

Luft nach oben: ein Whitepaper zur SCR-Nachrüstung von PKW-Modellen mit 4&6-Zylinder-Dieselmotoren des Konzerns BMW	
Die Einzelprojekte wurden gefördert durch	
 Bundesministerium für Digitales und Verkehr	 Bundesanstalt für Verwaltungsdienstleistungen
Referenz Förderkennzeichen:	
FKZ 45SYS00028	

Inhaltsverzeichnis

I.	Einleitung	3
	Hintergrund	3
	Die Entwicklung des Bestandes	4
II.	Kurzdarstellung	7
	Aufgabenstellung	7
	Bezug des Vorhabens zu den förderpolitischen Zielen	8
	Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde	9
III.	Produktdatenerfassung der Fahrzeuge mit 4&6 Zylinder Dieselmotoren (Euro 5) aus dem BMW Konzern	10
IV.	Fahrzeugspezifische Anpassung in Familie I und II	17
	Applikationsspezifische Systemintegration	22
	Familie I – Prüffahrzeug X3 mit 4-Zylindermotor	24
	Familie II – Prüffahrzeug X3 mit 6-Zylindermotor	27
V.	Aufbau und Applikation von nachgerüsteten Demonstratorfahrzeugen	30
	Familie I – Prüffahrzeug X3 (4-Zylinder)	31
	Familie II – Prüffahrzeug X3 (6-Zylinder)	33
VI.	Systemvalidierung, Leistungsmessungen und Produkt-/Projektdokumentation	36
	Familie I – Prüffahrzeug X3 mit 4-Zylindermotor	37
	Familie II – Prüffahrzeug X3 mit 6-Zylindermotor	39
VII.	Fazit	41

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

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

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 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
	Stufe III-IV	250.000	62.500

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

⁴ Interne HJS Recherche

Baumaschinen & stationäre Motoren	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. 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.

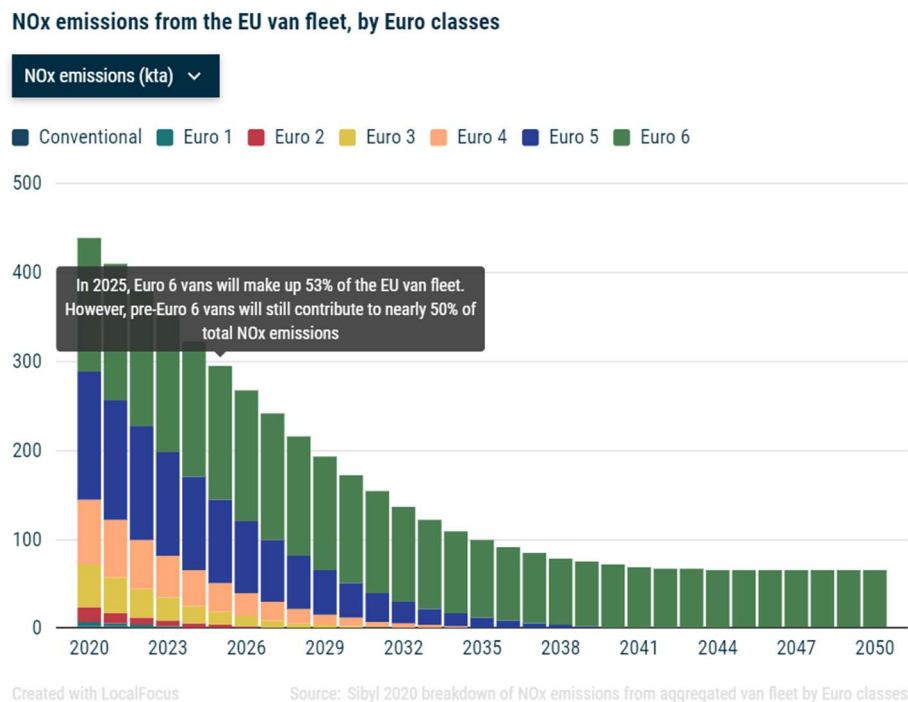


Abbildung 1: Beispiel-Studie ACEA: im Jahr 2030 werden 38kt von 150kta also ca. 25% der NOx-Emissionen im Bereich der LDV von Fahrzeugen der Generation Euro 5 und älter verursacht

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

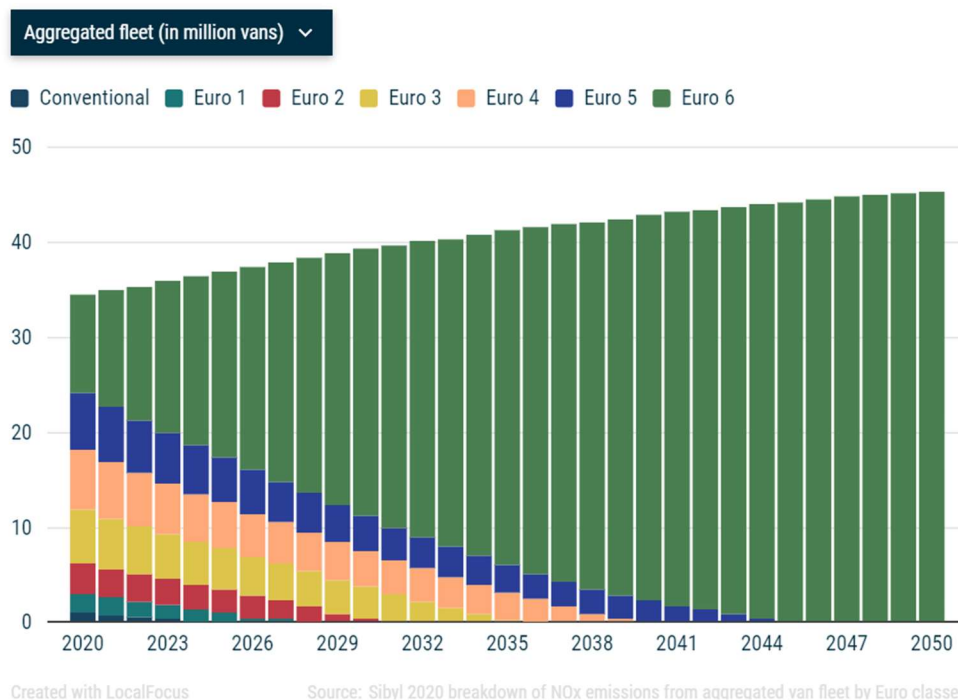


Abbildung 2: Beispiel-Studie ACEA: im Jahr 2031 werden 10 Mio. von 40 Mio. also ca. 25% Fahrzeuge im Bereich der LDV-Fahrzeuge der Generation Euro 5 und älter sein

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. Kurzdarstellung

Aufgabenstellung

Stickstoffoxide (NO_x) sind reaktive Stickstoffverbindungen, die als Nebenprodukte bei Verbrennungsprozessen, vor allem in Fahrzeugmotoren, entstehen und zu einer Vielzahl negativer Umweltwirkungen führen. Stickstoffoxide schädigen die Gesundheit von Mensch, Tier und Vegetation in vielfacher Weise unmittelbar. Nicht zuletzt durch die erwartete Verschärfung der Immissionsgrenzwerte, basierend auf den neuen Leitlinien der WHO, sind Lösungen zur Reduzierung der Stickstoffdioxid-Belastungen gefragt. Der überwiegende Anteil der Stickoxidbelastung ist auf PKW mit Dieselmotoren zurückzuführen. Viele Bestandsfahrzeuge verfügen zwar über Abgasnachbehandlungssysteme, jedoch nicht zur Reduktion der Stickoxide oder mit unzureichender Wirksamkeit.

Ein Beispiel sind hierfür PKW des Herstellers BMW (Schadstoffklasse Euro 5) mit 4- und 6-Zylinder-Dieselmotoren. Die betrachteten Modelle verfügen über Abgasnachbehandlungssysteme mit Dieseloxydationskatalysator (DOC) und Dieselpartikelfilter (DPF) und Abgasrückführung, jedoch nicht über SCR-Systeme zur Minderung der NO_x -Emission auf dem heutzutage bestmöglichen Niveau von Euro 6. In Summe stoßen die betroffenen Fahrzeug-Bestände bis heute erhebliche Mengen an Stickoxiden aus. Eine flächendeckende Nachrüstung dieser PKW mit Lösungen zur Abgasnachbehandlung würde somit die Stickoxid-Emission reduzieren und die Luftqualität erheblich verbessern.

Das hier beschriebene FuE-Projekt von HJS Emission Technology zielte darauf ab, ein modulares Nachrüstsystem für die Abgasnachbehandlung der relevanten dieselpetriebenen PKW-Volumenmodelle mit 4- und 6-Zylinder-Dieselmotoren der Schadstoffklasse Euro 5 Herstellers BMW auszuarbeiten, das den Stickoxid-Ausstoß der Fahrzeuge deutlich senkt.

Der verfolgte Ansatz bestand im Sinne einer schnellen Marktverfügbarkeitsmachung und einer maximal erzielbaren Umrüstungsquote in einem modularen Baukastensystem, mit dem die Typen und ggf. Varianten der ermittelten PKW-Modelle abgedeckt werden. Dies sollte eine möglichst kostengünstige Fertigung sowie einfache Nachrüstung ermöglichen.

Folgende Eigenschaften sollten erfüllt werden:

- Nachrüstbarkeit der Bestandsfahrzeuge der ermittelten Modelle mit 4- und 6-Zylinder-Dieselmotoren des Herstellers BMW durch compatible Hardware und geeignete Interaktion mit dem Steuerungssystem der Fahrzeuge.
- Effiziente Stickoxid-Reduzierung: Die NO_x -Emission der ausgerüsteten Fahrzeuge muss weniger als 270 mg/km sein. Die Messdurchführung, inkl. Messfahrt und deren

Auswertung, basiert auf dem RDE-Paket 3 (Verordnung (EU) 2017/1154) in Verbindung mit Verordnung (EU) 2017/1151 Anhang IIIA.

- Kostengünstige Herstellung und einfache Umrüstung.

Somit entspricht die Idee des Nachrüstsystems als modulares Baukastensystem den Zielen der Richtlinie, die eine kostengünstige sowie schnelle Verfügbarmachung und die Verbreitung von Nachrüstsystemen begünstigen soll.

Die Realisierung des Systems erforderte die Erforschung und Erarbeitung der geeigneten Komponenten des Systems vom AdBlue®-System über das SCR-Modul und weiteren Komponenten wie das Thermomanagement bis hin zur Steuereinheit der Abgasnachbehandlung sowie deren Integration in das Fahrzeug, wobei eine autarke Systemarchitektur zu realisieren war.

Zu berücksichtigen waren dabei die unterschiedlichen Bauräume und ggf. motorsteuerungstechnischen Voraussetzungen der ermittelten Modelle, die für die Nachrüstung zur Verfügung stehen.

Bezug des Vorhabens zu den förderpolitischen Zielen

Das vorliegende FuE-Projekt „MoBaNOx-BMW4u6“ wurde im Rahmen der Bekanntmachung der „Förderrichtlinie für die Entwicklung von Systemen zur Hardware-Nachrüstung von Dieselmotorkraftfahrzeugen der Fahrzeugklassen M1, M2, M3, N1, N2 und N3 der Schadstoffklassen Euro I, II, III, IV, V und EEV oder Euro 3, 4 und 5 sowie mobilen Maschinen vom 15.12.2020 gefördert.

Der Bezug des Projektes zu den förderpolitischen Zielen dieser Bekanntmachung und dem „Sofortprogramm Saubere Luft 2017 bis 2020“ bestand vor allem in der Erforschung und Realisierung von neuartigen Demonstratoren bislang nicht verfügbarer Abgasnachbehandlungsnachrüstsysteme zur Stickoxidminderung mit hoher Minderungsleistung (NO_x-Emission weniger als 270 mg/km) für dieselbetriebene PKW. Bei den technischen Zielparametern des FuE-Projektes wurden die technischen Anforderungen an Stickoxid-Minderungssysteme für PKW gemäß dem relevanten Anhang der Förderrichtlinie (BAnz AT 10.07.2019 B6) als Mindestanforderung berücksichtigt.

Den betrachteten PKW-Modellen mit 4- und 6-Zylinder-Dieselmotoren des Herstellers BMW kommt durch ihre Verbreitung ein signifikanter Beitrag zur Schadstoffbelastung in verkehrsreichen Orten mit entsprechendem Potential zur Verbesserung der Luftqualität zu.

Durch die Entwicklung dieser neuen Systeme und deren nachfolgende kostenattraktive Verfügbarmachung am Markt wird ein zusätzlicher Anreiz entstehen, derartige Nachrüstungen an

den betroffenen Dieselmotorkraftfahrzeugen vorzunehmen, und somit ein nachhaltiger Beitrag zur Verbesserung der Luftqualitäten in Ballungsräumen in Deutschland geleistet.

Das Vorhaben war der industriellen Forschung zuzurechnen und wurde innerhalb der Laufzeit vom 13.11.2023 bis 22.01.2024 durchgeführt.

HJS Emission Technology ist ein wirtschaftlich gesundes Unternehmen, das sich nicht in wirtschaftlichen Schwierigkeiten befindet und über die notwendige Bonität zur Durchführung des Vorhabens verfügte.

Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

HJS ist ein mittelständisches, inhabergeführtes Unternehmen mit langjähriger Erfahrung und Kompetenz im Bereich der Abgasnachbehandlung für Verbrennungsmotoren. HJS zählt zu den weltweit führenden Anbietern modularer Systeme zur Reduzierung von Schadstoffemissionen und setzt in diesem Bereich mit Innovationen ausgehend vom Standort in NRW national und weltweit Maßstäbe.

Die Absicherung und der Ausbau dieser führenden Stellung des mittelständischen Unternehmens HJS mit Schaffung zusätzlicher Arbeitsplätze am Standort NRW mittels hochmoderner Umweltschutz-Technologien zur Reduktion von Emissionen aus Verbrennungsmotoren sind ständige Aufgaben des Unternehmens im Interesse von Mensch und Umwelt. Daher hat HJS in der Vergangenheit bereits eine Reihe von Projekten durchgeführt, auf deren Ergebnisse und Erkenntnisse im vorliegenden Vorhaben aufgebaut bzw. zurückgegriffen werden konnte.

Somit bestanden beste Voraussetzungen für die Durchführung des Vorhabens und die im Anschluss geplante Vermarktung.

III. Produktdatenerfassung der Fahrzeuge mit 4&6 Zylinder Dieselmotoren (Euro 5) aus dem BMW-Konzern

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

Dazu wurden die Fahrzeugbestände des Herstellers BMW mit 4- und 6-Zylinder-Dieselmotoren der Schadstoffklasse 5 erfasst und nach Motoreigenschaften (Hubraum) eingeteilt. Auch das vorhandene Abgassystem wurde erfasst. Der Bestand betrug insgesamt 528.350 Fahrzeuge, die unterschiedliche Hubräume (zwischen 1598 cm³ und 2993 cm³) aufweisen (Tabelle 2, Stand Januar 2023).

Tabelle 2: Fahrzeugbestände des Herstellers BMW mit 4- und 6-Zylinder-Dieselmotoren der Schadstoffklasse 5

Motorkennbuchstabe	Hubraum [cm ³]	Zylinder	Leistung [kW]	Typ	Bestand
N47C16A	1598	R4	66 - 107	One, Cooper, Mini	10.432
N47D16A	1598	R4	70 - 99	1er, 114D, 116D	6.408
N47C20A	1995	R4	82 - 135	Cooper	8.791
N47D20C	1995	R4	85 - 169	1er, 2er, 3er, 4er, 5er, X1, X3	387.069
N47D20D	1995	R4	150 - 190	1er, 2er, 5er, X1, X5	20.233
306D5	2993	R6	210 - 254	335D	810
N57D30A	2993	R6	150 - 280	3er, 5er, 7er, X3, X4, X5, X6	74.642
N57D30B	2993	R6	210 - 285	5er, 6er, 7er, X3, X5, X6	19.102
N57D30C	2993	R6	280	X5, X6	863
					528.350

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
 - NO_x-Speicherkatalysator
 - SCR-Katalysator,
- Emissionsklasse.

Als Basis einer Familienbildung der ABE wurden die Fahrzeuge entsprechend der Motoreigenschaften in folgende zwei Gruppen eingeteilt, wie in Tabelle 3 dargestellt:

Tabelle 3: Motoreigenschaften hinsichtlich der Familienbildungskriterien (Gruppe I: 4 Zylinder-Motor, Gruppe II 6 Zylinder-Motor)

		Ggruppe I		Gruppe II
Zylinderanzahl und -anordnung		R4	R4	R6
Ansaugsystem		TC	TC	TC
Einspritzsystem		CR	CR	CR
Gesamtzylinderhubvolumen	[mm ³]	1598	1995	2993
Wirkprinzip der schadstoff-reduzierenden 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		16.840	416.093	95.417

- Gruppe I besteht aus Fahrzeugen mit einem 4-Zylinder-Dieselmotor mit einem Hubraum von 1598 und 1995 cm³ und einer Leistung bis zu 162 kW

Die Motoreigenschaften lassen darauf schließen, dass prinzipiell ein gemeinsames SCR-System geeignet ist, um die gesamte Gruppe abzudecken.

Vom maximalen Bestand (432.933 Fahrzeuge, Tabelle 4) werden 404.005 Fahrzeuge bis 162 KW durch die Arbeiten anhand des Prüffahrzeuges (135 kW) abgedeckt.

Tabelle 4: Fahrzeugbestände der Gruppe I des Herstellers BMW (Stand 01/2023)

Motorkennbuchstabe	Hubraum [cm ³]	Zylinder	Leistung [kW]	Typ	Bestand
N47C16A	1598	R4	66 - 107	One, Cooper, Mini	10.432
N47D16A	1598	R4	70 - 99	1er, 114D, 116D	6.408
N47C20A	1995	R4	82 - 135	Cooper	8.791
N47D20C	1995	R4	85 - 169	1er, 2er, 3er, 4er, 5er, X1, X3	387.069
N47D20D	1995	R4	150 - 190	1er, 2er, 5er, X1, X5	20.233
					432.933

- Gruppe II umfasst die Fahrzeuge mit einem 6-Zylinder-Dieselmotor mit einem Hubraum bis 2993 cm³ bis zu 228 kW

Auch hier lassen die Motoreigenschaften darauf schließen, dass prinzipiell ein gemeinsames SCR-System geeignet ist, um die gesamte Gruppe abzudecken.

Vom maximalen Bestand (95.417 Fahrzeuge,

Tabelle 5) werden 77.888 Fahrzeuge bis 228 kW durch die Arbeiten anhand des Prüffahrzeuges (190 kW) abgedeckt.

Tabelle 5: Fahrzeugbestände der Gruppe II des Herstellers BMW (Stand 01/2023)

Motorkennbuchstabe	Hubraum [cm ³]	Zylinder	Leistung [kW]	Typ	Bestand
306D5	2993	R6	210 - 254	335D	810
N57D30A	2993	R6	150 - 280	3er, 5er, 7er, X3, X4, X5, X6	74.642
N57D30B	2993	R6	210 - 285	5er, 6er, 7er, X3, X5, X6	19.102
N57D30C	2993	R6	280	X5, X6	863
					95.417

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.

Es handelte sich dabei um folgende zwei Fahrzeuge

- **Familie I – Prüffahrzeug X3 mit 4-Zylindermotor**

Für Familie I wurde ein X3 mit 4-Zylinder Motor des Typs N47D2 und einem Hubraum von 1995 cm³ sowie einer Leistung von 135 kW ausgewählt.

- **Familie II – Prüffahrzeug X3 mit 6-Zylindermotor**

Für Familie II fiel die Wahl des Prüffahrzeuges auf einen BMW X3 mit einem 6-Zylindermotor des Typs N57D30 mit einem Hubraum von 2993 cm³ und einer Leistung von 190 kW.

Für die Übertragung auf andere Fahrzeuge im Rahmen einer Familienbildung war entscheidend, dass die Raumgeschwindigkeit (Leistung) maximal 20 % höher sein darf als im Fall des Prüffahrzeuges. Dies wären in diesem Fall 162 kW für Fahrzeuggruppe 1 bzw. 228 kW für Fahrzeuggruppe 2. Nach unten gibt es keinerlei Beschränkungen, so dass mit den beiden ausgewählten Fahrzeugen diese Voraussetzungen für die Familienbildung innerhalb der definierten Fahrzeuggruppe erfüllt wurden.

Für beide Prüffahrzeuge wurde das Original-Abgasnachbehandlungssystem untersucht und der Unterboden hinsichtlich Bauraums betrachtet. Wie sich zeigte, stimmen beide Prüffahrzeuge nicht nur in ihrer Karosserie, sondern auch in ihrem Unterboden überein. Der Original-Partikelfilter ist bei den Fahrzeugen motornah verbaut. Abbildung 3 zeigt exemplarisch das Prüffahrzeug X3 mit 4-Zylindermotor.



Abbildung 3: Prüffahrzeug X3 4-Zylinder (Euro 5).

Abbildung 4 zeigt den Unterboden des BMW X3 mit 4-Zylindermotor und die Mulde im Kofferraum. Abbildung 5 zeigt den 3D-Scans des Unterbodens nach Ausbau der Original-Abgasanlage. Anhand des Scans wurde der zur Verfügung stehende Bauraum für das AGN-System genau ermittelt.

Beide Fahrzeuge verfügen nur über eine kleine Mulde im Kofferraum. Im Gegensatz zu Reserveradmulden bei anderen Fahrzeugen erwies sich diese als nicht geeignet als Bauraum für den AdBlue-Tank, die ACU und das Heizungsrelais des Nachrüstsystems.



Abbildung 4: Unterboden der Prüffahrzeuge mit Original-Abgasnachbehandlungssystem (Bauraum für das Nachrüstsystem) und Kofferraummulde (am Beispiel des Prüffahrzeuges BMW X3 mit 4-Zylindermotor)



Abbildung 5: Scan des Unterbodens nach Ausbau der Original-Abgasführung (Bauraum für das SCR-Nachrüstsystem) und der Mulde im Kofferraum (am Beispiel des X3 4-Zylinder).

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 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

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 6):

- 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.

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

- SCR-Katalysator (Abbildung 7),
- AdBlue-Tank (Abbildung 8) und Dosiersystem,
- Heizelement (Abbildung 9).

Im Sinne des Baukasten-Ansatzes konnte bei der Ausarbeitung des Systems unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Motoreigenschaften für beide Systeme, die unter die beiden Fahrzeuggruppen fallen, auf die gleichen Komponenten zurückgegriffen werden.

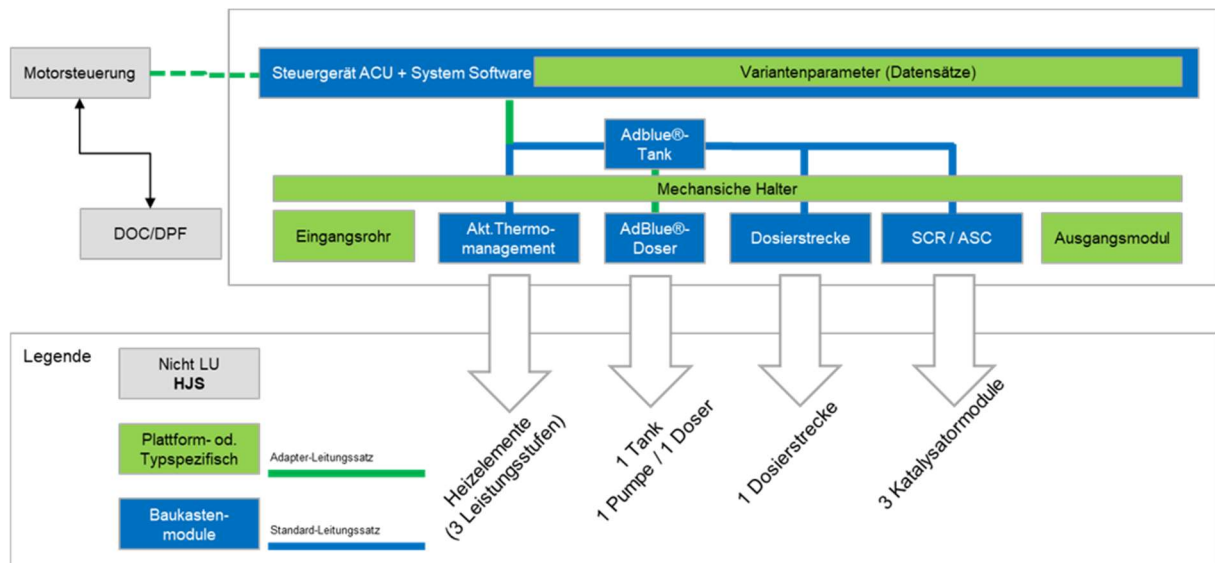


Abbildung 6: Konzept des Nachrüstsystems.

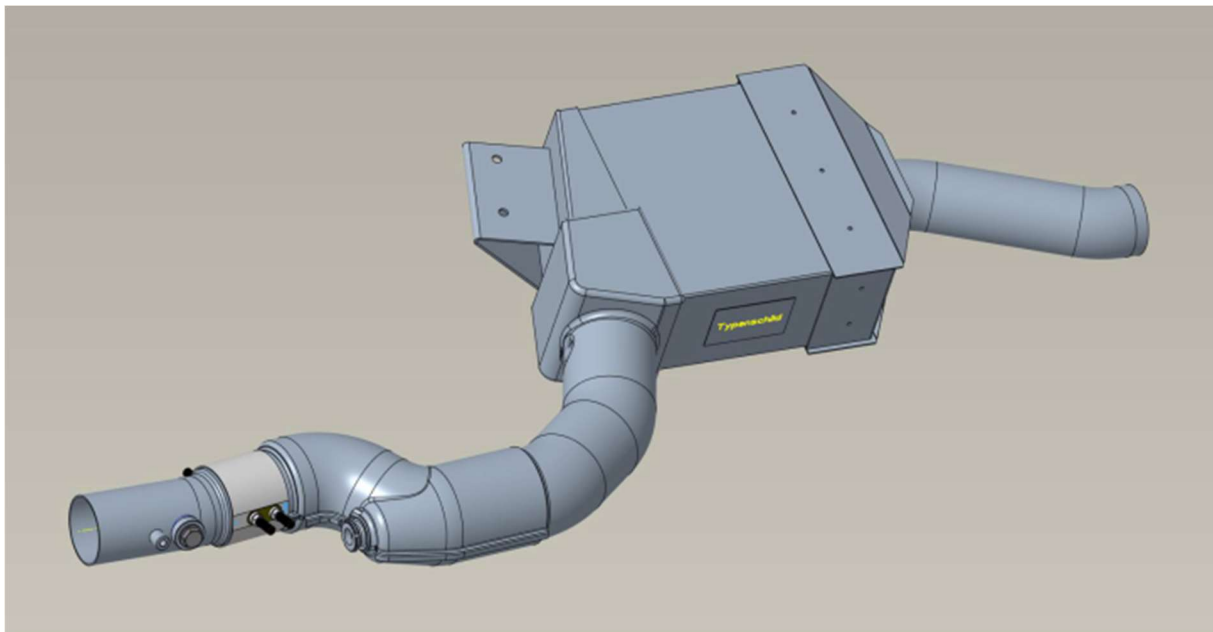


Abbildung 7: SCR-Nachrüstsystem.

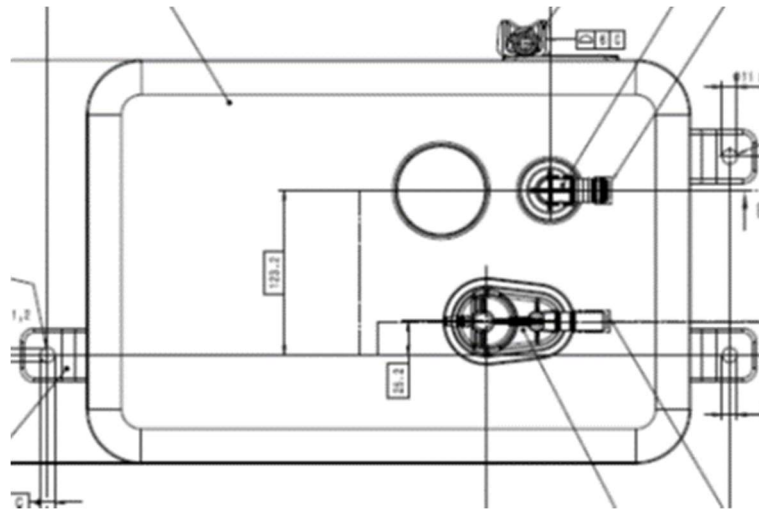


Abbildung 8: AdBlue-Tank.

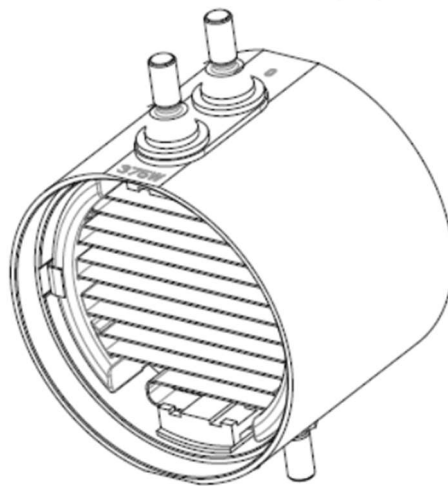


Abbildung 9: Heizelement.

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 10 dargestellt.

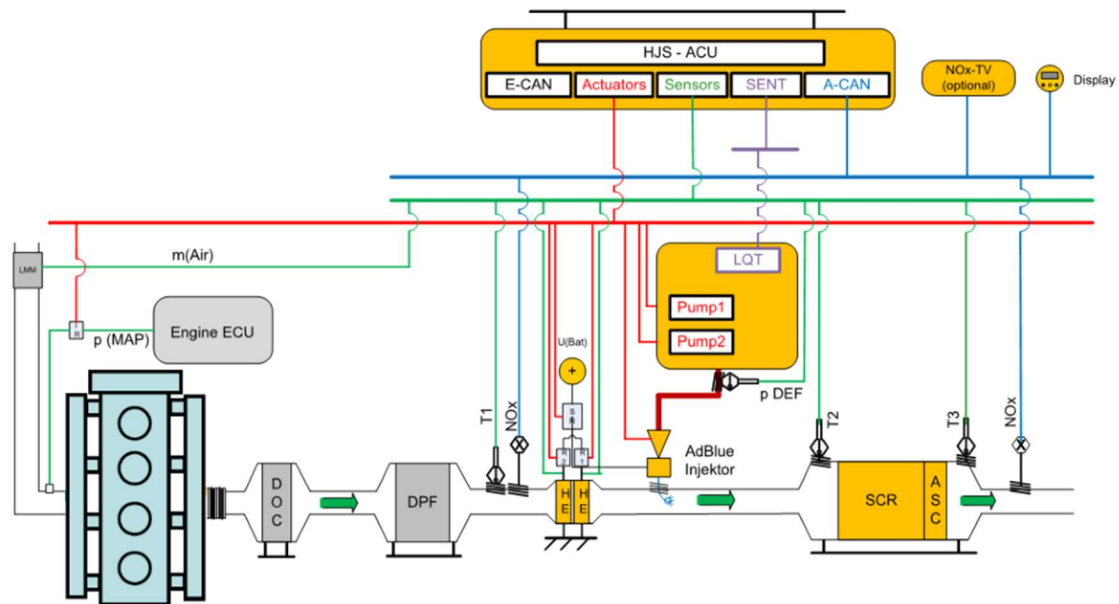


Abbildung 10: Signallaufplan des Eingriffskonzeptes der nachrüstbaren Abgasnachbehandlung (Systemumfang HJS in gelb).

Das Konzept umfasst:

- Erkennung Motorlauf,
- Aktivierung des Dosiersystems (Druckaufbau in der Leitung),
- Messung von Abgastemperatur, Luftmasse und 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 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.

Die Temperatur und die 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 sind die Relaisplatte zur Ansteuerung des Heizelementes (Abbildung 11) und der Kabelbaum (Abbildung 12).

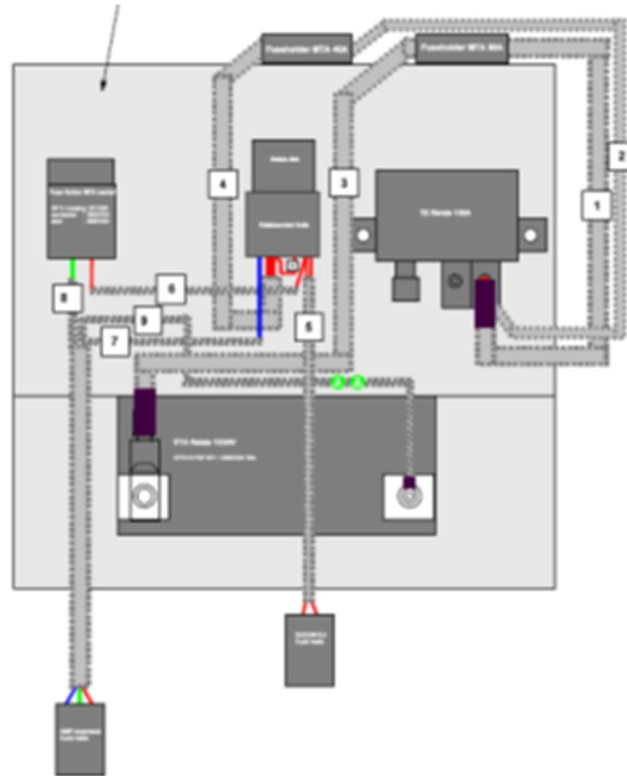


Abbildung 11: Relaisplatte zur Ansteuerung des Heizelements.

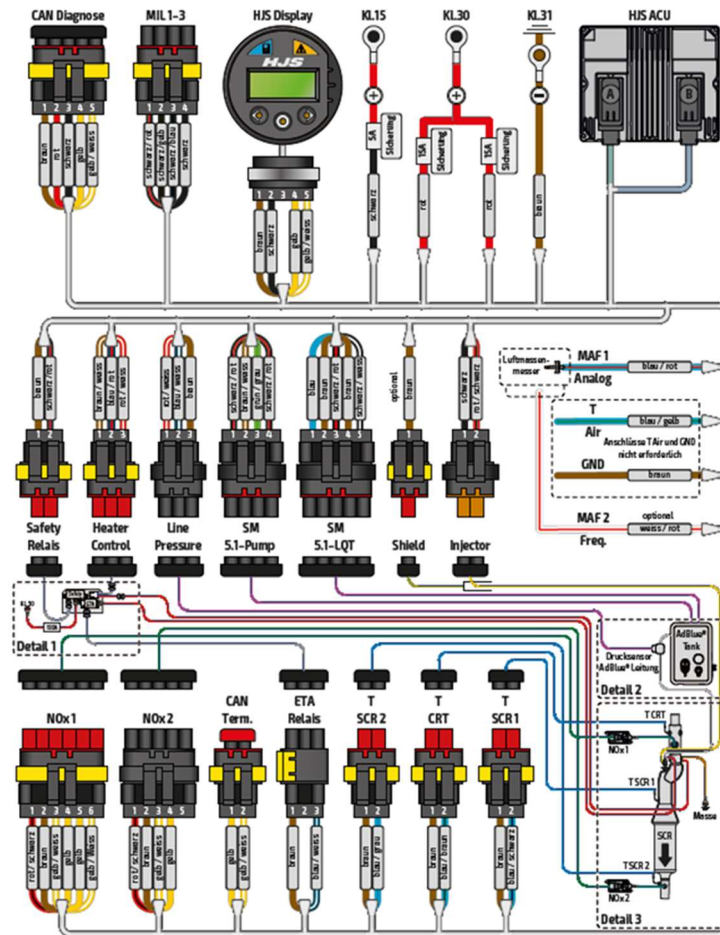


Abbildung 12: Schematische Zeichnung des Kabelbaums.

Applikationsspezifische Systemintegration

In diesem Arbeitspaket erfolgten fahrzeugspezifische Anpassungen der beiden Systeme. Dies beinhaltet 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 NO_x-Sensoren.
- Hydraulische Installation und Anbindung der Bauteile, wie Pumpe und Dosier sowie des für die AdBlue-Dosierung notwendigen Tanksystems im Fahrzeug.

- Bei beiden Fahrzeugen wurde das gleiche SCR-Modul verbaut. Aufgrund des Bauraums in Verbindung mit den Allradantrieb war eine sehr flache Bauweise erforderlich.
- Ableitung und Realisierung des geeigneten Konzeptes zur Betankung mit AdBlue:

- AdBlue-Betankung im Kofferraum

Beide Fahrzeuge verfügten weder über eine Reserveradmulde, noch über ausreichend Bauraum im Unterboden. In der Kofferraummulde war bereits die Fahrzeugbatterie verbaut. Für die Durchführung der Projektarbeiten wurde daher für die beiden X3 Varianten (4 und 6 Zylinder) eine Box gebaut, die im Kofferraum untergebracht wurde. Die Betrachtungen ergaben jedoch, dass für die spätere Serienreife der Original-AdBlueTank der US-Version der Fahrzeuge geeignet wäre. Dieser soll dann aus dem Ersatzteilhandel bezogen und integriert werden. In Hinblick auf die Kürze der Projektlaufzeit wurde darauf verzichtet, dies umzusetzen, zumal dies für die Untersuchungen zur Wirksamkeit und die Erlangung der ABE nicht erforderlich war.

Vorteil der Unterbringung im Kofferraum ist ein kurzer Weg zur Spannungsversorgung, da die Fahrzeugbatterie in der Kofferraummulde untergebracht ist. Nachteil ist jedoch der längere Weg zur Heizungsverkabelung im vorderen Bereich. Der AdBlue-Tank der US-Version wäre hier jedoch eine geeignete Lösung.

- 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 ($< 200\text{ °C}$), 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 NH_3 -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 – Prüffahrzeug X3 mit 4-Zylindermotor

Die durchgeführte Bauraumuntersuchung der Fahrzeuge 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 X3 mit 4-Zylindermotor ist in Abbildung 13 dargestellt. Abbildung 14 zeigt die Box für AdBlue Tank, ACU und andere elektronische Bauteile.

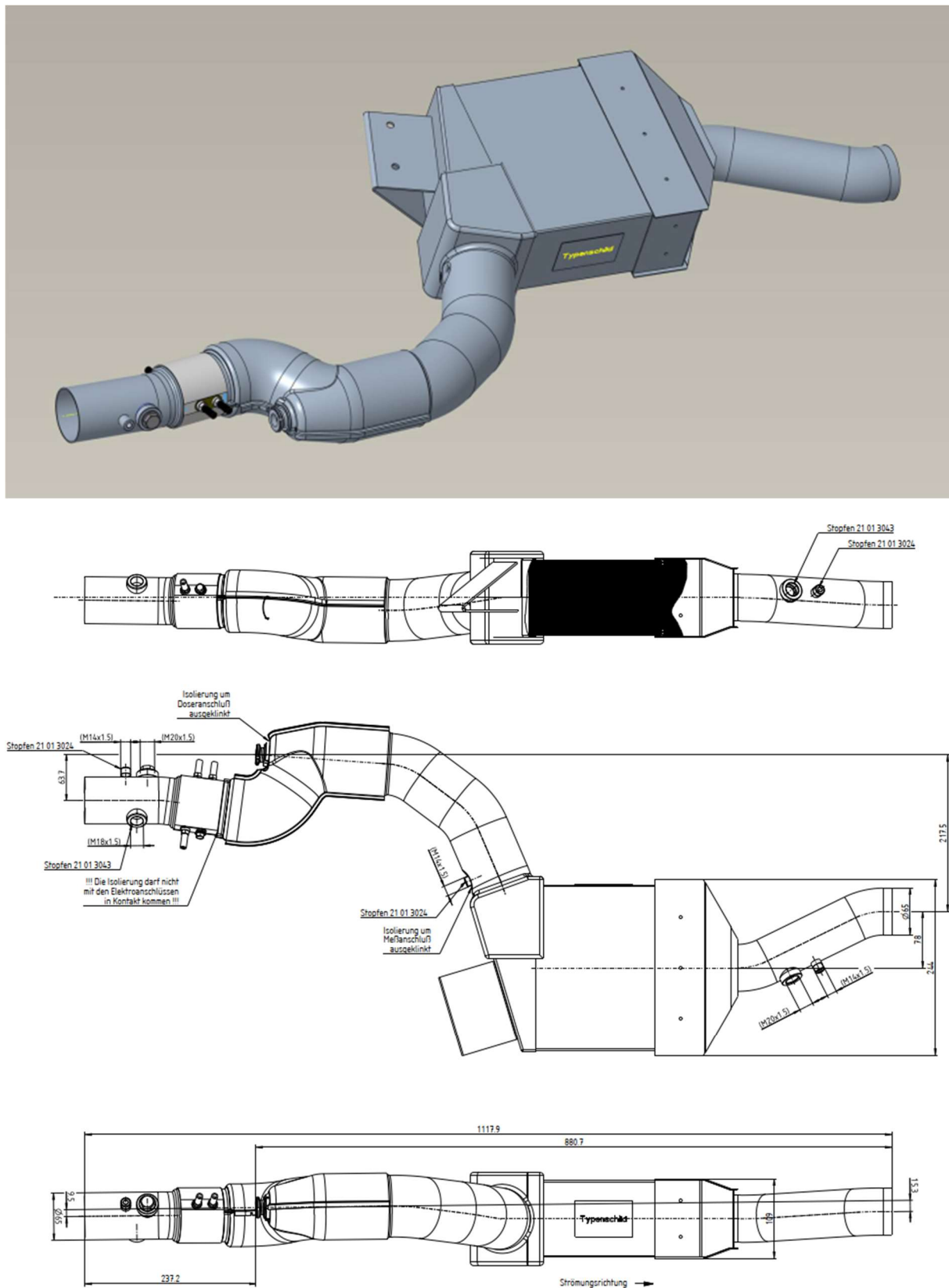


Abbildung 13: SCR-System inklusive Ein- und Auslassrohre sowie Heizer und Dosieranschluss

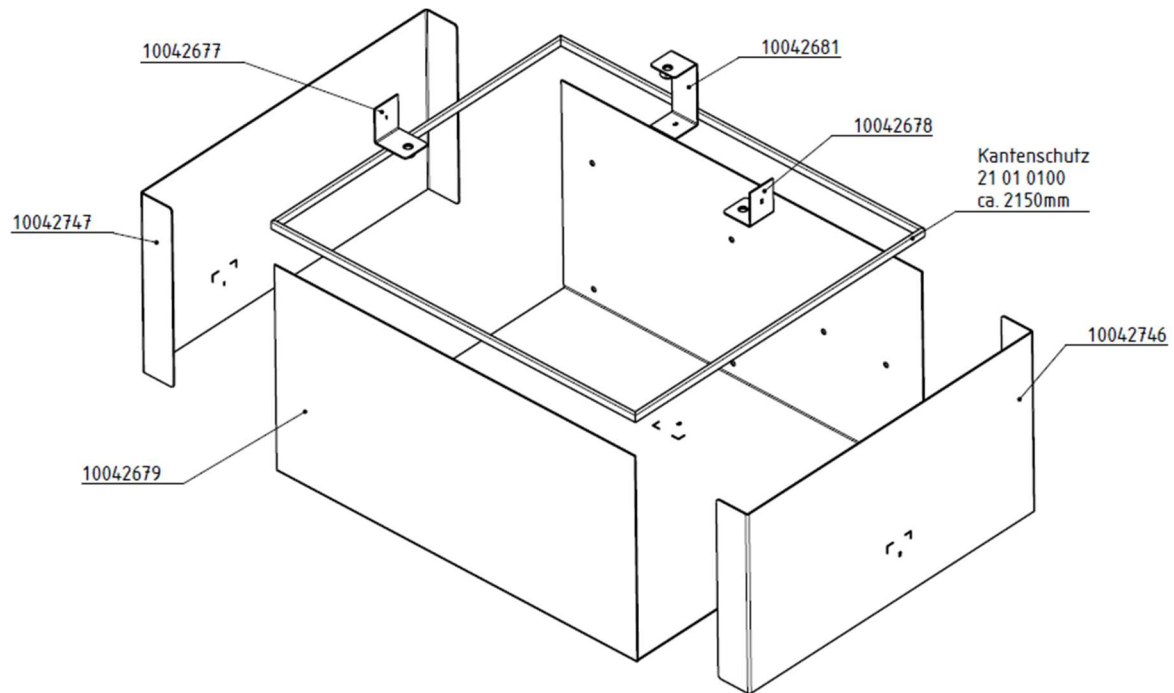
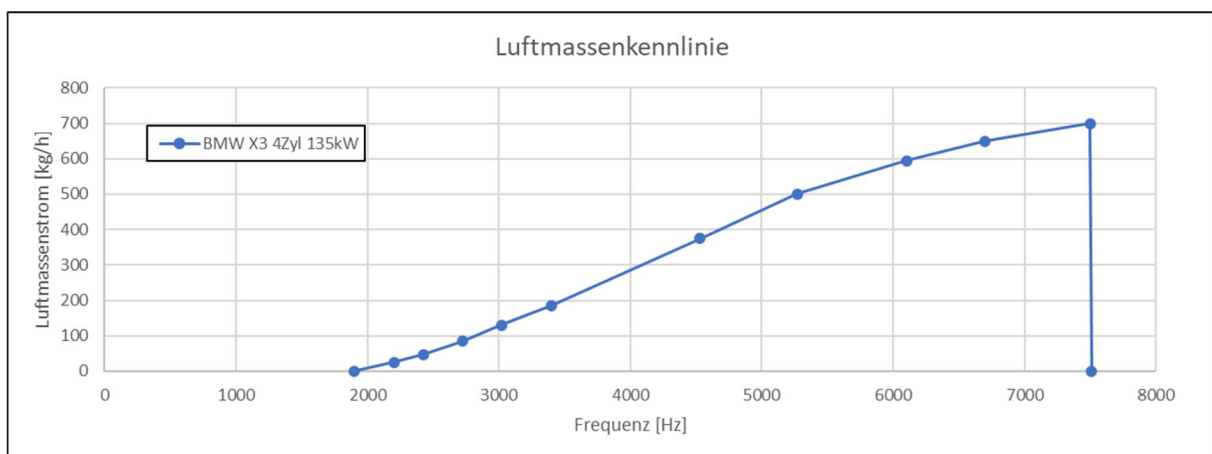


Abbildung 14: Box für AdBlue-Tank, ACU und andere elektronische Bauteile

Die anhand der Testfahrt ermittelte Luftmassenkennlinie ist in Abbildung 15 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	2200	2430	2720	3020	3400	4530	5270	6104	6700	7500	7510
[kg/h]	0	25	47	85	130	185	375	500	595	650	700	0

Abbildung 15: BMW X3 4-Zylinder – Luftmassenkennlinie.

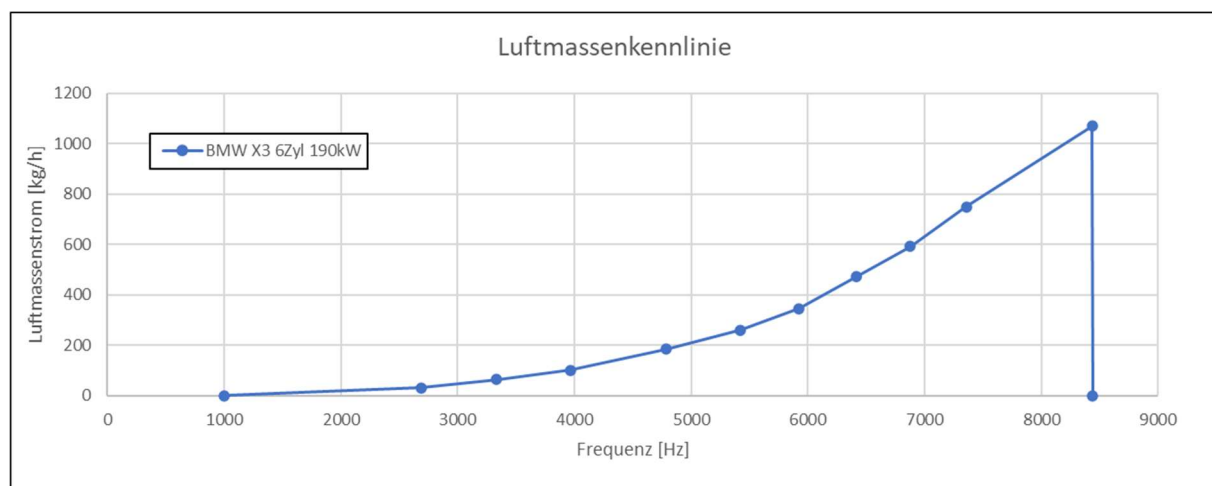
Weiterhin zeigten die Betrachtungen, dass eine Übertragung des Systems auf die Fahrzeugtypen, die in AP 1 genannt wurden, möglich ist (Tabelle 3).

Durch die ABE der Gruppe I liegt eine Genehmigung für eine sehr breite Fahrzeugpalette vor (Tabelle 4). Die Übertragung auf andere Fahrzeuge innerhalb der Gruppe I bedarf weiterer Applikationsarbeiten für die Tankposition, die Ein- und Austrittsgeometrien der Rohre, sowie die Halterung des Abgassystems im Fahrzeug.

Familie II – Prüffahrzeug X3 mit 6-Zylindermotor

Der SCR-Katalysator, AdBlue-Tank, ACU sowie die Dosierstrecke und Heizung sind für den X3 mit 4-Zylindermotor (Fahrzeuggruppe I) und den X3 mit 6-Zylindermotor (Fahrzeuggruppe II) identisch.

Auch für den X3 6 Zylinder wurde die Luftmassenkennlinie in einer Testfahrt mit Aufzeichnung des Luftmassenstroms ermittelt (Abbildung 16), um den Luftmassenstrom aus der Frequenz des Luftmassensignals bestimmen zu können.



[Hz]	1000	2686	3334	3964	4783	5422	5924	6414	6877	7360	8437	8440
[kg/h]	0	32	64	102	185	261	345	471	593	750	1070	0

Abbildung 16: X3 (6-Zylinder) – Luftmassenkennlinie.

Durch die ABE der Gruppe II liegt eine Genehmigung für eine sehr breite Fahrzeugpalette für Fahrzeuge von BMW vor (

Tabelle 5). Die Übertragung auf andere Fahrzeuge innerhalb der Gruppe II bedarf weiterer Applikationsarbeiten für die Tankposition, die Ein- und Austrittsgeometrien der Rohre, sowie die Halterung des Abgassystems im Fahrzeug.

Nachdem das Nachrüstsystem 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 17 zeigt das SCR-System exemplarisch für Gruppe I.



Abbildung 17: Muster des SCR-Systems mit Dosierung, Heizung und Anschlussverrohrung (am Beispiel des X3 mit 6-Zylindermotor)

Bestandteile des Systems waren dabei auch das AdBlue-Dosiermodul (Abbildung 18), NO_x-Sensoren und Temperatursensoren (Abbildung 19) sowie ferner das Anzeigemodul (Abbildung 20).



Abbildung 18: AdBlue-Dosiermodul.



Abbildung 19: NO_x-Sensor (links) und Temperatursensor (rechts).



Abbildung 20: Anzeigemodul.

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

V. 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 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 (s. AP 6).

Der X3 4 Zyl. mit Erstzulassung 02/2012 und einer Laufleistung von 157.000 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 Gesamteindrucks wurde das Fahrzeug als geeignet bewertet, um es als Prüffahrzeug für die Nachrüstung mit einem SCR zu verwenden.

Gleiches galt für den X3 6 Zylinder mit Erstzulassung 09/2012 und einer Laufleistung von 173.400 km. Das Fahrzeug wurde ebenfalls als geeignet bewertet.

Um die Systeme erproben zu können, wurden daraufhin die zwei vorliegenden Muster in die beiden Prüffahrzeuge 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 – Prüffahrzeug X3 (4-Zylinder)

Abbildung 21 und Abbildung 22 zeigen das eingebaute System für das Testfahrzeug X3 (4-Zylinder).

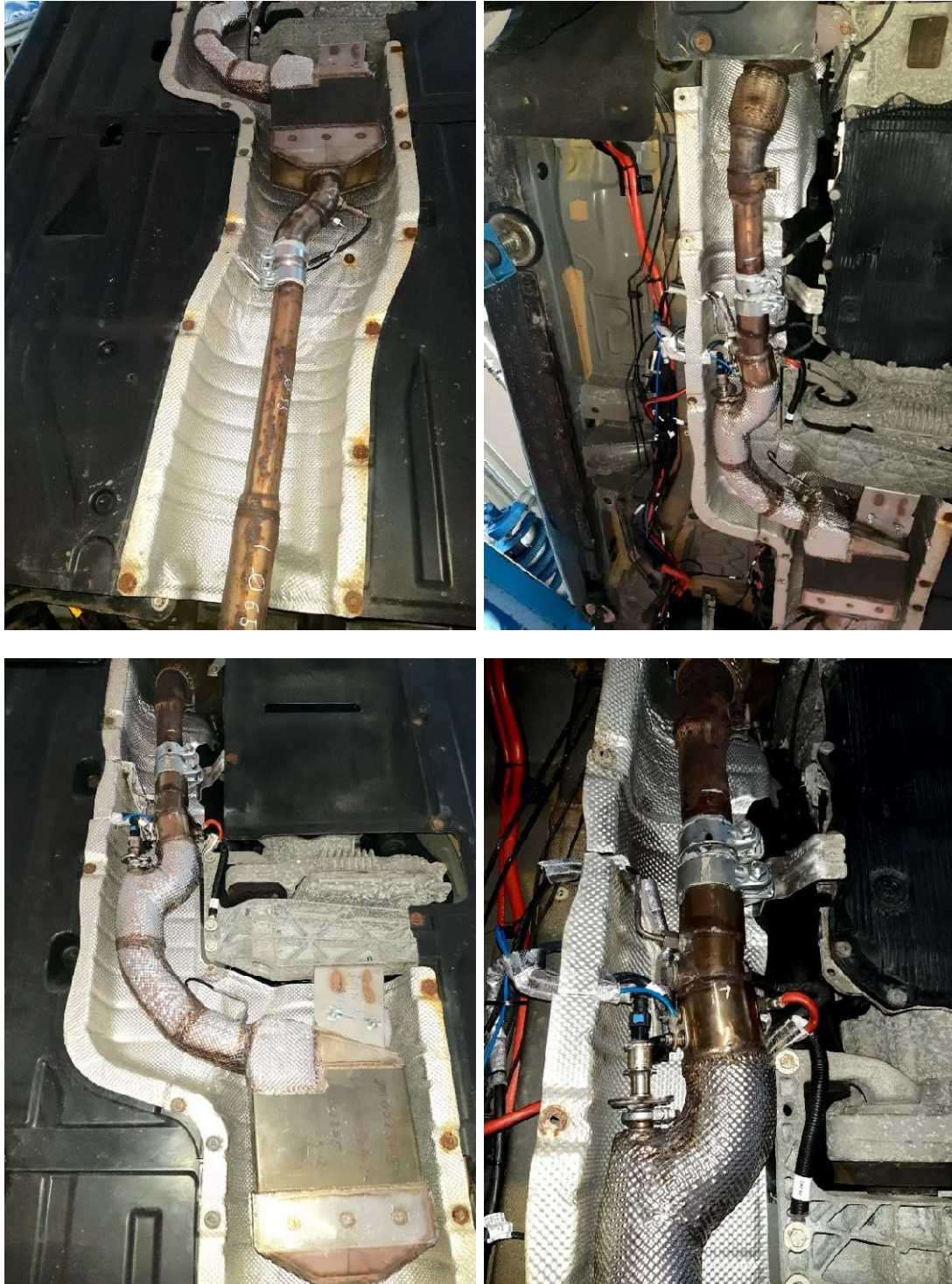


Abbildung 21: BMW X3 (4-Zylindermotor) mit appliziertem SCR-System

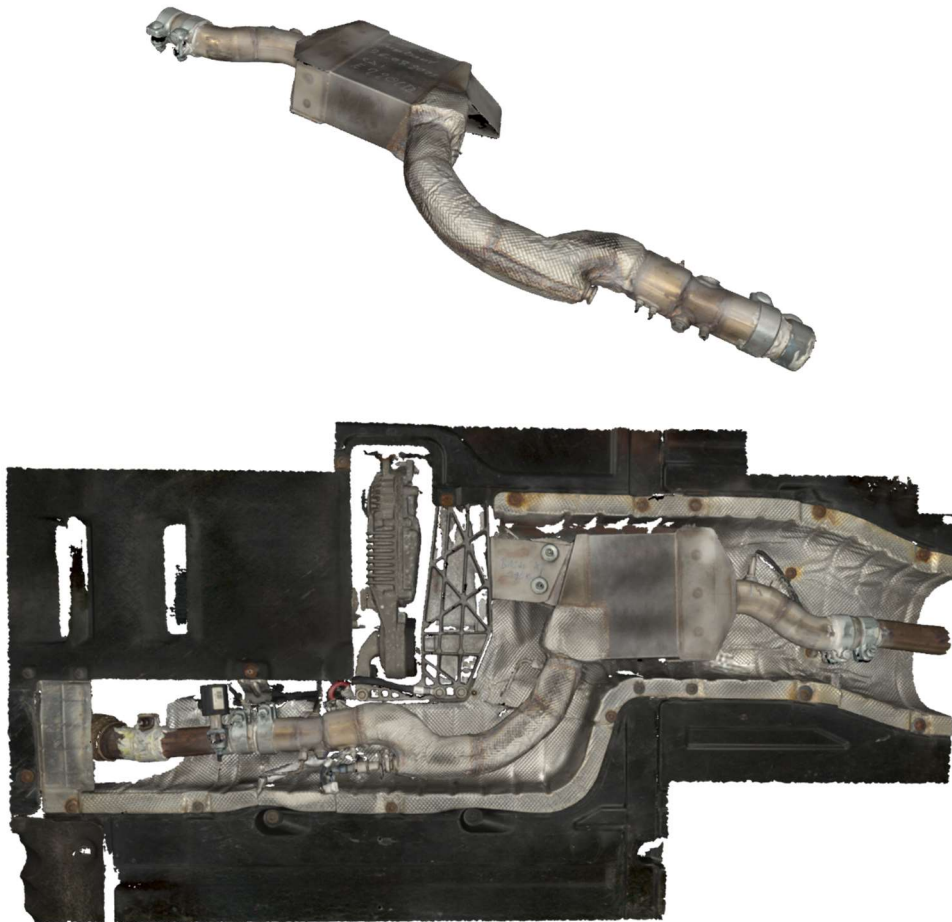


Abbildung 22: X3/4 Zyl.– Scan des eingebauten SCR-Systems

Besonderheiten und Herausforderungen der Applikation waren:

Aufgrund des begrenzten Bauraumes konnte nur ein SCR mit einem vergleichsweise kleinen Volumen eingesetzt werden.

Bei den ersten Testfahrten zeigte ich, dass die NO_x -Rohemissionen hohe Werte aufwiesen. Um den Grenzwert von 270 mg/km erreichen zu können, waren hohe Einschaltzeiten des Heizers erforderlich. Da der Betrieb des Heizers jedoch zu einem Kraftstoffmehrverbrauch führt, der maximal 6 % betragen darf, musste diese Maßnahme sorgfältig ausbalanciert werden.

Das Fahrzeug wurde in Hinblick auf die hohen NO_x -Rohgasemissionen näher betrachtet. Es weist eine Abgasrückführung (AGR) auf und ist mit einem gesteuerten AGR-Kühler ausgestattet. Dieser Kühler dient dazu, die rückgeführten Abgase zu kühlen. Höhere AGR-Raten führen zu geringeren Stickoxidemissionen. Dieser Kühler wird im Kaltstart abgeschaltet, um den Motor schneller aufzuwärmen.

Leider tritt hier häufig der Fehler auf (herstellerbedingt), dass die Bypass-Klappe hängen bleibt und so die volle Wirkung des AGR-Kühlers nicht genutzt werden kann. Das Resultat einer hängenden Bypass-Klappe sind somit höhere Stickoxidemissionen.

Hierzu gibt es eine Serviceaktion bei BMW, bei der die Klappen inkl. AGR-Kühler auf Kulanz ausgetauscht werden. Das Fahrzeug war vor Beginn des Projektes jedoch noch bei BMW in der Inspektion. Zu diesem Zeitpunkt war der Fehler noch nicht aufgetreten, es war mit einer 0-Fehler-Analyse an das Prüfinstitut übergeben worden.

Nach bestem fachlichem Ermessen hat der angezeigte Fehler (Fehlercode 29EB00) dazu geführt, dass die Emissionen während der Prüfung höher waren als bei einer vergleichbaren Prüfung mit intakter Bypass-Klappe. Die Prüfung stellte damit also den Worst Case dar.

In der Bedatung wurde der Ammoniakspeicher hochgesetzt und das Speichermodelles entsprechend ausgelegt, sodass auch unter Auftreten eines solchen Fehlers eine ausreichende Wirkung des SCR-Systems erreicht wird. Somit ist es schließlich gelungen, die NO_x-Emissionen auch unter diesen Bedingungen wirkungsvoll zu reduzieren und den Grenzwert einzuhalten.

Familie II – Prüffahrzeug X3 (6-Zylinder)

Wie erläutert, wurde auch für den X3 mit 6-Zylindermotor ein System in das Fahrzeug integriert (Abbildung 23 und Abbildung 24).



Abbildung 23: X3 (6-Zylinder) mit SCR-Nachrüstsystem

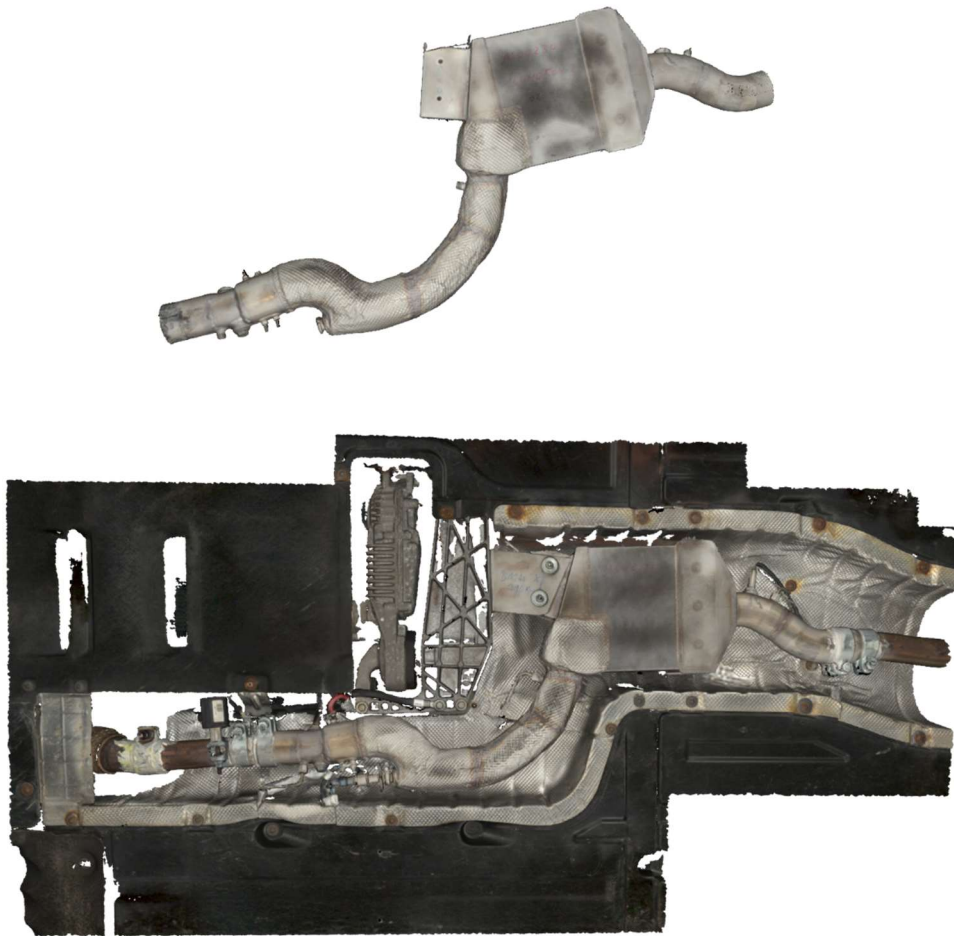


Abbildung 24: X3 (6-Zylinder): Scan des SCR-Nachrüstsystems

Besonderheiten und Herausforderungen dieser Applikation waren, dass es sich um einem 6-Zylindermotor mit entsprechend vergleichsweise hoher Leistung handelte. Dennoch erwies sich der SCR-Katalysator als geeignet, um eine wirkungsvolle Stickoxid-Reduktion zu realisieren.

Auch hier war eine Herausforderung der geringe Bauraum, sodass der gleiche SCR mit flacher Bauweise eingesetzt wurde. Der höhere Massenstrom durch den 6 Zylinder-Motor führt zu einem höheren Gegendruck und somit zu einem Kraftstoffmehrverbrauch, der maximal 6 % betragen darf.

Jedoch erwies sich die NOx-Rohemission als vergleichsweise gering, sodass der Betrieb bzw. die Anlaufzeiten des Heizers begrenzt waren. Dies kam wiederum der Einhaltung des begrenzten Kraftstoffmehrverbrauches entgegen.

Das Speichermodell konnte auf Basis dieser Erkenntnisse so ausgelegt werden, dass ein geringerer Ammoniakspeicher ausreichend ist.

VI. 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 Bedatungapplikation wurde die „HJS“-Teststrecke genutzt, die sich im Laufe vieler vorangegangener Testfahrten bewährt hatte (Abbildung 25).

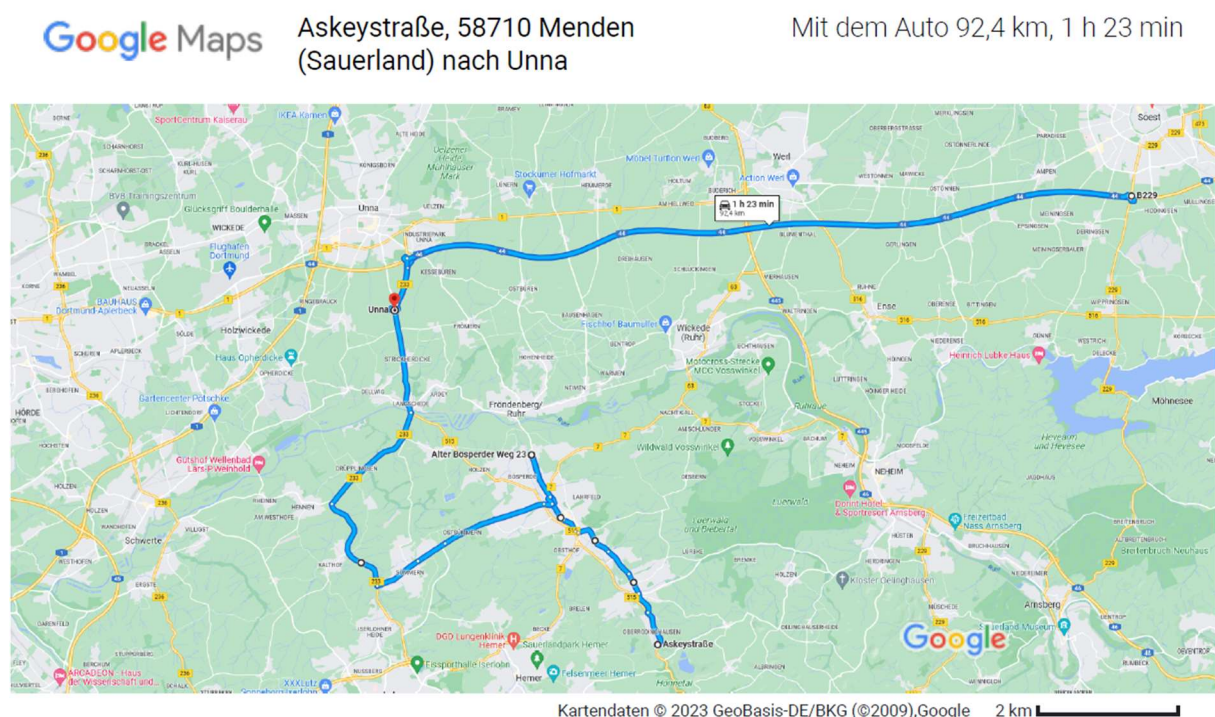


Abbildung 25: Auswahl der Teststrecke mit Autobahn-, Stadt- und Landfahrt.

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 X3 mit 4-Zylindermotor

Im Fall des X3 mit 4-Zylindermotor 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 6 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 6: Prüffahrzeug X3 (4-Zylinder) - Vergleich der Emissionen des ausgewählten Prüffahrzeuges mit Original-AGN-System mit den Typprüfwerten (NEFZ-Zyklus).

		NEFZ (neu)	NEFZ (Typprüfwerte)
NO _x	[mg/km]	278,06	159,3
HC+NO _x	[mg/km]	287,96	174,5
CO	[mg/km]	129,60	200,4

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 leicht über dem ursprünglichen Verbrauch (Tabelle 7). Die Werte liegen im Rahmen der üblichen Abweichungen, der Kraftstoffmehrverbrauch durch den Betrieb des Nachrüstsystems beträgt weniger als die erlaubten 6 %. Die Anforderungen an den Kraftstoffverbrauch werden somit erfüllt.

Tabelle 7: Prüffahrzeug X3 (4-Zylinder) – Vergleich der Verbrauchsmessungen (WLTC) mit HJS-Nachrüstsystem und im Originalzustand (ohne SCR).

		WLTC
CO ₂ ohne SCR	[g/km]	178,9
CO ₂ mit SCR	[g/km]	187,4
Verschlechterung	[%]	4,8

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 26).

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 79 % als ausreichend. Der Grenzwert von 270 mg/km wird unterschritten (Tabelle 8), auch unter den ungünstigen Bedingungen von Stadt- oder Landfahrten (S+L).

Das Nachrüstsystem erfüllt somit alle Anforderungen.

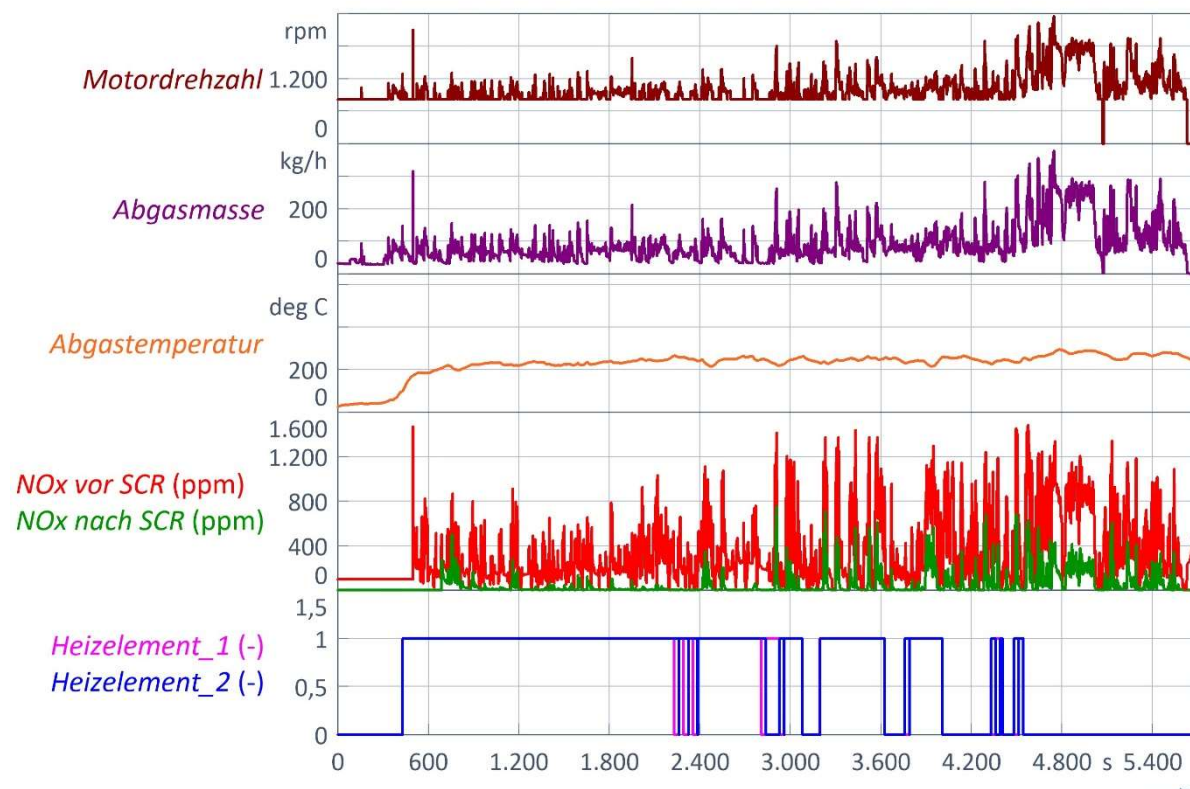


Abbildung 26: X3 (4-Zylinder) – Messung der Kennzahlen und der NO_x-Emissionen auf der Teststrecke: NO_x-Reduktion von 79 %.

Tabelle 8: Prüffahrzeug X3 (4-Zylinder) – PEMS-Messung der NO_x-Emissionen mit HJS-Nachrüstsystem.

		RDE
NO _x _ges.	[mg/km]	252,91
NO _x _S+L	[mg/km]	252,11
Grenzwert	[mg/km]	270,00

Familie II – Prüffahrzeug X3 mit 6-Zylindermotor

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 lagen die Werte im üblichen Rahmen, sodass das SCR-System ohne weiteren Aufwand in das Testfahrzeug installiert und erprobt werden konnte.

Tabelle 9: X3 mit 6-Zylindermotor: Vergleich der Emissionen des Prüffahrzeuges mit den Typprüfwerten.

		NEFZ (neu)	NEFZ (Typprüfwerte)
NO _x	[mg/km]	224,03	162,1
HC+NO _x	[mg/km]	248,84	180,6
CO	[mg/km]	148,82	

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 10).

Tabelle 10: Prüffahrzeug X3 mit 6-Zylindermotor – Vergleich der Verbrauchsmessungen (WLTC) mit HJS-Nachrüstsystem und im Originalzustand (ohne SCR).

		WLTC
CO ₂ ohne SCR	[g/km]	191,2
CO ₂ mit SCR	[g/km]	200,2
Verschlechterung	[%]	4,7

Somit erfüllt das System auch im Fall des X3 mit 6-Zylindermotor die grundlegenden Anforderungen, so dass auch hier die NO_x-Reduktion anhand Testfahren auf der Teststrecke untersucht werden konnte. Wie beim X3 mit 4-Zylindermotor 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 27 dargestellt. Auch hier wurde die Funktion des Systems inklusive Heizelement erfolgreich nachgewiesen. Die Stickoxid-Minderung lag bei 76 %.

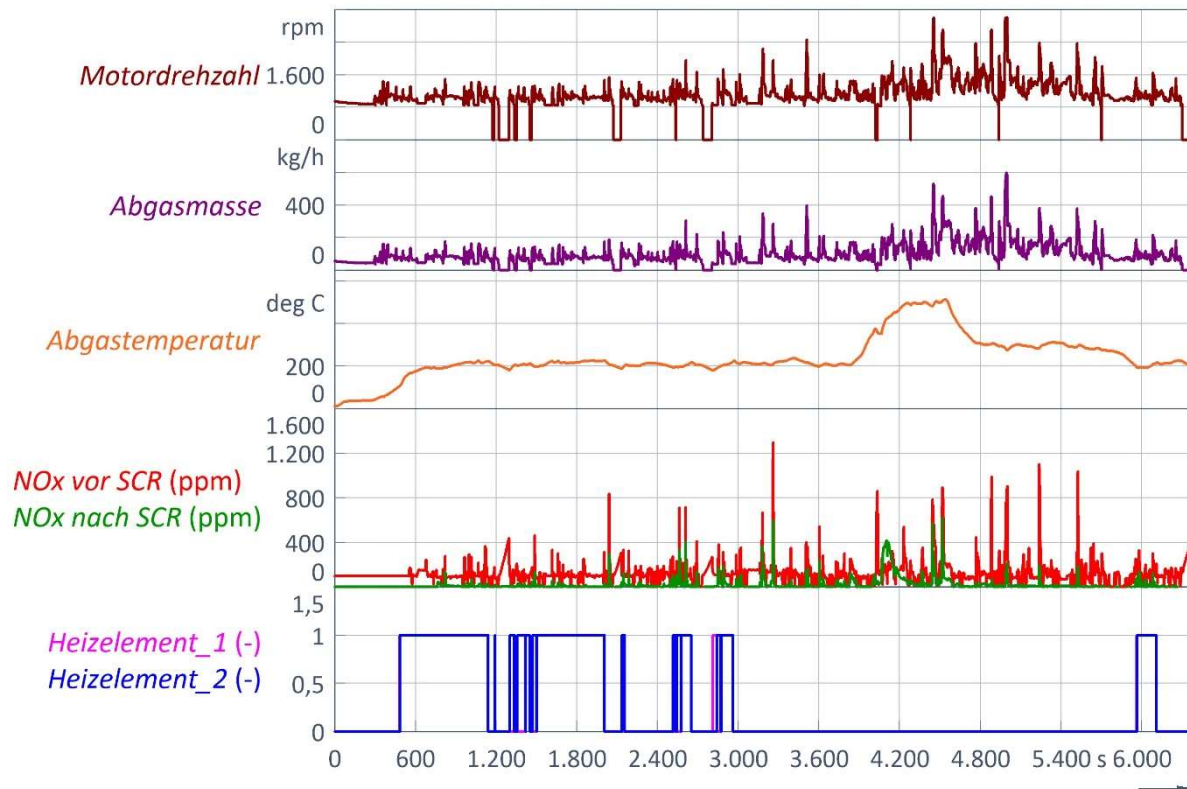


Abbildung 27: X3 mit 6-Zylindermotor - Messung der Kennzahlen und der NO_x-Emissionen auf der Teststrecke (NO_x Reduktion von 76 %).

Es war festzustellen, dass der Grenzwert von 270 mg/km deutlich unterschritten wird (Tabelle 11) 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 11: Prüffahrzeug X3 (6-Zylinder) – PEMS-Messung der NO_x-Emissionen mit HJS-Nachrüstsystem.

		RDE
NO _x _ges.	[mg/km]	83,75
NO _x _S+L	[mg/km]	110,36
Grenzwert	[mg/km]	270,00

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

VII. Fazit

Aus dem Projekt gehen zwei Systeme für die Nachrüstung mit NO_x-Minderungssystemen für PKW-Volumenmodelle mit 4- und 6-Zylinder-Dieselmotoren des Herstellers BMW 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 79 % für den X3 mit 4-Zylindermotor und 76 % für den X3 mit 6-Zylindermotor 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. 17354) am 19.04.2024 erteilt, für Familie II am 14.03.2024 (Nr. 17353). 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 BMW soll somit einen wichtigen Beitrag zur Realisierung der Stickoxid-Minderungsziele leisten.