGC, CGLC             | 130      | kW | 177 | PS | 4200 min <sup>-1</sup> | 380        | Nm | 1750–2500 min <sup>-1</sup> |

Abbildung 11: Übersicht der Motoreigenschaften und Auswahl des geeigneten Typs für das Prüffahrzeug der Familie 1 (4-Zylinder).



Abbildung 12: Prüffahrzeug Passat (Euro 5).

Das Original-Abgasnachbehandlungssystem wurde sowohl anhand des beschafften Fahrzeuges als auch anhand von Daten aus dem Ersatzteil-Katalog des Herstellers untersucht.

Abbildung 13 zeigt den Unterboden des Fahrzeuges mit Original-Abgassystem. Dieser wurde betrachtet und zudem ein 3D-Scan vorgenommen, so dass der zur Verfügung stehende Bauraum für das AGN-System genau ermittelt wurde.

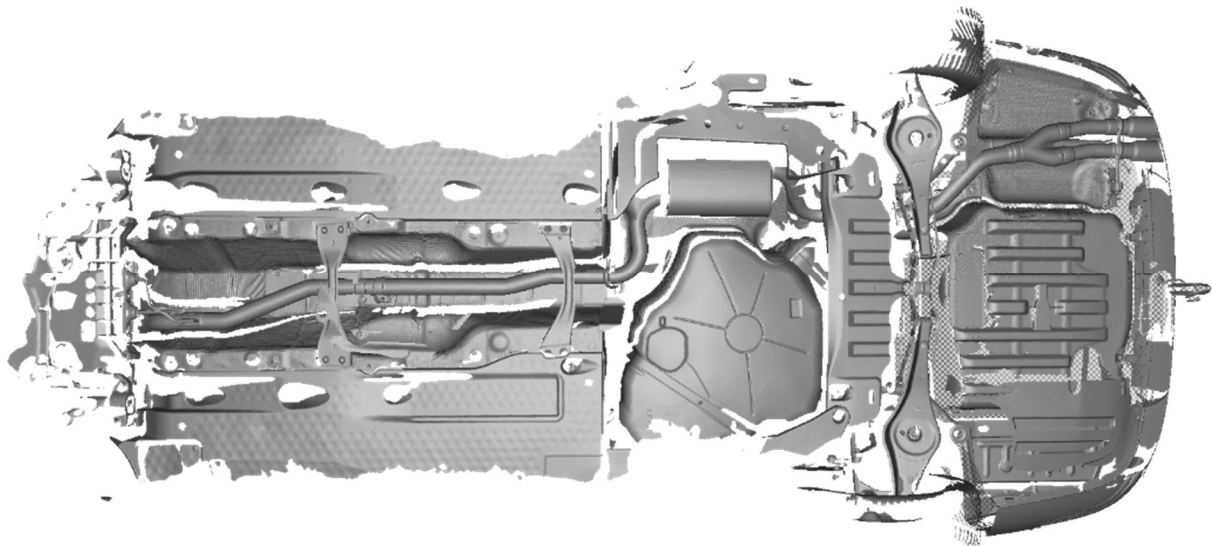
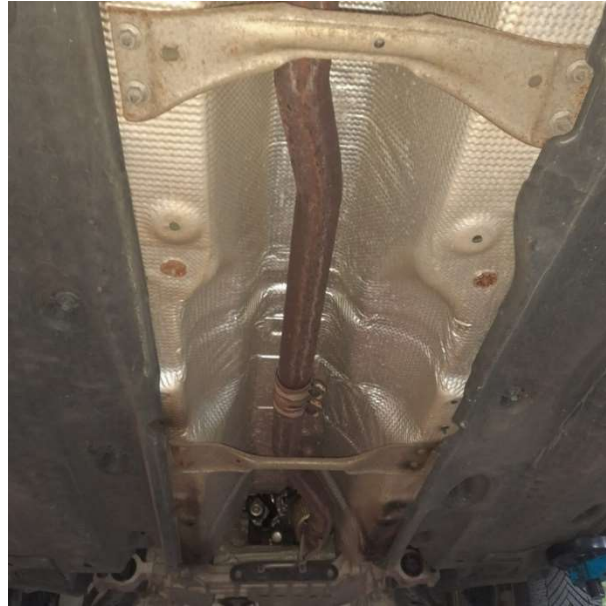


Abbildung 13: VW Passat – Unterboden mit Original-Abgasnachbehandlungssystem (Bauraum für das Nachrüstsystem) und Scan.

Als möglicher Bauraum für den AdBlue-Tank, die ACU und das Heizungsrelais des Nachrüstsystems wurde die Reserveradmulde ermittelt und ebenfalls mittels des 3D-Scan-Verfahrens untersucht (Abbildung 14).



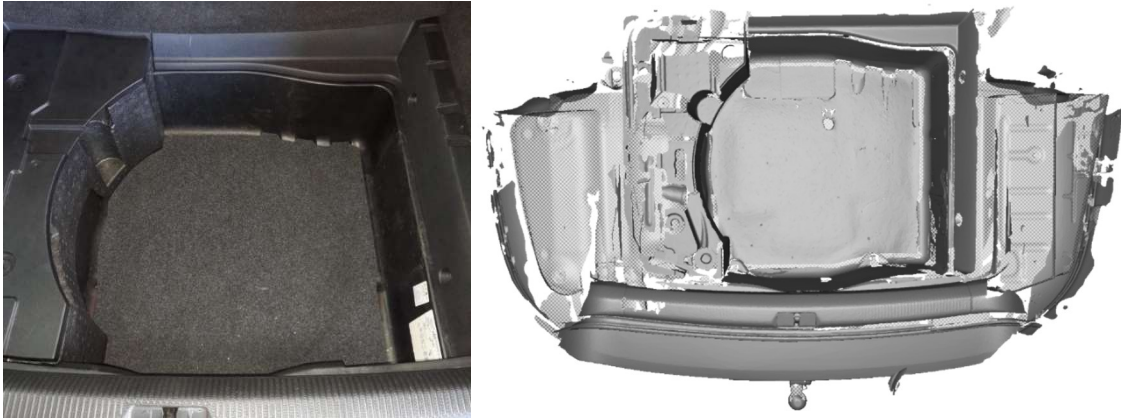


Abbildung 14: VW Passat – Reserveradmulde als Bauraum für den AdBlue-Tank und die HJS-ACU mit Scan (rechts).

## Familie II – Prüffahrzeug VW Touareg

Für Familie II fiel die Wahl des Prüffahrzeuges auf einen VW Touareg mit dem Motor EA896G2 und einer Leistung von 180 kW (Abbildung 15, Abbildung 16).

| Hersteller | Baureihe | Bezeichnung | Abgasnorm | Bauzeitraum | Motorkennbuchstaben | Leistung |    |     |    | Drehzahl                      |  | Drehmoment | Drehzahl |                             |
|------------|----------|-------------|-----------|-------------|---------------------|----------|----|-----|----|-------------------------------|--|------------|----------|-----------------------------|
| VW         | EA896    | 3.0 TDI     | Euro 5    | 2009–2014   | CASD                | 150      | kW | 204 | PS | 3750 - 4750 min <sup>-1</sup> |  | 450        | Nm       | 1400–3500 min <sup>-1</sup> |
| VW         | EA896    | 3.0 TDI     | Euro 5    | 2009–2014   | CJMA                | 150      | kW | 204 | PS | 3750 - 4750 min <sup>-1</sup> |  | 450        | Nm       | 1400–3500 min <sup>-1</sup> |
| VW         | EA896    | 3.0 TDI     | Euro 5    | 2009–2014   | CRCD                | 150      | kW | 204 | PS | 3750 - 4750 min <sup>-1</sup> |  | 450        | Nm       | 1400–3500 min <sup>-1</sup> |
| VW         | EA896    | 3.0 TDI     | Euro 5    | 2010–2011   | CASA                | 176      | kW | 240 | PS | 4000 - 4400 min <sup>-1</sup> |  | 550        | Nm       | 2000–2250 min <sup>-1</sup> |
| VW         | EA896    | 3.0 TDI     | Euro 5    | 2010–2011   | CNRB                | 176      | kW | 240 | PS | 4000 - 4400 min <sup>-1</sup> |  | 550        | Nm       | 2000–2250 min <sup>-1</sup> |
| VW         | EA896G2  | 3.0 TDI     | Euro 5    | 2011–2014   | CJGD                | 180      | kW | 245 | PS | 3800 - 4400 min <sup>-1</sup> |  | 550        | Nm       | 1750–2750 min <sup>-1</sup> |
| VW         | EA896G2  | 3.0 TDI     | Euro 5    | 2011–2014   | CRCA                | 180      | kW | 245 | PS | 3800 - 4400 min <sup>-1</sup> |  | 550        | Nm       | 1750–2750 min <sup>-1</sup> |

Abbildung 15: Übersicht der Motoreigenschaften und Auswahl des geeigneten Typs für das Prüffahrzeug der Familie 2 (6-Zylinder).



Abbildung 16: Prüffahrzeug VW Touareg.

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 17 als auch nach dessen Ausbau (Abbildung 18) gescannt. Das Original-AGN-System ist in Abbildung 19 dargestellt.

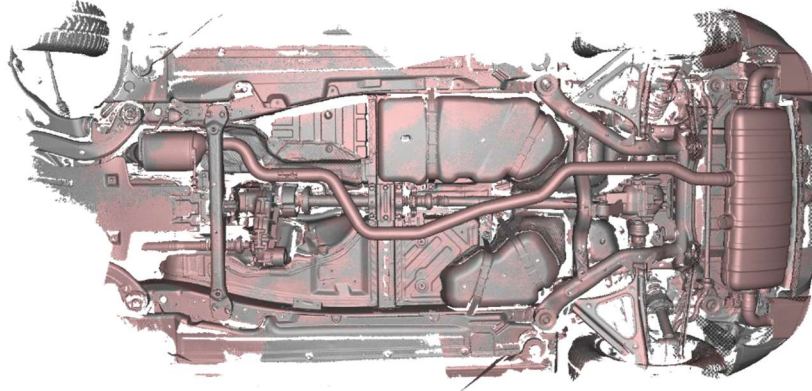


Abbildung 17: VW Touareg – Unterboden mit Original-Abgasnachbehandlungssystem (Bauraum für das Nachrüstsystem).

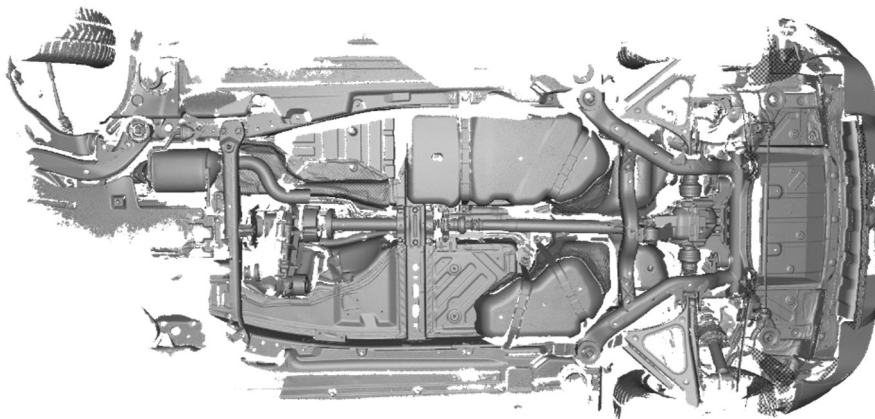


Abbildung 18: VW Touareg – Unterboden ohne Original-Abgasnachbehandlungssystem (Bauraum für das Nachrüstsystem).

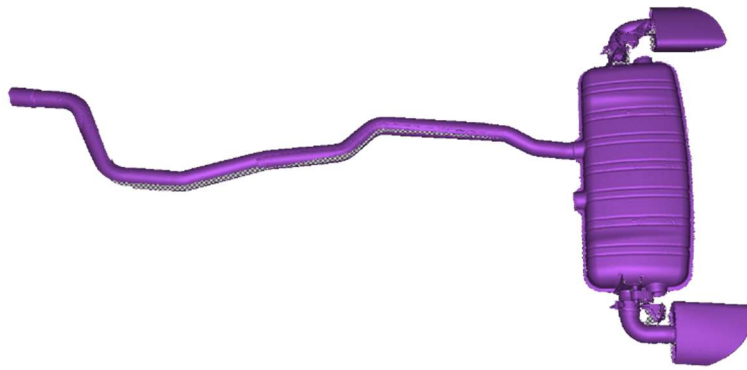


Abbildung 19: VW Touareg – Original-Abgasnachbehandlungssystem.

Auch hier wurde zusätzlich die Reserveradmulde als Bauraum für AdBlue-Tank, die ACU und das Heizungsrelais des Nachrüstsystems untersucht (Abbildung 20).



Abbildung 20: VW Touareg – Reserveradmulde als Bauraum für den AdBlue-Tank und die HJS-ACU.

## Familie I – Nachrüstsystem Passat und Übertragbarkeit

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

Die Konstruktion des SCR-Systems für den VW Passat ist in Abbildung 21 dargestellt. Die Ein- und Ausgangskomponenten sind in Abbildung 22 dargestellt. Abbildung 23 zeigt die Baugruppe der Halter für AdBlue Tank, ACU und andere elektronische Bauteile.

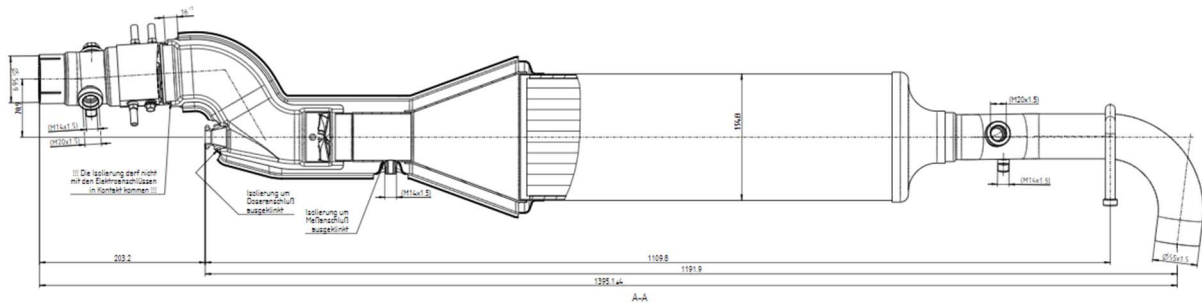


Abbildung 21: VW Passat – Nachrüstsystem.

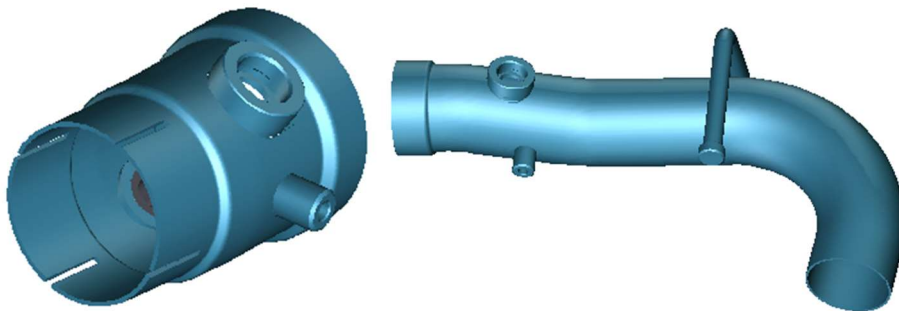


Abbildung 22: VW Passat – spezifische Ein- und Ausgangskomponenten.

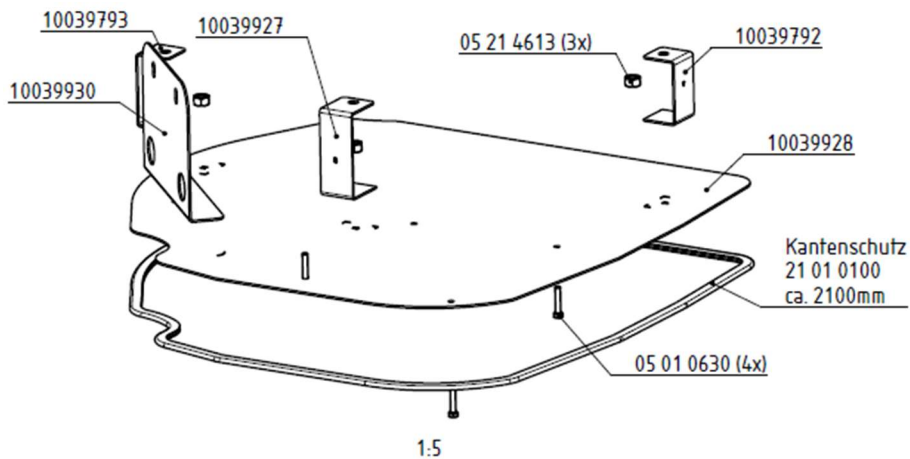
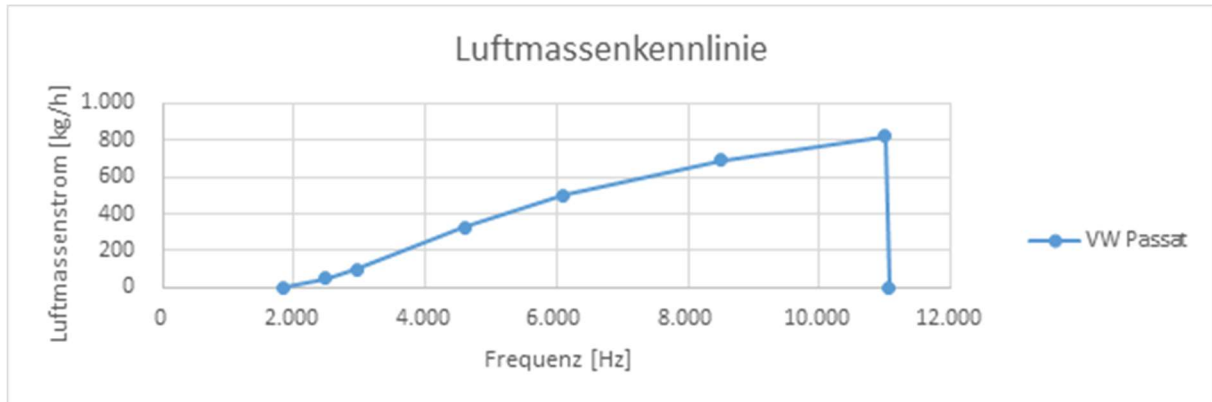


Abbildung 23: VW Passat – Baugruppe Halter für AdBlue Tank, ACU und andere elektronische Bauteile.

Die anhand der Testfahrt ermittelte Luftmassenkennlinie ist in Abbildung 24 dargestellt. Die Ergebnisse gingen in die Bedienung 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]   | 1836 | 2488 | 2956 | 4597 | 6100 | 8500 | 11000 | 11051 |
| [kg/h] | 0    | 48   | 100  | 326  | 499  | 691  | 821   | 0     |

Abbildung 24: VW Passat – Luftmassenkennlinie.

Weiterhin zeigten die Betrachtungen, dass eine Übertragung des Systems auf folgende Fahrzeugtypen, wie VW Touran, Golf VI, VW Tiguan, Skoda Octavia, Skoda Yeti, Skoda Superb, Audi A3, Audi A4 und Audi Q3, möglich ist. Tabelle 1 zeigt die Übersicht hierzu.

Tabelle 1: Übertragung des Systems auf andere Fahrzeugtypen.

| Plattform    | Hersteller | Fahrzeugtyp       |
|--------------|------------|-------------------|
| A5           | Audi       | A4                |
|              |            | Q5 1              |
| Fabia 2      | Seat       | Ibiza IV          |
|              | Skoda      | Praktik II        |
|              | Skoda      | Fabia             |
|              |            | Roomster          |
| Golf 5       | Audi       | A3 (8P)           |
|              |            | Q3 1              |
|              |            | TT II             |
|              | Seat       | Altea/XL          |
|              |            | Leon II           |
|              |            | Toledo III        |
|              |            |                   |
|              | Skoda      | Octavia II        |
|              |            |                   |
|              | VW         | Caddy III         |
|              |            | Eos               |
|              |            | Golf VI           |
|              |            | Golf VI Variant   |
|              |            | Golf VI Cabriolet |
| Golf VI Plus |            |                   |
| Jetta IV     |            |                   |
| Scirocco III |            |                   |
| Touran I     |            |                   |
| Golf 7       | Audi       | A3 (8V)           |
|              | Seat       | Leon III          |
|              | Skoda      | Octavia III       |
| Passat       | VW         | Passat            |
| Toledo 4     | Seat       | Toledo IV         |
|              | Skoda      | Rapid             |

Um die Machbarkeit für diese anderen Fahrzeuge zu untersuchen, wurden Bauraumbetrachtungen verschiedener Plattformen durchgeführt und verfügbare Daten des SCR aus dem Ersatzteilkatalog des Herstellers ausgewertet. Die Ergebnisse bestätigen, dass das System auch in Fahrzeuge der gleichen Plattform eingebaut werden kann, was die nachfolgenden Fahrzeugbetrachtungen zeigen:

**VW Touran Baujahr 2011**

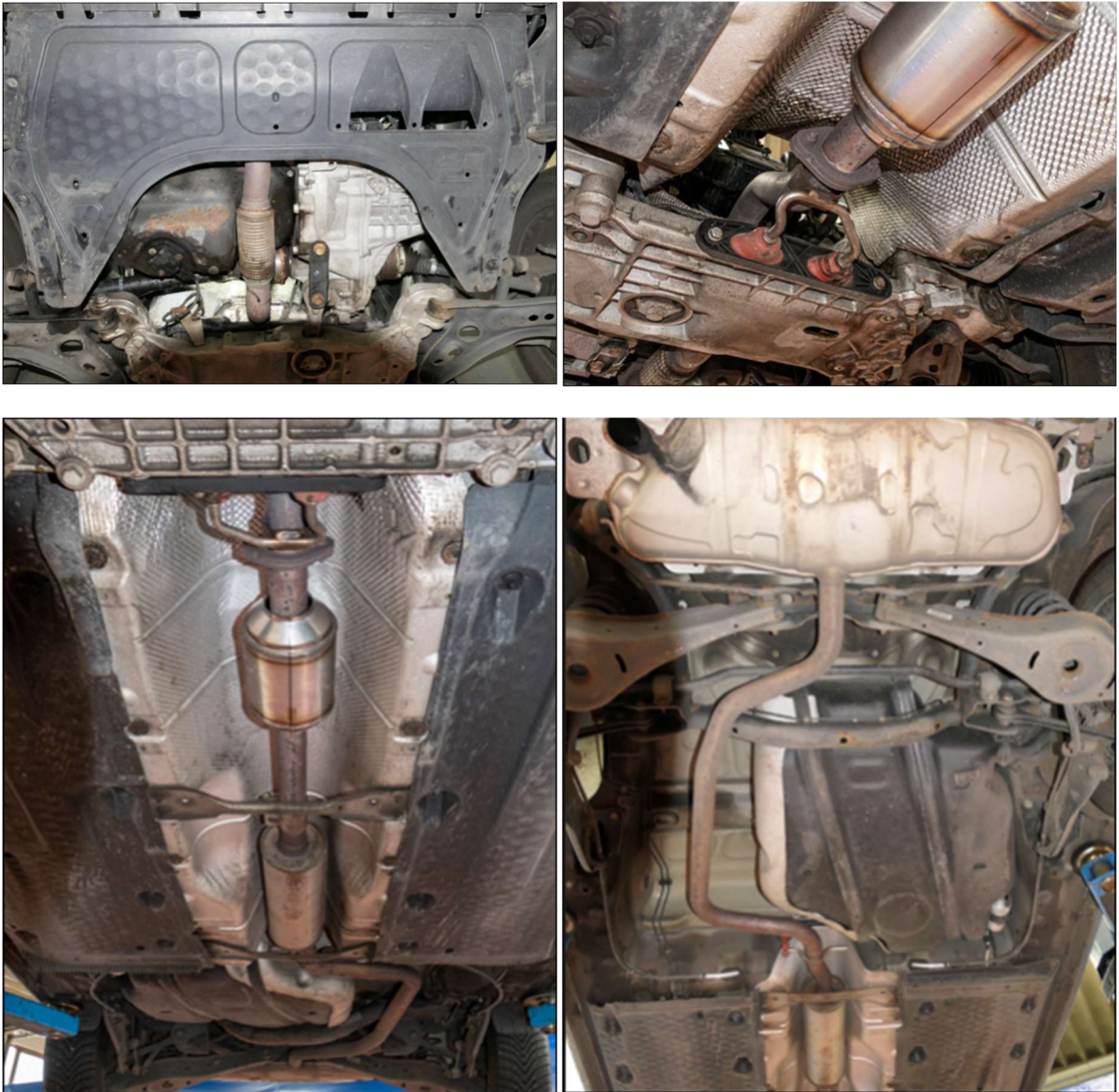


Abbildung 25: VW Touran – Auszug aus den Bauraumbetrachtungen.

**VW Golf VI 2.0 TDI Euro 5**

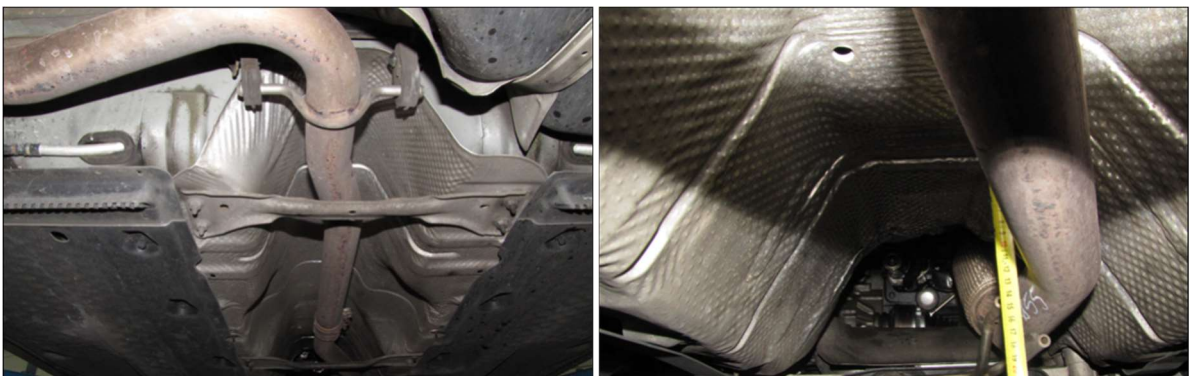




Abbildung 26: VW Golf VI 2.0 TDI Euro 5 – Auszug aus den Bauraumbetrachtungen.

**Skoda Octavia Baujahr 2011**

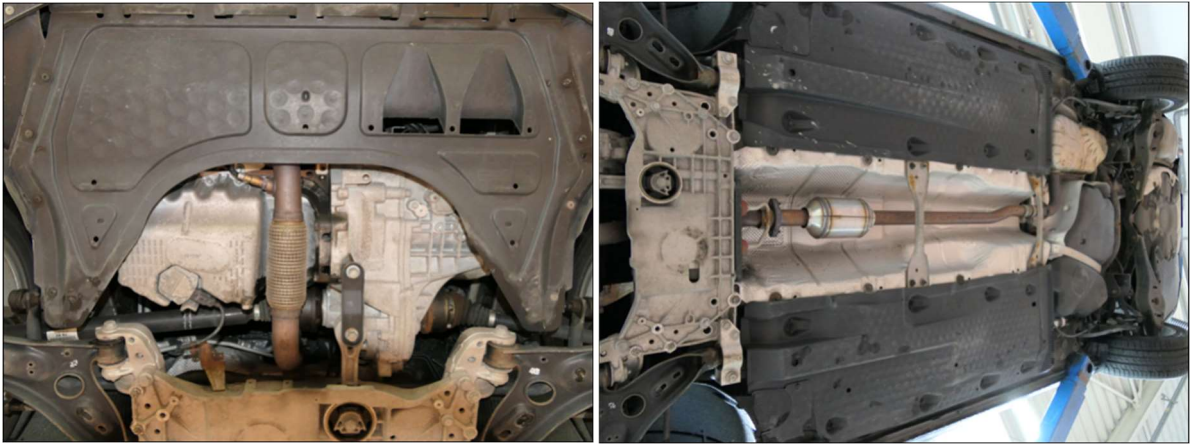


Abbildung 27: Skoda Octavia Baujahr 2011 – Auszug aus den Bauraumbetrachtungen.

**Skoda Yeti 2.0 TDI Euro 5 Baujahr 2011**



Abbildung 28: Skoda Yeti 2.0 TDI Euro 5 Baujahr 2011 – Auszug aus den Bauraumbetrachtungen.

**VW Tiguan Baujahr 2013**



Abbildung 29: VW Tiguan Baujahr 2013 – Auszug aus den Bauraumbetrachtungen.

**Audi A3 2.0 Diesel Euro 5 Baujahr 2013**



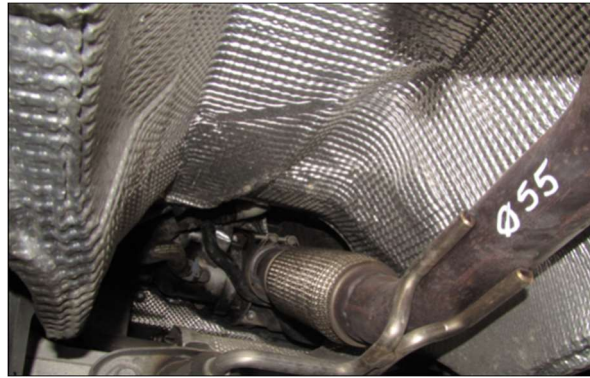


Abbildung 30: Audi A3 2.0 Diesel Euro 5 Baujahr 2013 – Auszug aus den Bauraumbetrachtungen.

**Audi A4 Avant 2.0 Diesel Euro 5 Baujahr 2013**



Abbildung 31: Audi A4 Avant 2.0 Diesel Euro 5 Baujahr 2013 – Auszug aus den Bauraumbetrachtungen.

### Audi Q3 2.0 Diesel Euro 5 Baujahr 2012



Abbildung 32: Audi Q3 2.0 Diesel Euro 5 Baujahr 2012 – Auszug aus den Bauraumbetrachtungen.

## Familie II – Nachrüstsystem Touareg und Übertragbarkeit

Die Untersuchungen und Erfahrungen zum ausgewählten SCR-System beschränkten sich bisher auf 4 Zylinder-Motoren mit Hubraum von 2 - 2,3 Liter. Für den Touareg ergeben sich bedingt durch den 6-Zylindermotor und den höheren Hubraum von 2.967 cm<sup>3</sup> nochmals deutlich anspruchsvollere Bedingungen für die Abgasbehandlung. So beträgt der Massenstrom beim VW Passat bis zu 640 kg/h, während beim Touareg Werte von bis zu 950 kg/h erreicht werden.

Der Ansatz, den gleichen SCR einzusetzen, war somit mit risikobehaftet, wurde jedoch in Hinblick auf eine schnelle und kostengünstige Marktverfügbarkeit als vorteilhaft bewertet.

Im ersten Schritt wurde daher untersucht, ob das System des Passats auch in den Touareg integriert werden kann. Dazu wurden Halter konstruiert und das SCR-System mit den bestehenden Komponenten eingebaut. Diese wurde in Betrieb genommen sowie erprobt.

Das System erwies sich prinzipiell als funktionsfähig, die Wirkung des SCR-Systems hinsichtlich Stickoxid-Minderung wurde nachgewiesen. Die ersten Verbrauchsmessungen im WLTC zeigten jedoch einen Mehrverbrauch von 8,2 %, also oberhalb der zulässigen 6 %, so dass das SCR-System in dieser Form nicht geeignet war. Daher wurden umfangreiche Analysen des SCR-Systems und der Fahrzeuggegebenheiten durchgeführt. Diese ließen darauf schließen, dass das verfolgte Prinzip des SCR mit AdBlue-Beimischung und Thermomanagement prinzipiell geeignet ist, jedoch weitere Maßnahmen an dem System erforderlich waren, um die Anforderungen erfüllen zu können. Sowohl das Verhalten des Thermomanagements als auch der hohe Gegendruck der Anlage wurden dabei als kritisch hinsichtlich des Kraftstoffverbrauches erachtet.



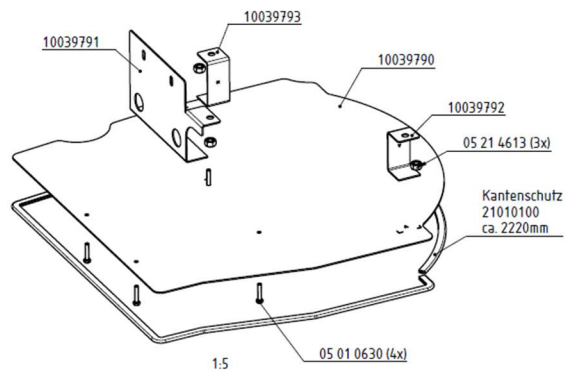
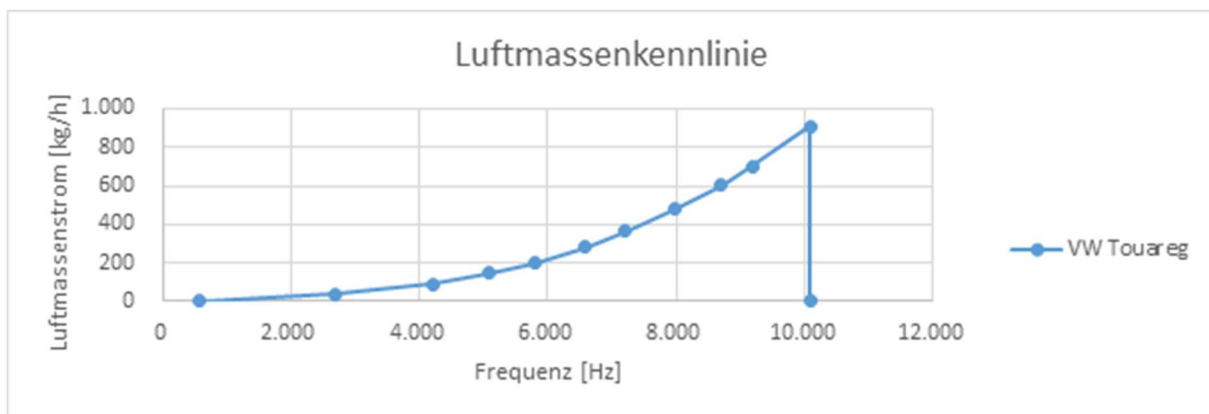


Abbildung 35: VW Touareg – Baugruppe Halter für AdBlue Tank, ACU und andere elektronische Bauteile.

Auch für den Touareg wurde die Luftmassenkennlinie in einer Testfahrt mit Aufzeichnung des Luftmassenstroms ermittelt (Abbildung 36), um den Luftmassenstrom aus der Frequenz des Luftmassensignals bestimmen zu können.



|        |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |       |       |
|--------|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|
| [Hz]   | 566 | 2700 | 4200 | 5081 | 5789 | 6586 | 7207 | 7961 | 8704 | 9178 | 10080 | 10081 |
| [kg/h] | 0   | 36   | 92   | 147  | 200  | 281  | 367  | 480  | 602  | 700  | 910   | 0     |

Abbildung 36: VW Touareg – Luftmassenkennlinie.

Auch in diesem Fall ist eine Übertragung auf andere Fahrzeugmodelle möglich. Dies sind Audi Q7, Porsche Cayenne und Audi A6 (Tabelle 2).

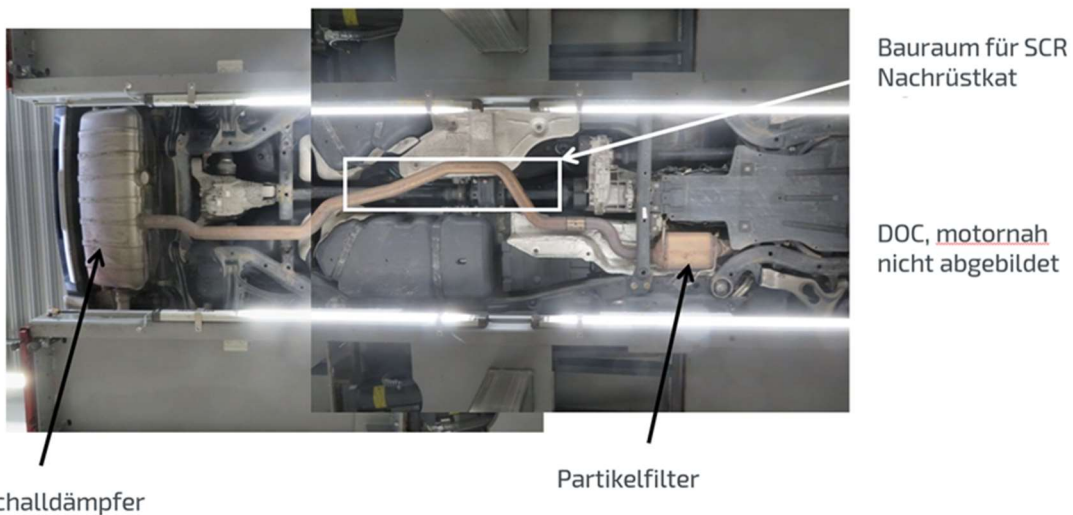
Tabelle 2: Übertragung des Systems auf andere Fahrzeugtypen.

| Plattform  | Hersteller | Fahrzeugtyp       |
|------------|------------|-------------------|
| Touareg II | Audi       | Audi Q7           |
|            | Porsche    | Porsche Cayenne 2 |
|            | VW         | Touareg II        |
| A6         | Audi       | A6                |

Die Ergebnisse der Machbarkeitsstudien zu den einzelnen Fahrzeugen sind im Folgenden genauer dargestellt.

### Porsche Cayenne

Abgasanlage 3,0l, Euro 5



Die Betrachtung der Fahrzeugeigenschaften und des Bauraumes des Porsche Cayenne (3 l, Euro 5, 1-flutige Ausführung) ergab, dass das neue SCR-System bei dieser einflutigen Ausführung in den Unterboden nach dem vorhandenen DPF integriert werden kann.



Abbildung 37: Bauraum-Betrachtung Porsche Cayenne – Unterboden und Reserveradmulde.

## Audi A6

Betrachtet wurde ein Audi A6 3.0 Diesel Euro 5, Baujahr 2013, 6 Zylinder. Neben der Betrachtung des Bauraumes (Abbildung 38) wurden auch Angaben zum Abgassystem aus dem Ersatzteilkatalog herangezogen und ausgewertet.

Es zeigte sich, dass das neue Nachrüst-SCR-System auch für dieses Fahrzeug geeignet ist und integriert werden kann.



Abbildung 38: Bauraum-Betrachtung Audi A6 – Unterboden.

Nachdem die beiden Varianten des Nachrüstsystems für die zwei Fahrzeugfamilien im Detail definiert worden waren, 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.

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

Die Erprobung erfolgte anhand der beschafften Gebrauchtfahrzeuge der Stufe Euro 5 mit original verbautem DOC/DPF-System. Daher lagen hinsichtlich der Nachrüstung eines solches 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 Passat mit Erstzulassung 02.08.2012 und einer Laufleistung von 114.620 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 Touareg. Dieser wurde ebenfalls als geeignet bewertet.

Um die Systeme erproben zu können, wurden daraufhin die zwei vorliegenden Muster in die Testfahrzeuge VW Passat und VW Touareg 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<sub>x</sub> vor und nach SCR),
- Einbau des Tanks, der Relaisplatte und der ACU in die Reserveradmulde mit Durchführung zum Unterboden,
- Verlegung der AdBlue-Leitung,
- Verlegung der Kabel,
- Isolierung von Heizung und NO<sub>x</sub>-Doser,
- Anschluss Inducement,
- Abgreifen des Signals des Ladedrucksensors,
- Installation des Anzeigemoduls.

Abbildung 39 bis Abbildung 45 zeigen die Vorbereitung, den Einbau und das eingebaute System für das Testfahrzeug VW Passat.

## Familie I – Systemintegration beim VW Passat



Abbildung 39: VW Passat - Vorbereitung des Einbaus: Schnittstellen nach DPF des Herstellers (oben) und vor Mittelschalldämpfer des Herstellers (unten).



Abbildung 40: VW Passat – Einbau des Systems: SCR-System (oben), Temperatur-Sensoren (Mitte) und NO<sub>x</sub>-Sensoren vor und nach dem SCR (unten).

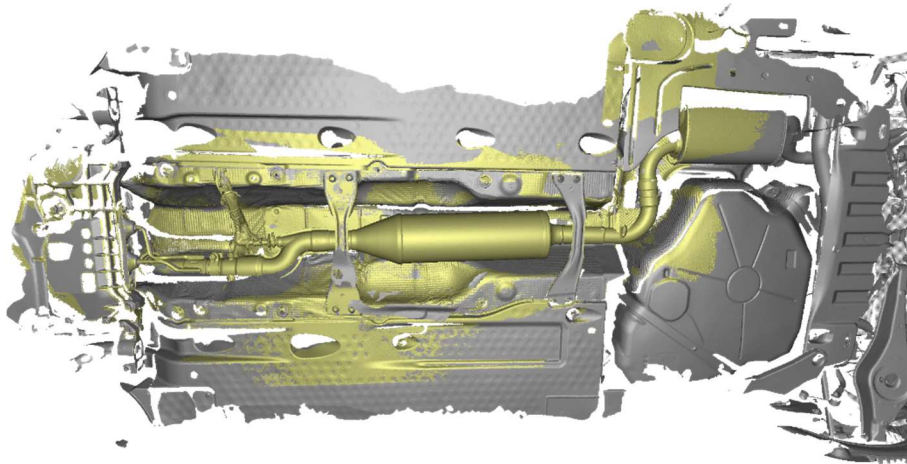


Abbildung 41: VW Passat – Scan des eingebauten SCR-Systems.



Abbildung 42: VW Passat – SCR-System nach Isolierung von Heizung und NO<sub>x</sub>-Doser.



Abbildung 43: VW Passat – Kabelverlegung im Unterboden und AdBlue-Leitung.



Abbildung 44: VW Passat – Tank, Relaisplatte, ACU und Kabelbaum (links) und Einbau von Tank und ACU in die Reserveradmulde mit Durchführung zum Unterboden (rechts).



Abbildung 45: VW Passat – Einbau des Anzeigemoduls.

## Familie II – Systemintegration beim Touareg

Die Vorbereitung des Testfahrzeuges für den Einbau des Nachrüstsystems ist in Abbildung 46 dargestellt.

Wie erläutert, wurde für den Touareg zunächst ein System identisch zu dem des Passats in das Fahrzeug integriert (Abbildung 47), das sich jedoch infolge des zu hohen Mehrverbrauches als nicht geeignet erwiesen hatte.



Abbildung 46: VW Touareg - Vorbereitung des Einbaus mit Schnittstelle zum DPF (unten rechts).

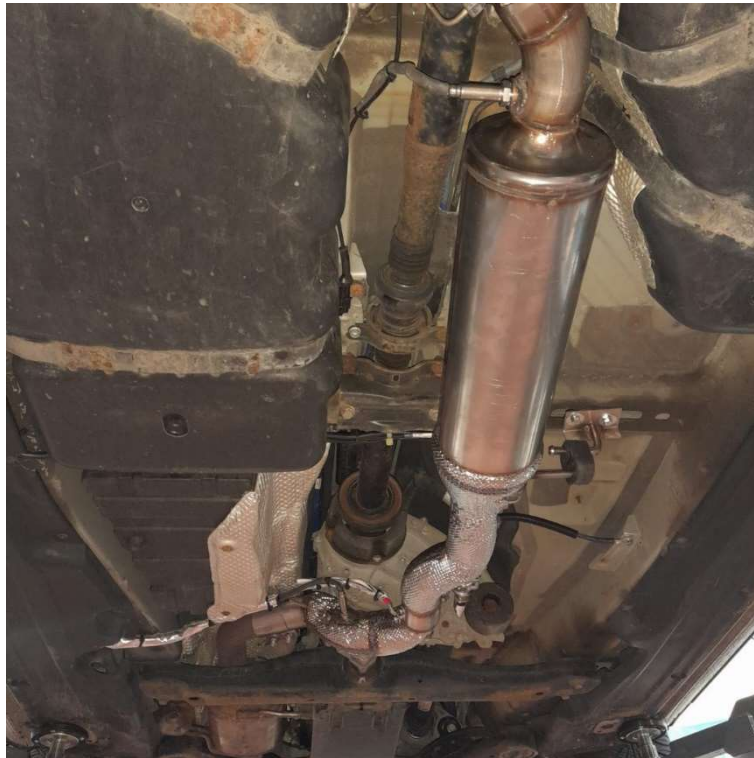


Abbildung 47: VW Touareg – Integration des Systems identisch zu dem des Passats (nicht optimiert).

Daher wurde im weiteren Verlauf das optimierte System mit spezifischen Komponenten für einen geeigneten Gegendruck in das Fahrzeug eingebaut, wie in Abbildung 48 dargestellt.

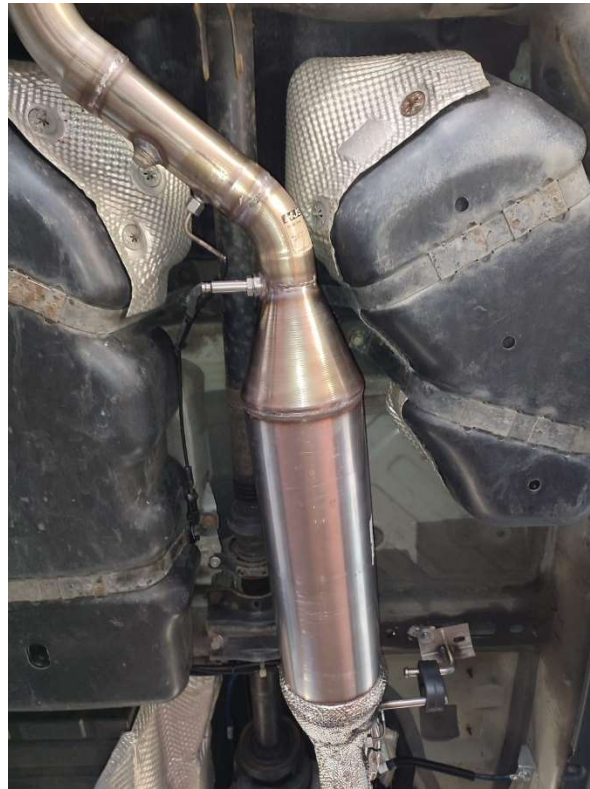


Abbildung 48: VW Touareg – Einbau des optimierten SCR-Systems und Kabelverlegung (Heizung, Injektor, AdBlue-Leitung und Masse).





Abbildung 49: VW Touareg – NO<sub>x</sub>-Sensoren.



Abbildung 50: VW Touareg – Einbau des AdBlue-Tanks und der ACU in die Reserveradmulde.

## Systemvalidierung und Leistungsmessungen

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 Kraftstoffmehrerbrauch zu messen.

Zur Vorbereitung wurde unter anderem eine geeignete Teststrecke ermittelt (Abbildung 51).

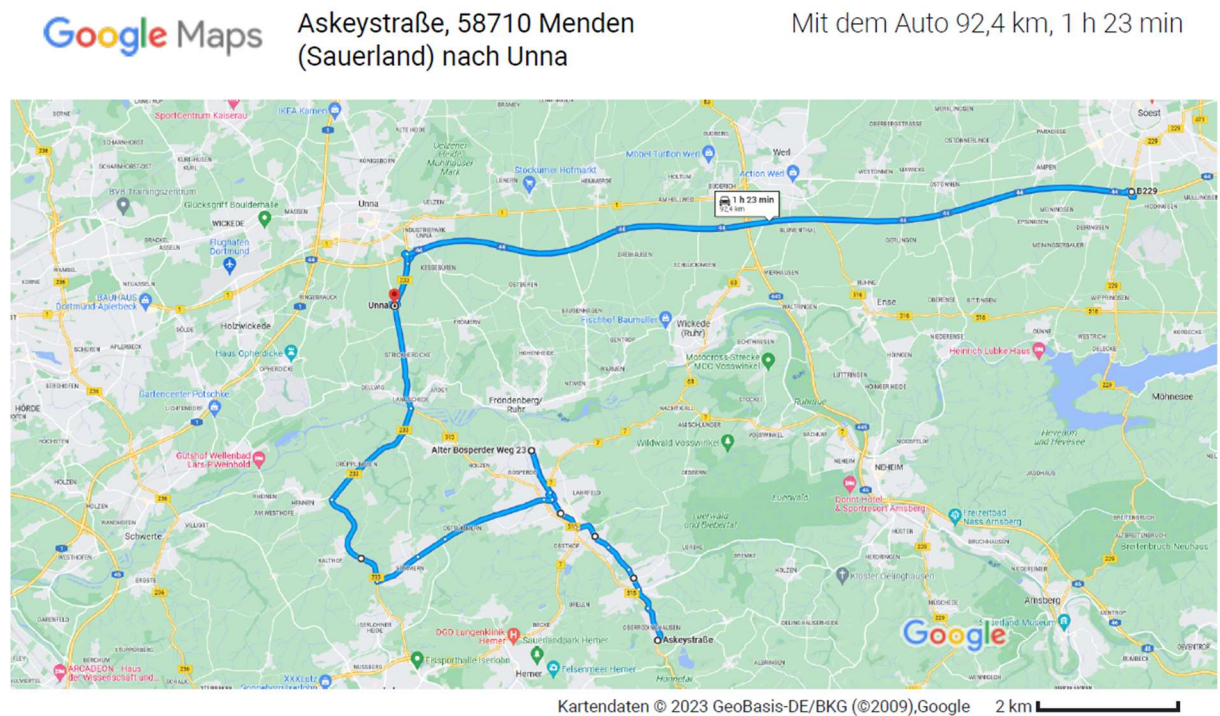


Abbildung 51: Auswahl der Teststrecke mit Autobahn-, Stadt- und Landfahrt.

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 Stockoxid-Reduktion anhand der Teststrecke untersucht.

### Familie I – Ergebnisse Prüffahrzeug VW-Passat

Im Fall des Passats 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 3 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 3: Prüffahrzeug Passat - Vergleich der Emissionen des ausgewählten Prüffahrzeuges mit Original-AGN-System mit den Typprüfwerten (NEFZ-Zyklus).

|                    |         | NEFZ<br>(neu) | NEFZ<br>(Typprüfwerte) |
|--------------------|---------|---------------|------------------------|
| NO <sub>x</sub>    | [mg/km] | 188,32        | 152,3                  |
| HC+NO <sub>x</sub> | [mg/km] | 208,92        | 169,9                  |
| CO                 | [mg/km] | 66,69         | 101,9                  |

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 sogar leicht unter dem ursprünglichen Verbrauch (Tabelle 4). Die Werte liegen somit im Rahmen der üblichen Abweichungen. Es ist somit kein nennenswerter Kraftstoffmehrverbrauch durch den Betrieb des Nachrüstsystems zu verzeichnen. Die Anforderungen an den Kraftstoffverbrauch werden somit erfüllt.

Tabelle 4: Prüffahrzeug Passat – Vergleich der Verbrauchsmessungen (WLTC) mit HJS-Nachrüstsystem und im Originalzustand (ohne SCR).

|                          |        | WLTC  |
|--------------------------|--------|-------|
| CO <sub>2</sub> ohne SCR | [g/km] | 142,0 |
| CO <sub>2</sub> mit SCR  | [g/km] | 139,4 |
| Verschlechterung         | [%]    | -1,83 |

Somit erfüllt das System die grundlegenden Anforderungen. Schließlich wurde die NO<sub>x</sub>-Reduktion anhand Testfahren auf der Teststrecke untersucht. Dabei wurden die Motordrehzahl, die Abgasmasse, die Abgastemperatur, die NO<sub>x</sub>-Konzentration vor und nach dem SCR-System sowie die Funktion des Heizelementes erfasst und untersucht (Abbildung 52).

Das Heizelement schaltet in 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<sub>x</sub>-Minderung durch den SCR gehalten wird.

Die Minderungsrate erwies sich schließlich mit 95 % als sehr hoch. Der Grenzwert von 270 mg/km wird deutlich unterschritten (Tabelle 5), auch unter den ungünstigen Bedingungen von Stadt- oder Landfahrten (S+L).

Das Nachrüstsystem erfüllt somit alle Anforderungen.

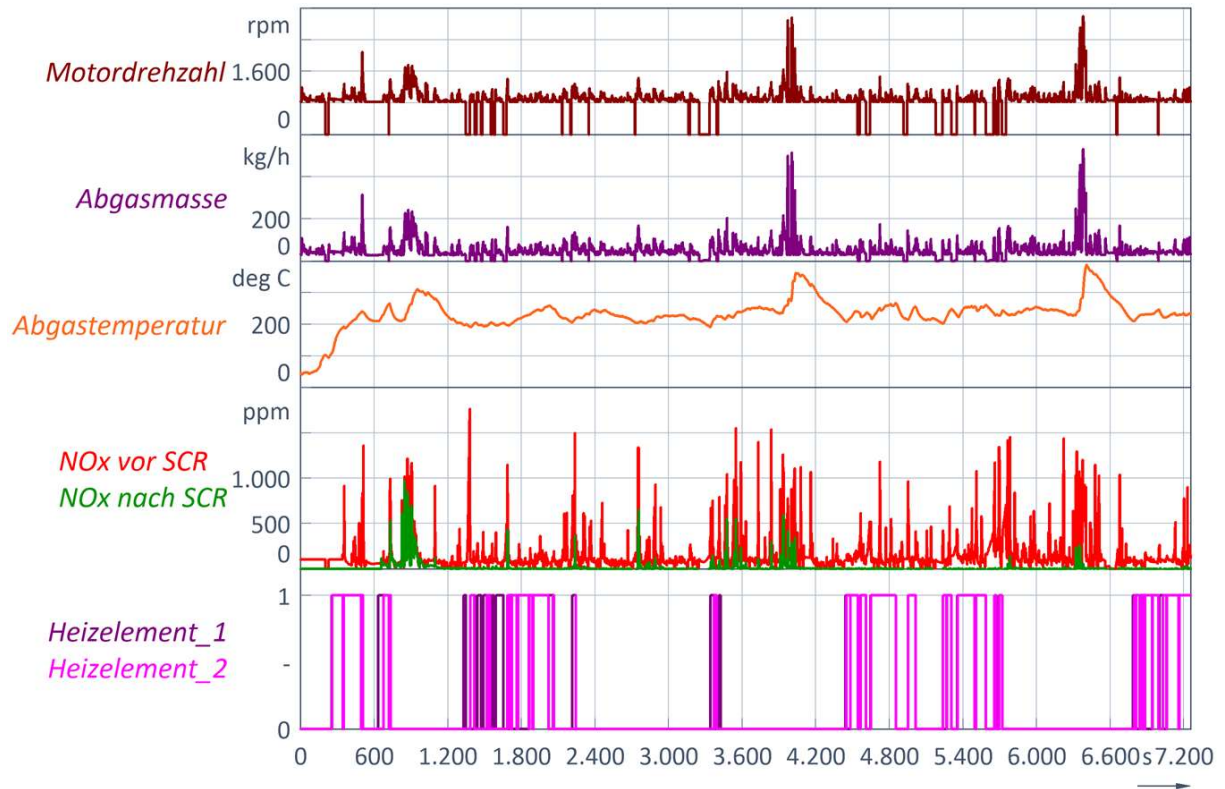


Abbildung 52: VW Passat – Messung der Kennzahlen und der NO<sub>x</sub>-Emissionen auf der Teststrecke: NO<sub>x</sub> Reduktion von 95 %.

Tabelle 5: Prüffahrzeug Passat – PEMS-Messung der NO<sub>x</sub>-Emissionen mit HJS-Nachrüstsystem.

|                       |         | RDE   |
|-----------------------|---------|-------|
| NO <sub>x</sub> _ges. | [mg/km] | 42,4  |
| NO <sub>x</sub> _S+L  | [mg/km] | 72,0  |
| Grenzwert             | [mg/km] | 270,0 |

## Familie II – Ergebnisse Prüffahrzeug VW Touareg

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. Auch hier wurde Verschleiß festgestellt (**Tabelle 6**). Wie bereits beim Passat lagen die Abweichungen jedoch ebenfalls im üblichen Bereich, so dass das SCR-System ohne weiteren Aufwand in das Fahrzeug installiert werden konnte und die Erprobung möglich war.

Tabelle 6: Prüffahrzeug Touareg: Vergleich der Emissionen des Prüffahrzeuges mit den Typprüfwerten.

|                          |         | NEFZ<br>(neu) | NEFZ<br>(Typprüfwerte) |
|--------------------------|---------|---------------|------------------------|
| <u>NO<sub>x</sub></u>    | [mg/km] | 168,68        | 145,5                  |
| <u>HC+NO<sub>x</sub></u> | [mg/km] | 201,40        | 164,0                  |
| CO                       | [mg/km] | 308,55        | 303,9                  |

Weiterhin zeigten die Messungen nach der Gegendruckoptimierung des Gesamtsystems zum Verbrauch, dass der Wert mit SCR nur geringfügig über dem Original-Zustand liegt (**Tabelle 7**). Der Touareg zeigt somit keine nennenswerte Verschlechterung des Kraftstoffverbrauches.

Weiterhin konnte bestätigt werden, dass die Maßnahmen zur Gegendruckoptimierung nicht zu einer Verschlechterung der Gemischaufbereitung geführt hatten.

Tabelle 7: Prüffahrzeug Touareg – Vergleich der Verbrauchsmessungen (WLTC) mit HJS-Nachrüstsystem und im Originalzustand (ohne SCR).

|                          |        | WLTC |
|--------------------------|--------|------|
| CO <sub>2</sub> ohne SCR | [g/km] | 202  |
| CO <sub>2</sub> mit SCR  | [g/km] | 206  |
| Verschlechterung         | [%]    | 2,1  |

Somit erfüllt das System auch im Fall des Touareg die grundlegenden Anforderungen, so dass auch hier die NO<sub>x</sub>-Reduktion anhand Testfahren auf der Teststrecke untersucht werden konnte. Wie beim Passat bereits erläutert, erfolgte dabei die Erfassung der Motordrehzahl, der Abgasmasse, der Abgastemperatur, der NO<sub>x</sub>-Konzentration vor und nach dem SCR-System sowie der Funktion des Heizelementes. Die Ergebnisse sind in Abbildung 53 dargestellt. Auch hier wurde die Funktion des Systems inklusive Heizelement erfolgreich nachgewiesen. Die Stickoxid-Minderung lag bei 94 %.

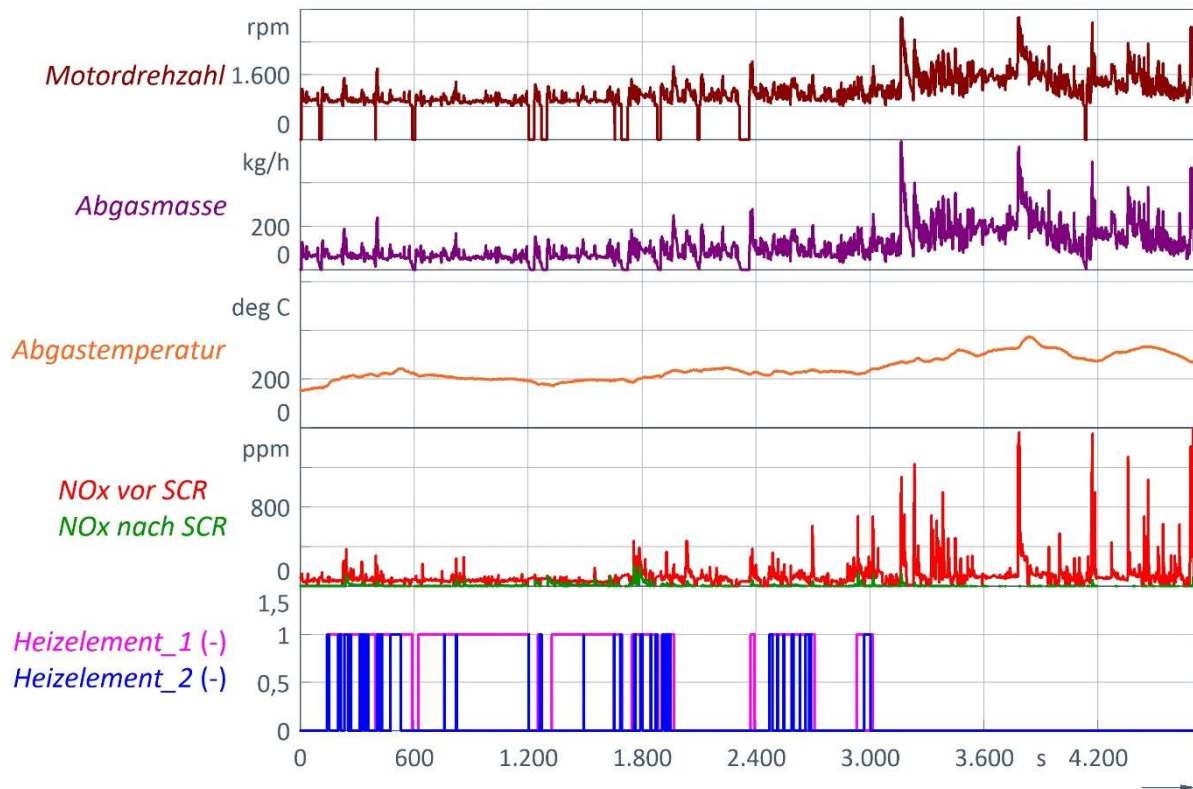


Abbildung 53: VW Touareg– Messung der Kennzahlen und der NO<sub>x</sub>-Emissionen auf der Teststrecke (NO<sub>x</sub> Reduktion von 94 %).

Auch hier war festzustellen, dass der Grenzwert von 270 mg/km deutlich unterschritten wird (Tabelle 8) 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 8: Prüffahrzeug Touareg – PEMS-Messung der NO<sub>x</sub>-Emissionen mit HJS-Nachrüstsystem.

|                            |         | RDE   |
|----------------------------|---------|-------|
| <u>NO<sub>x</sub>_ges.</u> | [mg/km] | 56,40 |
| <u>NO<sub>x</sub>_S+L</u>  | [mg/km] | 99,39 |
| Grenzwert                  | [mg/km] | 270,0 |

Somit wurde auch für den 6-Zylindermotor mit höherem Hubraum, der besonders in Hinblick auf einen höheren Gegendruck kritisch war, eine geeignete Lösung erarbeitet, um eine hohe Stickoxid-Minderung zu realisieren. Dies gelang mithilfe der neuen Geometrie des Konus und Mischers, so dass die Bedingungen für die Wirkung des SCR verbessert wurden.

## IV. Systemintegration 4- und 6-Zylinder-Motoren des VAG-Konzerns

Zu Beginn wurden die Fahrzeugbestände des MB-Konzerns mit 4- und 6-Zylinder-Motoren der Schadstoffklasse 5 erfasst und nach Motoreigenschaften (Hubraum) eingeteilt (Abbildung 54). Auch das vorhandene Abgassystem wurde erfasst. Bei den 4-Zylinder-Motoren sind mit über 198.000 Stück Fahrzeuge mit Motoren mit einem Hubraum von 2.143 cm<sup>3</sup> am häufigsten, gefolgt von solchen mit 1.796 cm<sup>3</sup>. Fahrzeuge mit einem Hubraum von 1.991 cm<sup>3</sup> weisen geringere Bestandszahlen auf, jedoch sind auch diese mit über 29.000 Fahrzeugen recht weit verbreitet. 6-Zylinder-Motoren mit einem Hubraum von 2.987 cm<sup>3</sup> sind mit über 34.000 Fahrzeugen ebenfalls weit verbreitet.

Als Basis einer Familienbildung der ABE wurden die Fahrzeuge entsprechend der Motoreigenschaften in folgende zwei Gruppen eingeteilt, wie in Abbildung 55 dargestellt.

- Gruppe I umfasst die 4-Zylinder-Motoren 1.8 OM (Hubraum 1.796 cm<sup>3</sup>), 2.0 OM (Hubraum 1.991 cm<sup>3</sup>) und 2.2 OM (Hubraum 2.143 cm<sup>3</sup>).  
Die Motoreigenschaften lassen darauf schließen, dass prinzipiell ein gemeinsames SCR-System geeignet ist, um die gesamte Gruppe abzudecken.  
Der betroffene Bestand lag im Jahr 2021 bei ca. 262.288 Fahrzeugen.
- Gruppe II besteht aus dem 6-Zylinder Motor 3.0 OM mit dem Hubraum von 2.987 cm<sup>3</sup>.  
Der Bestand, der im Rahmen dieser Familie II abgedeckt werden sollte, lag im Jahr 2021 bei 34.471 Fahrzeugen.

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.

### 4-Zylinder-Motoren

| Zyl                   | Modellreihe                | hub  | kw  | Summe von Gesamt EUS |
|-----------------------|----------------------------|------|-----|----------------------|
| 4                     | C 220 T CDI                | 2143 | 125 | 40.125               |
|                       | C 200 T CDI                | 2143 | 100 | 24.198               |
|                       | E 220 T CDI                | 2143 | 120 | 156                  |
|                       |                            |      | 125 | 19.797               |
|                       | E 220 CDI                  | 2143 | 125 | 16.800               |
|                       | C 220 CDI                  | 2143 | 120 | 53                   |
|                       |                            |      | 125 | 14.337               |
|                       | C 200 CDI                  | 2143 | 100 | 9.642                |
|                       | E 200 T CDI                | 2143 | 100 | 8.352                |
|                       | E 200 CDI                  | 2143 | 100 | 8.129                |
|                       | C 250 T CDI                | 2143 | 150 | 7.463                |
|                       | E 250 T CDI                | 2143 | 150 | 7.443                |
|                       | E 250 CDI                  | 2143 | 150 | 5.318                |
|                       | C 220 CDI Coupé            | 2143 | 120 | 42                   |
|                       |                            |      | 125 | 3.281                |
|                       | C 250 CDI                  | 2143 | 150 | 2.736                |
|                       | E 220 CDI Cabrio           | 2143 | 120 | 48                   |
|                       |                            |      | 125 | 2.397                |
|                       | E 250 CDI Cabrio           | 2143 | 150 | 1.704                |
|                       | E 220 CDI Coupé            | 2143 | 120 | 68                   |
|                       |                            |      | 125 | 1.471                |
|                       | E 250 CDI Coupé            | 2143 | 150 | 1.361                |
|                       | C 250 CDI Coupé            | 2143 | 150 | 1.353                |
|                       | CLS 250 CDI Shooting Brake | 2143 | 150 | 419                  |
|                       | CLS 250 CDI Coupé          | 2143 | 150 | 332                  |
| <b>Gesamtergebnis</b> |                            |      |     | <b>177.025</b>       |

### 6-Zylinder-Motoren

| Zyl                   | Modellreihe                | hub  | kW  | Summe von Gesamt EU5 |
|-----------------------|----------------------------|------|-----|----------------------|
| 6                     | E 300 T CDI/ E 350 T CDI   | 2987 | 170 | 6693                 |
|                       | E 300 CDI/ E 350 CDI       | 2987 | 170 | 5408                 |
|                       | E 350 T CDI                | 2987 | 195 | 3879                 |
|                       | E 350 CDI Coupé            | 2987 | 195 | 1075                 |
|                       |                            |      | 170 | 2557                 |
|                       | E 350 CDI Cabrio           | 2987 | 195 | 1400                 |
|                       |                            |      | 170 | 1446                 |
|                       | CLS 350 CDI Coupé          | 2987 | 195 | 2741                 |
|                       | C 350 T CDI                | 2987 | 195 | 1885                 |
|                       |                            |      | 170 | 669                  |
|                       | E 350 CDI                  | 2987 | 195 | 2227                 |
|                       | C 350 CDI                  | 2987 | 195 | 707                  |
|                       |                            |      | 170 | 861                  |
|                       | CLS 350 CDI Shooting Brake | 2987 | 195 | 1503                 |
|                       | E 300 T CDI                | 2987 | 150 | 815                  |
|                       | E 300 CDI                  | 2987 | 150 | 605                  |
| <b>Gesamtergebnis</b> |                            |      |     | <b>34471</b>         |

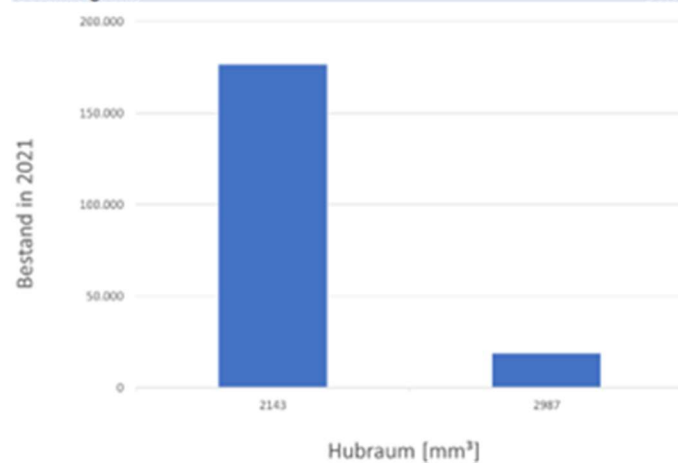


Abbildung 54: Fahrzeugbestände des MB-Konzerns (4- und 6-Zylinder) mit Einteilung nach Hubraum des Motors.



|  |                    | 1.8 OM 651.901 | 2.0 OM 640.940/<br>941/942 | 2.2 OM 651.911/913/<br>916/924/925/980 | 3.0 OM 642.836/850/<br>852/853/838/824/826 |
|--|--------------------|----------------|----------------------------|--|--|
| Zylinderanzahl und -<br>anordnung                      |                    | R4             | R4                         | R4                                     | V6   |
| Ansaugsystem   |                    | aufgeladen     | aufgeladen                 | aufgeladen                             | aufgeladen                                 |
| Einspritzsystem  |                    | CR             | CR                         | CR                                     | CR   |
| Gesamtzylinderhub-<br>volumen                          | [mm <sup>3</sup> ] | 1.796          | 1.991                      | 2.143                                  | 2.987                                      |
| Wirkprinzip der schadstoff-<br>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  |                    | 34.788         | 29.077                     | 198.423                                | 34.471                                     |

Abbildung 55: Einteilung der Bestandsfahrzeuge (4- und 6-Zylinder) nach Eigenschaften der Motoren und des Abgassystems in zwei Gruppen als Basis für die Familienbildung.

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 MB E220 CDI

Für Familie I wurde ein MB E220 CDI mit 2.2 OM-Motor und einem Hubraum von 2.143 cm<sup>3</sup> sowie einer Leistung von 125 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. Nach unten gibt es keinerlei Beschränkungen, so dass mit dem ausgewählten MB E220 CDI diese Voraussetzungen für die Familienbildung innerhalb der definierten Fahrzeuggruppe erfüllt wurden.

Abbildung 56 zeigt das Prüffahrzeug.



Abbildung 56: Prüffahrzeug MB E220 CDI (Euro 5).

Das Original-Abgasnachbehandlungssystem wurde sowohl anhand des beschafften Fahrzeuges als auch anhand von Daten aus dem Ersatzteil-Katalog des Herstellers untersucht.

Abbildung 13 zeigt den Unterboden des Fahrzeuges mit Original-Abgassystem. Dieser wurde betrachtet und zudem ein 3D-Scan vorgenommen, so dass der zur Verfügung stehende Bauraum für das AGN-System genau ermittelt wurde. Abbildung 58 zeigt den Scan des Unterbodens ohne Original-Abgasnachbehandlungssystem.

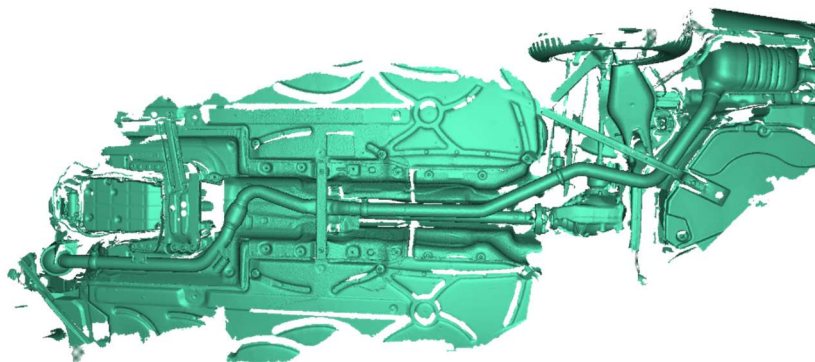
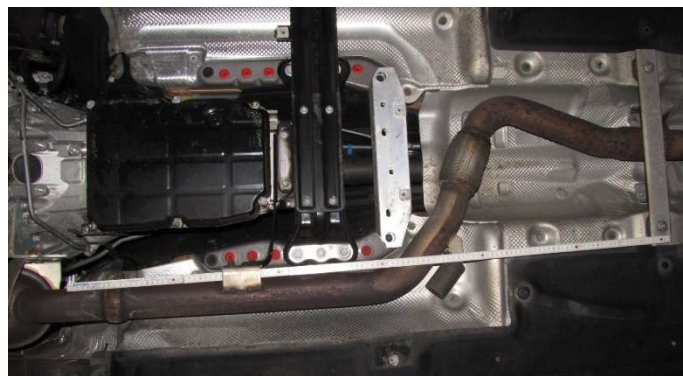


Abbildung 57: MB E220 CDI – Scans des Unterbodens mit Original-Abgasnachbehandlungssystem (Bau-  
raum für das Nachrüstsystem).

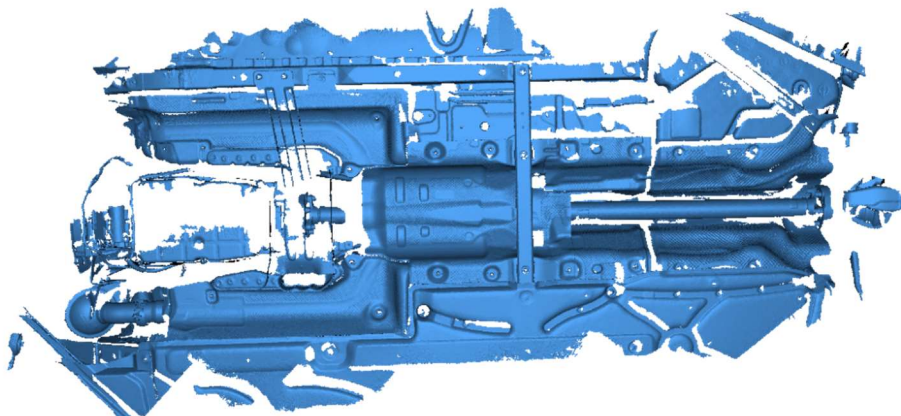


Abbildung 58: MB E220 CDI – Scan des Unterbodens ohne Original-Abgasnachbehandlungssystem (Bauraum für das Nachrüstsystem)

Als möglicher Bauraum für den AdBlue-Tank, die ACU und das Heizungsrelais des Nachrüstsystems wurde die Reserveradmulde ermittelt und ebenfalls mittels des 3D-Scan-Verfahrens untersucht (Abbildung 14).

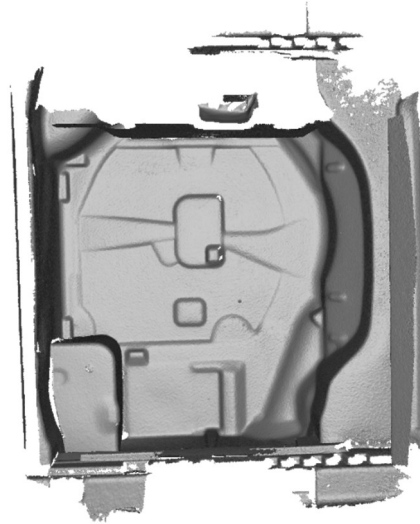


Abbildung 59: MB E220 CDI – Scan der Reserveradmulde als Bauraum für den AdBlue-Tank und die HJS-ACU

## Familie II – Prüffahrzeug Mercedes-Benz E300 CDI

Für Familie II fiel die Wahl des Prüffahrzeuges auf einen E300 CDI mit dem Motor 3.0 OM, einem Hubraum von 2.987 cm<sup>3</sup> und einer Leistung von 170 kW (Abbildung 16).



Abbildung 60: Prüffahrzeug MB E300 CDI

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 17) als auch nach dessen Ausbau (Abbildung 18) gescannt.

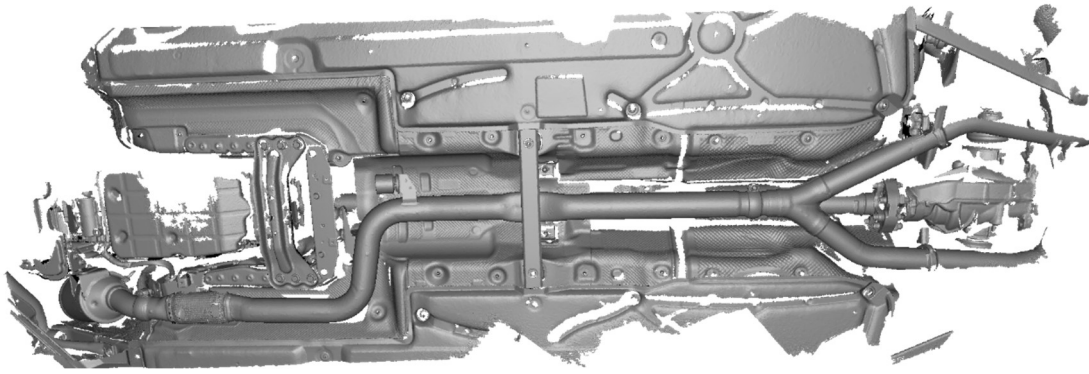


Abbildung 61: MB E300 CDI – Scan des Unterbodens mit Original-Abgasnachbehandlungssystem (Bauraum für das Nachrüstsystem).



Abbildung 62: MB E300 CDI – Scan des Unterbodens ohne Original-Abgasnachbehandlungssystem (Bauraum für das Nachrüstsystem).

Auch hier wurde zusätzlich die Reserveradmulde als Bauraum für AdBlue-Tank, die ACU und das Heizungsrelais des Nachrüstsystems untersucht. Dabei zeigte sich, dass die Reserveradmulde des E300 CDI identisch zu der des E220 CDI (Abbildung 59) ist.

### Familie I – Nachrüstsystem MB E220 CDI

Die durchgeführte Bauraumuntersuchung des E220 und deren Analyse ergab, dass für die notwendigen Hardware-Hauptkomponenten ausreichend Platz zur Verfügung stand.

Die Konstruktion des SCR-Systems für den E220 ist in Abbildung 21 dargestellt. Die Ein- und Ausgangskomponenten sind in Abbildung 22 dargestellt. Abbildung 23 zeigt die Baugruppe der Halter für AdBlue Tank, ACU und andere elektronische Bauteile.

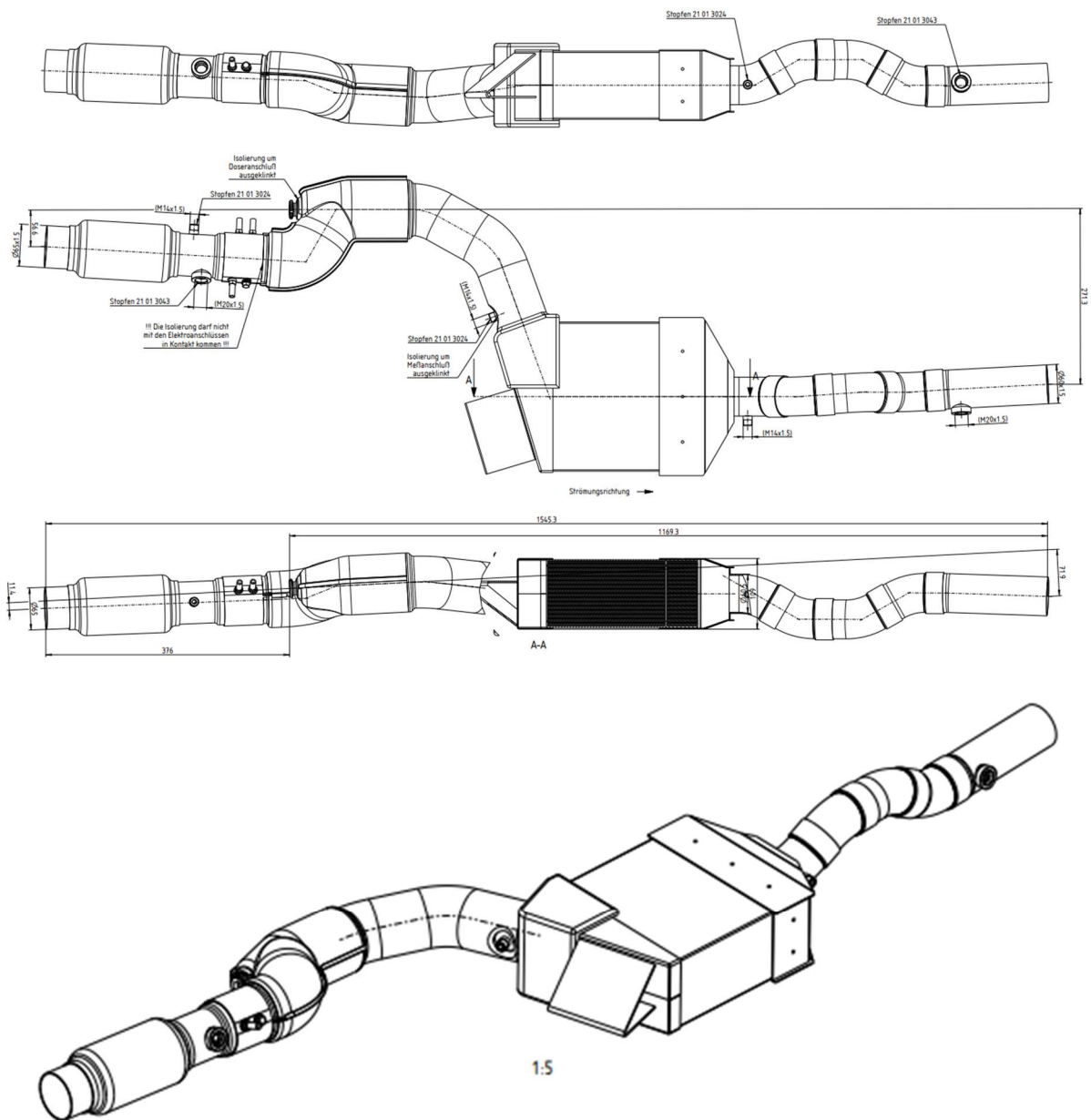
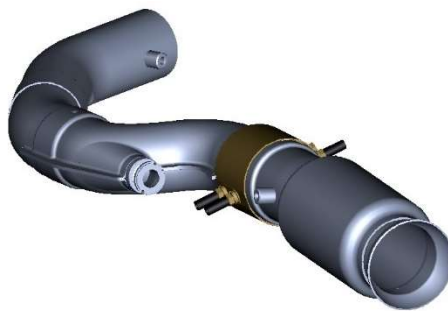
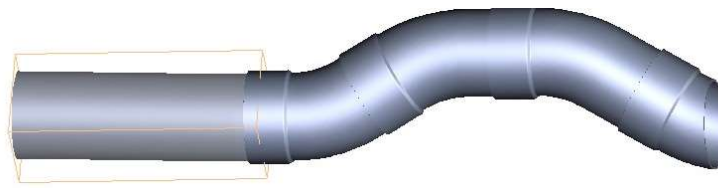


Abbildung 63: MB E220 CDI – Nachrüstsystem.



Einlass



**Auslass**

Abbildung 64: MB E220 CDI – spezifische Ein- und Ausgangskomponenten.

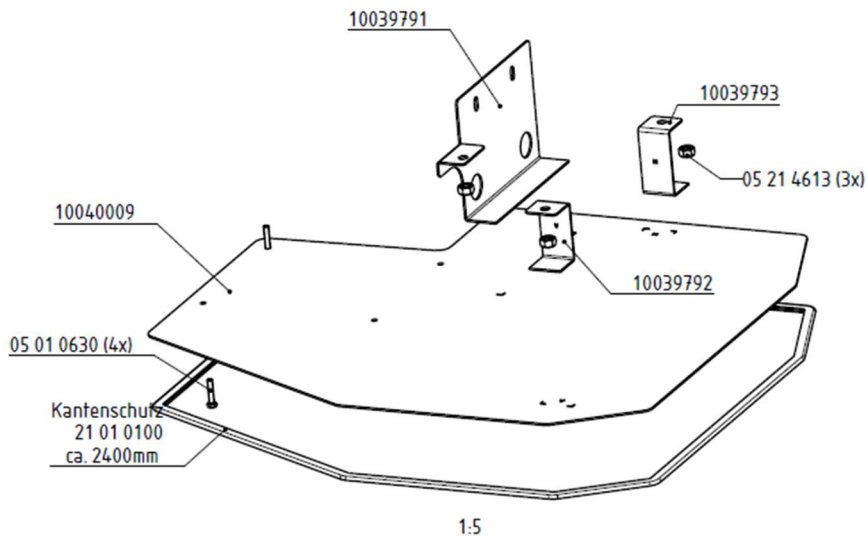
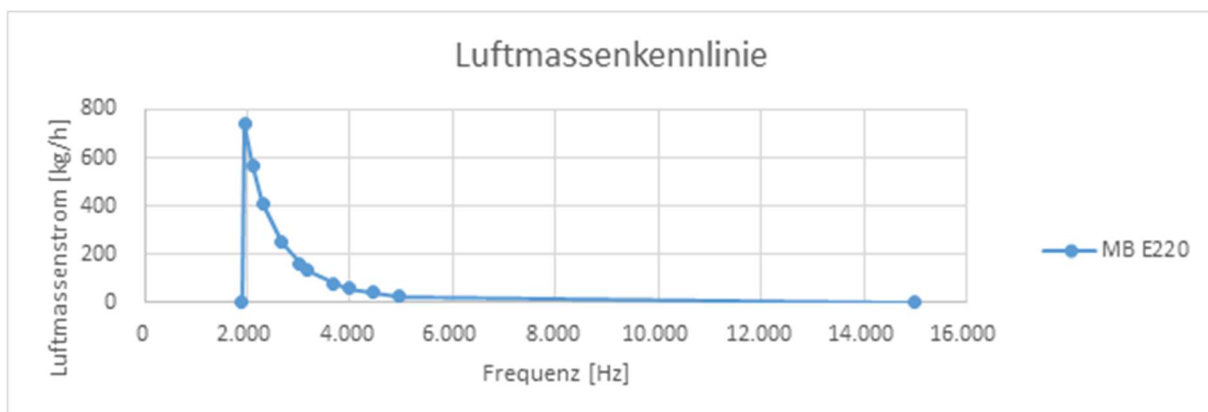


Abbildung 65: MB E220 CDI – Baugruppe Halter für AdBlue Tank, ACU und andere elektronische Bauteile.

Die anhand der Testfahrt ermittelte Luftmassenkennlinie ist in Abbildung 24 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 | 1950 | 2104 | 2308 | 2668 | 3013 | 3180 | 3680 | 3969 | 4466 | 4960 | 15000 |
| [kg/h] | 0    | 740  | 569  | 412  | 252  | 165  | 136  | 82   | 61   | 42   | 28   | 0     |

Abbildung 66: MB E220 CDI – Luftmassenkennlinie.

Weiterhin zeigten die Betrachtungen, dass eine Übertragung des Systems auf die Fahrzeugtypen, die in Abbildung 54 genannt wurden, wie C-Klasse und CLS sowie höhere Leistungen dieser Modelle möglich ist.

Um die Machbarkeit für diese anderen Fahrzeuge zu untersuchen, wurden verfügbare Daten von Euro 5 Abgasanlagen aus dem Ersatzteilkatalog des Herstellers ausgewertet. Die Ergebnisse bestätigen, dass das System auch in diese weiteren Fahrzeuge eingebaut werden kann.

## Familie II – Nachrüstsystem MB E300 CDI

Die Untersuchungen und Erfahrungen zum ausgewählten SCR-System beschränkten sich bisher auf 4 Zylinder-Motoren mit Hubraum von 2 - 2,3 Liter. Für den MB E300 CDI ergeben sich bedingt durch den 6-Zylindermotor und den höheren Hubraum von 2.987 cm<sup>3</sup> nochmals deutlich anspruchsvollere Bedingungen für die Abgasbehandlung. So beträgt der Massenstrom beim MB E220 CDI bis zu 715 kg/h, während beim MB E300 CDI Werte von bis zu 900 kg/h erreicht werden.

Der Ansatz, den gleichen SCR einzusetzen, war somit mit risikobehaftet, wurde jedoch in Hinblick auf eine schnelle und kostengünstige Marktverfügbarkeit als vorteilhaft bewertet.

Hierfür wurde untersucht, ob das System des E220 auch in den E300 integriert werden kann.

Der SCR-Katalysator ist für den E220 CDI und den E300 CDI identisch. Der Rohrverlauf ist ähnlich, die Systeme unterscheiden sich jedoch maßlich im Rohrverlauf, was in Abbildung 67 nachvollzogen werden kann. Auch unterscheidet sich das Anschlussstück auf der Eingangsseite. Während die E300 CDI-Version eine Kugelschellenverbindung nutzt, wird beim E220 CDI ein Rohrverbinder verwendet. Entsprechend dieses Unterschiedes und dem veränderten Aufhängungspunkten bei den Fahrzeugen mussten auch geeignete Halter für die Fahrzeuge ausgearbeitet werden.

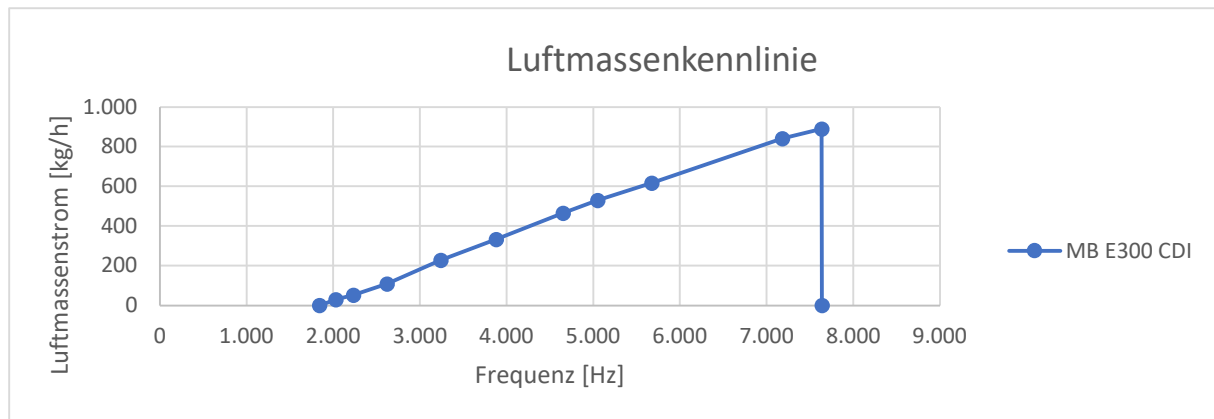
Das System wurde konstruiert, eingebaut und in Betrieb genommen sowie erprobt. Die Bedatung der Fahrzeuge wurde anhand der Applikationsfahrten an die spezifischen Eigenheiten angepasst.

Um die Stickoxid-Minderung zu realisieren, ohne den Kraftstoffverbrauch signifikant zu erhöhen, erfolgte eine Optimierung der Heizperioden: Der Stromverbrauch des Heizers und damit der Kraftstoffverbrauch des Fahrzeuges waren durch eine neue Bedatung zu reduzieren. Hierzu musste auch das Speichermodell angepasst werden. Risiken bestanden darin, trotz Minimierung der Heizleistung die erforderlichen Temperaturen für eine effiziente Stickoxid-Minderung zuverlässig einzuhalten, so dass der Grenzwert von 270 mg/km im RDE unterschritten wird.

Schließlich wurden diese Ansätze erfolgreich realisiert. Die Heizperioden und das Speichermodell wurden entsprechend modifiziert.







|        |      |      |      |      |     |      |      |      |      |      |      |      |
|--------|------|------|------|------|-----|------|------|------|------|------|------|------|
| [Hz]   | 1840 | 2030 | 2233 | 2621 | 241 | 3880 | 4650 | 5050 | 5675 | 7180 | 7634 | 7638 |
| [kg/h] | 0    | 29   | 52,4 | 108  | 227 | 332  | 465  | 530  | 617  | 841  | 899  | 0    |

Abbildung 68: MB E300 CDI – Luftmassenkennlinie.

Auch in diesem Fall ist eine Übertragung auf andere Fahrzeugmodelle der E-Klasse-Plattform möglich, wie anhand der Fahrzeugdaten und Betrachtungen des Ersatzteilkataloges bestätigt wurde. Dies sind der CLS 350 CDI (218.323) 195kW und der CLS 350 CDI-Shooting Brake (218.923) 195kW.

## Systemintegration

Die Erprobung erfolgte anhand der beschafften Gebrauchtfahrzeuge der Stufe Euro 5 mit original verbautem 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 MB E220 CDI mit Erstzulassung 17.01.2014 und einer Laufleistung von 143.000 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 Gesamteindruckes wurde das Fahrzeug als geeignet bewertet, um es als Prüffahrzeug für die Nachrüstung mit einem SCR zu verwenden.

Gleiches galt für den MB E300 CDI mit Erstzulassung 14.12.2012 und einer Laufleistung von 167.713 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 MB E220 CDI und MB E300 CDI 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<sub>x</sub> vor und nach SCR),

- Einbau des Tanks, der Relaisplatte und der ACU in die Reserveradmulde mit Durchführung zum Unterboden,
- Verlegung der AdBlue-Leitung,
- Verlegung der Kabel,
- Isolierung von Heizung und NO<sub>x</sub>-Doser,
- Anschluss Inducement,
- Abgreifen des Signals des Ladedrucksensors,
- Installation des Anzeigemoduls.

Abbildung 69 und Abbildung 70 zeigen das eingebaute System für das Testfahrzeug MB E220 CDI.

Familie I – Testfahrzeug MB E220 CDI



Abbildung 69: MB E220 CDI mit appliziertem SCR-System

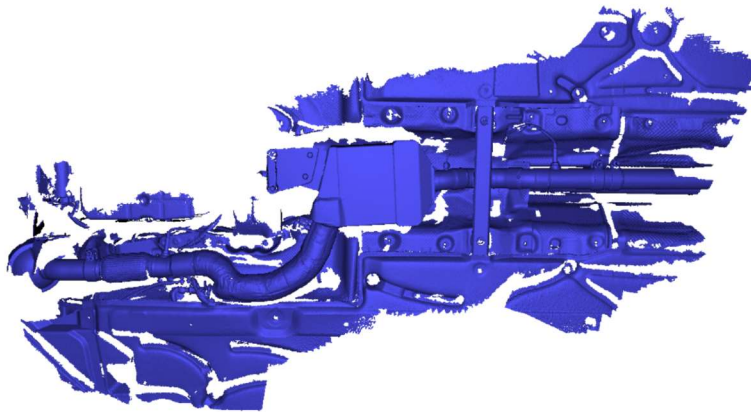


Abbildung 70: MB E220 CDI – Scans des eingebauten SCR-Systems ohne Abdeckung

## Familie II – Testfahrzeug MB E300 CDI

Wie erläutert, wurde auch für den MB E300 CDI ein System das Fahrzeug integriert (Abbildung 71).

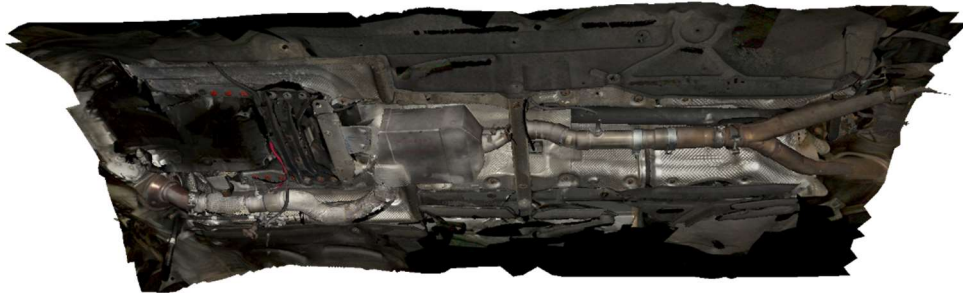


Abbildung 71: MB E300 CDI – Scan des eingebauten SCR-Systems.

## Familie I – Ergebnisse Prüffahrzeug MB E220 CDI

Im Fall des MB E220 CDI 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 9 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 9: Prüffahrzeug MB E220 CDI - Vergleich der Emissionen des ausgewählten Prüffahrzeuges mit Original-AGN-System mit den Typprüfwerten (NEFZ-Zyklus).

|                          |         | NEFZ<br>(neu) | NEFZ<br>(Typprüfwerte) |
|--------------------------|---------|---------------|------------------------|
| <u>NO<sub>x</sub></u>    | [mg/km] | 120,31        | 160,2                  |
| <u>HC+NO<sub>x</sub></u> | [mg/km] | 141,70        | 148,4                  |
| CO                       | [mg/km] | 277,02        | 93,5                   |

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 10). Die Werte liegen im Rahmen der üblichen Abweichungen. Es ist kein nennenswerter Kraftstoffmeherverbrauch durch den Betrieb des Nachrüstsystems zu verzeichnen. Die Anforderungen an den Kraftstoffverbrauch werden somit erfüllt.

Tabelle 10: Prüffahrzeug MB E220 CDI – Vergleich der Verbrauchsmessungen (WLTC) mit HJS-Nachrüstsystem und im Originalzustand (ohne SCR).

|                          |        | WLTC   |
|--------------------------|--------|--------|
| CO <sub>2</sub> ohne SCR | [g/km] | 150,20 |
| CO <sub>2</sub> mit SCR  | [g/km] | 154,18 |
| Verschlechterung         | [%]    | 2,7    |

Somit erfüllt das System die grundlegenden Anforderungen. Schließlich wurde die NO<sub>x</sub>-Reduktion anhand Testfahren auf der Teststrecke untersucht. Dabei wurden die Motordrehzahl, die Abgasmasse, die Abgastemperatur, die NO<sub>x</sub>-Konzentration vor und nach dem SCR-System sowie die Funktion des Heizelementes erfasst und untersucht (Abbildung 52).

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<sub>x</sub>-Minderung durch den SCR gehalten wird.

Die Minderungsrate erwies sich schließlich mit 73 % als ausreichend. Der Grenzwert von 270 mg/km wird deutlich unterschritten (Tabelle 11), auch unter den ungünstigen Bedingungen von Stadt- oder Landfahrten (S+L).

Das Nachrüstsystem erfüllt somit alle Anforderungen.

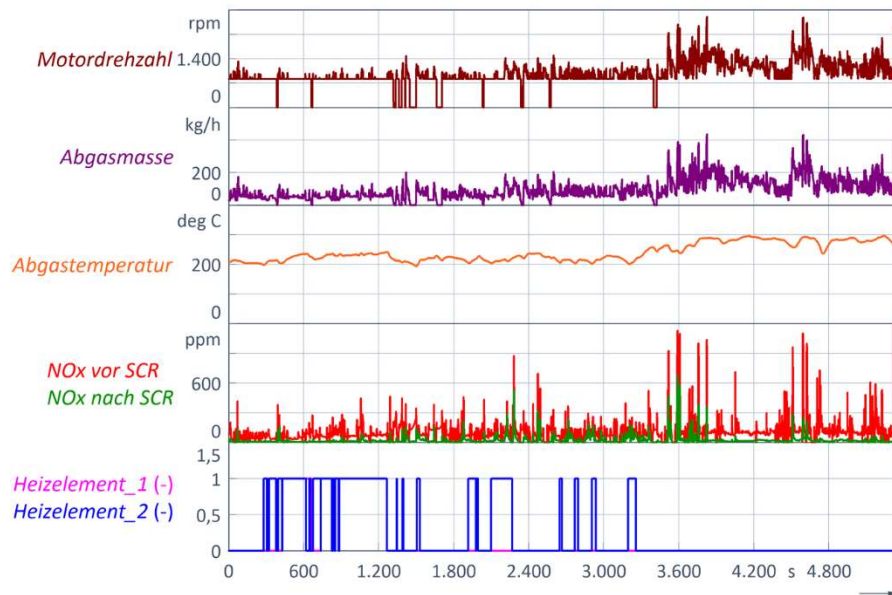


Abbildung 72: MB E220 CDI – Messung der Kennzahlen und der NO<sub>x</sub>-Emissionen auf der Teststrecke: NO<sub>x</sub> Reduktion von 73 %.

Tabelle 11: Prüffahrzeug MB E220 CDI – PEMS-Messung der NO<sub>x</sub>-Emissionen mit HJS-Nachrüstsystem.

|                            |         | RDE    |
|----------------------------|---------|--------|
| <u>NO<sub>x</sub>_ges.</u> | [mg/km] | 156,58 |
| <u>NO<sub>x</sub>_S+L</u>  | [mg/km] | 176,90 |
| Grenzwert                  | [mg/km] | 270,00 |

## Familie II – Ergebnisse Prüffahrzeug MB E300 CDI

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. Wie bereits beim E220 CDI lagen auch hier die Abweichungen im üblichen Bereich, so dass das SCR-System ohne weiteren Aufwand in das Fahrzeug installiert werden konnte und die Erprobung möglich war (Tabelle 6).

Tabelle 12: Prüffahrzeug MB E300 CDI: Vergleich der Emissionen des Prüffahrzeuges mit den Typprüfwerten.

|                          |         | NEFZ (neu) | NEFZ (Typprüfwerte) |
|--------------------------|---------|------------|---------------------|
| <u>NO<sub>x</sub></u>    | [mg/km] | 83,63      | 147,9               |
| <u>HC+NO<sub>x</sub></u> | [mg/km] | 188,71     | 184,3               |
| CO                       | [mg/km] | 477,09     | 258,2               |

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 13).

Tabelle 13: Prüffahrzeug MB E300 CDI – Vergleich der Verbrauchsmessungen (WLTC) mit HJS-Nachrüstsystem und im Originalzustand (ohne SCR).

|   |        | WLTC  |
|---|--------|-------|
| CO <sub>2</sub> ohne SCR                        | [g/km] | -     |
| CO <sub>2</sub> ohne SCR<br>mit Software Update | [g/km] | 184,7 |
| CO <sub>2</sub> mit SCR                         | [g/km] | 184,6 |
| Verschlechterung                                | [%]    | 0     |

Somit erfüllt das System auch im Fall des E300 CDI die grundlegenden Anforderungen, so dass auch hier die NO<sub>x</sub>-Reduktion anhand Testfahrten auf der Teststrecke untersucht werden konnte. Wie beim E220 bereits erläutert, erfolgte dabei die Erfassung der Motordrehzahl, der Abgasmasse, der Abgastemperatur, der NO<sub>x</sub>-Konzentration vor und nach dem SCR-System sowie der Funktion des Heizelementes. Die Ergebnisse sind in Abbildung 53 dargestellt. Auch hier wurde die Funktion des Systems inklusive Heizelement erfolgreich nachgewiesen. Die Stickoxid-Minderung lag bei 80 %.

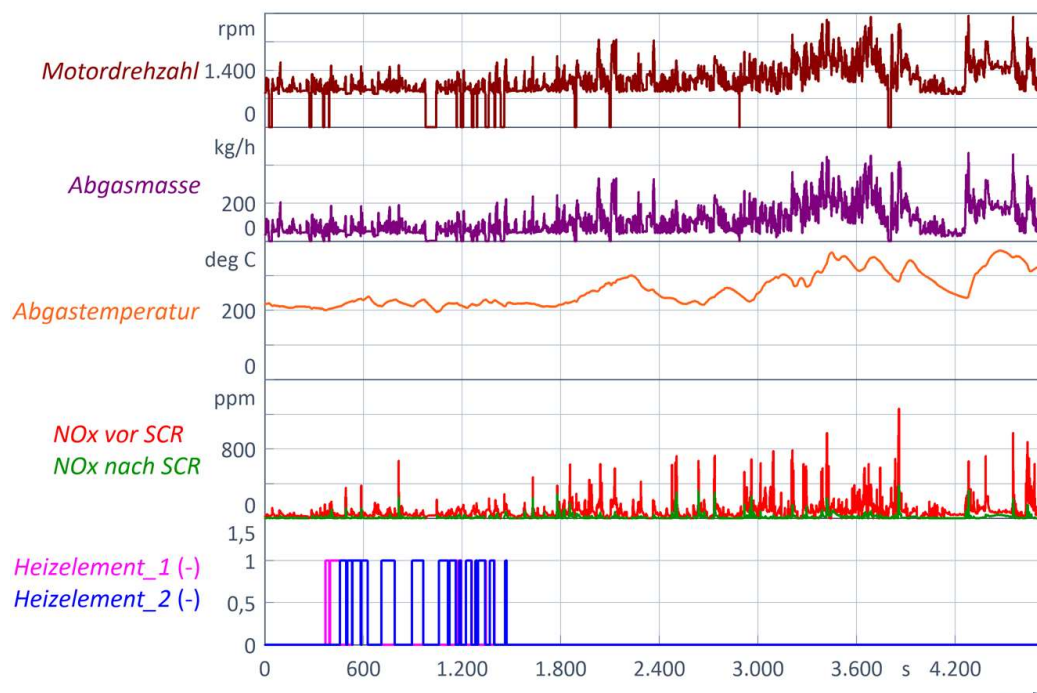


Abbildung 73: MB E300 CDI – Messung der Kennzahlen und der NO<sub>x</sub>-Emissionen auf der Teststrecke (NO<sub>x</sub> Reduktion von 80 %).

Auch hier war festzustellen, dass der Grenzwert von 270 mg/km deutlich unterschritten wird (Tabelle 14) 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 14: Prüffahrzeug MB E300 CDI – PEMS-Messung der NO<sub>x</sub>-Emissionen mit HJS-Nachrüstsystem.

|                            |         | RDE   |
|----------------------------|---------|-------|
| <u>NO<sub>x</sub>_ges.</u> | [mg/km] | 80,2  |
| <u>NO<sub>x</sub>_S+L</u>  | [mg/km] | 118,1 |
| Grenzwert                  | [mg/km] | 270,0 |

Somit wurde auch für den 6-Zylindermotor mit höherem Hubraum eine geeignete Lösung erarbeitet, um eine hohe Stickoxid-Minderung zu realisieren.

## Zusammenfassung

Aus dem Projekt gehen zwei unterschiedliche Systeme für die Nachrüstung mit NO<sub>x</sub>-Minderungssystemen für PKW-Volumenmodelle mit 4- und 6-Zylinder-Dieselmotoren der Schadstoffklasse Euro 5 des Herstellers Mercedes-Benz hervor. Die Anforderungen an die Stickoxid-Emission von weniger als 270 mg/km werden erfüllt. Die Emissionen werden gegenüber dem Original-Zustand mit einer Stickoxid-Minderungsrate von 73 % für den E220 CDI und 80 % für den E300 CDI deutlich reduziert.

Als Voraussetzung für den Einbau und den Betrieb nachgerüsteter Fahrzeuge wurde die Zulassung für beide Systeme bereits beantragt. Für Familie I wurde die ABE am 18.07.2023 erteilt, für Familie II am 23.08.2023. 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 des Herstellers Mercedes-Benz soll somit einen wichtigen Beitrag zur Realisierung der Stickoxid-Minderungsziele leisten.

## V. Fazit:

Die Nachrüstung mit der bewährten HJS SCR-Technologie – erweitert um aktives Thermomanagement – sorgt bei Personenkraftwagen für eine bestmögliche Senkung der Stickoxid-Emissionen. Moderne PKWs der Stufe Euro VI bieten durch den kombinierten Einsatz von Partikelfilter und SCR-Technik ein Höchstmaß an Abgasreinigung. Doch gerade Fahrzeuge Innenstadtverkehr erreichen häufig nicht die für eine optimale Funktion des SCR-Katalysators benötigte Temperatur. Dieser Effekt wird im Winter noch durch die niedrige Umgebungstemperatur verstärkt. Die hohen Anforderungen der Emissionsnorm Euro VI erfüllen die Fahrzeughersteller bei Neufahrzeugen erst durch den Einsatz von motorischem Thermomanagement.

HJS überträgt dieses Konzept als autarke Systemarchitektur auf die Nachrüstung von Bestandsfahrzeugen. HJS präsentiert eine Nachrüstlösung mit aktiven Thermomanagement basierend auf dieser Ad-Blue®-Technologie. Die Technologie wurde auf Erstausrüstungsniveau entwickelt und ermöglicht den Betrieb von Bestandsfahrzeugen mit der Emissionsgüte von modernen Euro VI-Fahrzeugen. Durch aktives Thermomanagement ist das System funktionssicher, auch bei winterlichen Umgebungstemperaturen und sehr langsamen Stop & Go Fahrten.

Das aktive Thermomanagement stellt durch zwei vernetzt wirkende Aktuatoren sicher, dass im SCR-Katalysator immer die bestmögliche NOx Reduktion realisiert wird – ohne dabei Einfluss auf den Motor zu nehmen.

## VI. Liste der erteilten „Allgemeinen Betriebserlaubnis“ für unterschiedliche Fahrzeughersteller:

| ABE Nr. | Typenbezeichnung | Fahrzeugsegmente |
|---------|------------------|------------------|
| 17347   | SCR-06           | VAG PKW 4 Zyl.   |
| 17348   | SCR-07           | VAG PKW 6 Zyl.   |
| 17349   | SCR-08           | MB PKW 4 Zyl.    |
| 17350   | SCR-09           | MB PKW 6 Zyl.    |