

Luft nach oben: ein Whitepaper zur Nachrüstung von Nutzfahrzeugen im urbanen Einsatz

Die Einzelprojekte wurden gefördert durch

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Verkehr und
digitale Infrastruktur

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



Bundesanstalt
für Verwaltungsdienstleistungen

Referenz Förderkennzeichen:

FKZ 45SYS00002, 45SYS00013, 45SYS00018, 45SYS00026

Inhaltsverzeichnis

I.	Einleitung	3
A.	Hintergrund:.....	3
B.	Die Entwicklung des Bestandes	4
II.	Umsetzung & Wirksamkeit bei Transportern und Handwerkerfahrzeugen	7
A.	Konzept	7
B.	Systemintegration.....	8
C.	Steuerungsarchitektur	9
III.	Umsetzung & Wirksamkeit bei Kommunalfahrzeugen der Generation Euro IV/V.....	14
A.	Konzept	14
B.	Systemintegration & Varianten	14
	Variante 1 – Mercedes-Benz Econic:	17
	Variante 2 – Mercedes-Benz Actros und Atego:.....	17
	Variante 3 – IVECO:.....	18
D.	Systemsteuerung (Software)	20
	Variante 1 – Mercedes-Benz Econic:	20
	Variante 2 – Mercedes-Benz Actros und Atego:.....	22
	Variante 3 – IVECO:.....	23
E.	Systemleistung	25
F.	Ableitungen.....	25
IV.	Umsetzung & bei Kommunalfahrzeugen der Generation Euro III	28
A.	Konzept	28
B.	Systemintegration & Varianten	30
	Variante 1 – MAN L 2000:	30
	Variante Axor	31

Variante Actros	32
C. Systemsteuerung (Software)	33
Variante 1 – MAN L 2000:	34
Variante 2 und 3 – Mercedes-Benz Actros und Atego:.....	35
D. Ableitungen.....	42
V. Kernaspekt: Aktives Thermomanagement	55
VI. Validierung	56
VII. Funktionsuntersuchungen	57
VIII. Fazit:.....	59
IX. Liste der erteilten „Allgemeinen Betriebserlaubnis“ für unterschiedliche Fahrzeugsegmente: ..	60

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.

A. Hintergrund:

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

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

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

Bezugnehmend auf die zum Zeitpunkt der Veröffentlichung der WHO-Grenzwerte zur Verfügung stehenden Jahresmittelwerte des Jahres 2020 überschreiten nachweislich mindestens 400 deutsche Kommunen³ die neue WHO-Empfehlung für Stickstoffdioxid (NO₂) von 10 µg/m³ im Jahresmittel. Bei

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

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

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.

B. 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 Recherche⁴

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

⁴ Interne HJS Recherche

Emissionsnorm Euro V/EEV im Markt zu erwarten. Diese belegen die nachfolgenden Statistiken der ACEA⁵.

NOx emissions from the EU van fleet, by Euro classes

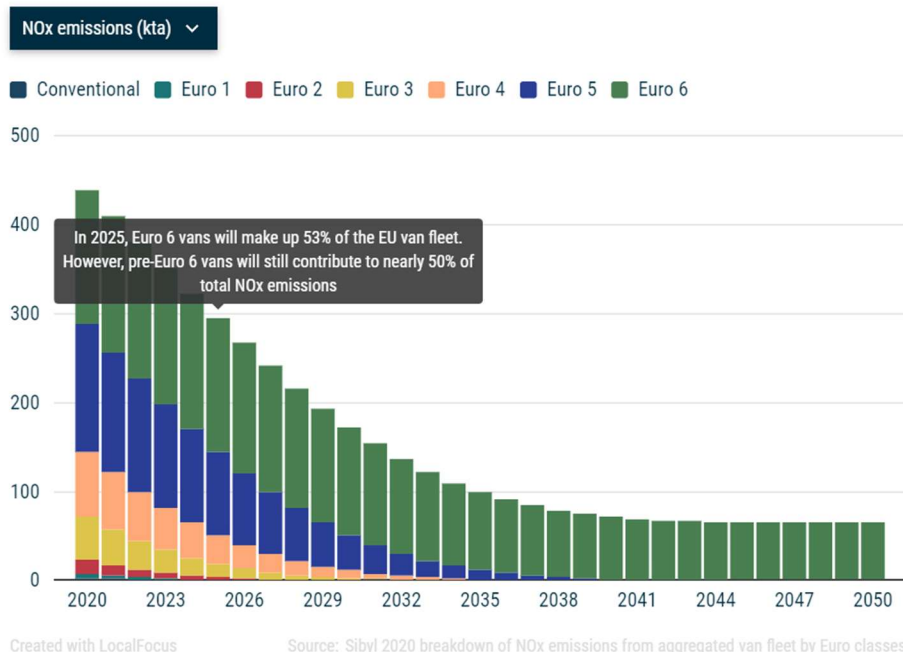


Abbildung 1: Beispiel-Studie ACEA: im Jahr 2030 werden 38kt von 150kta also ca. 25% der NOx-Emissionen im Bereich der LDV von Fahrzeugen der Generation Euro 5 und älter verursacht

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

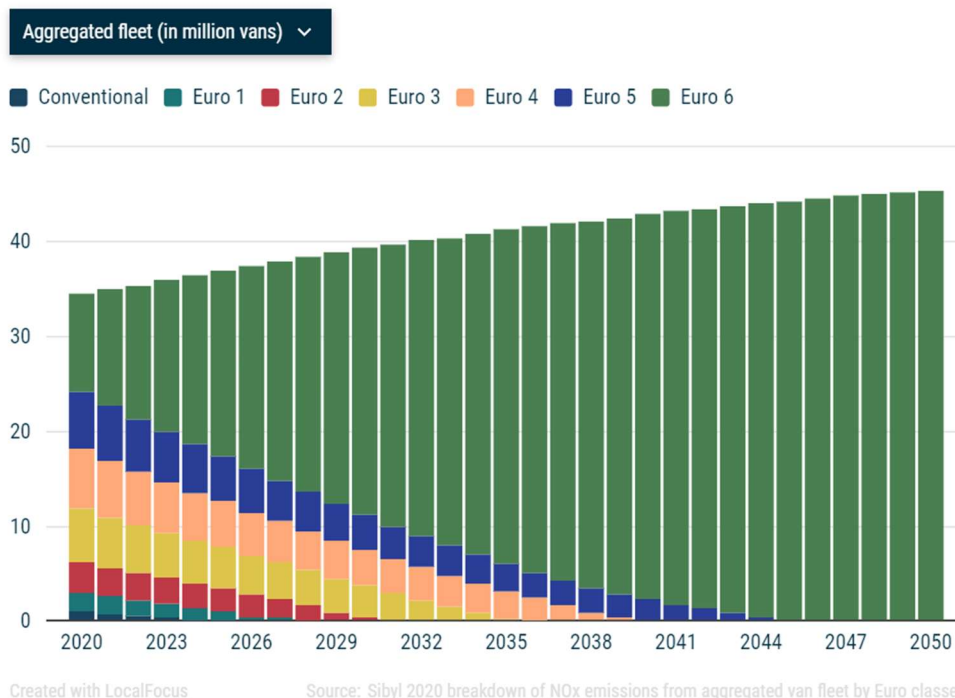


Abbildung 2: Beispiel-Studie ACEA: in 2031 werden 10 Mio. von 40 Mio. also ca. 25% Fahrzeuge im Bereich der LDV-Fahrzeuge der Generation Euro 5 und älter sein

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 Transportern und Handwerkerfahrzeugen

A. Konzept

Der HJS Systembaukasten MoBaNox-LDV bietet Lösungen für MB-Sprinter, VW-Crafter, Vito, Viano von Mercedes Benz, Transporter von Volkswagen, Ducato, Jumper, Boxer von Fiat, Citroen und Peugeot, Transit, Tourneo von Ford, Movano, Master, NV400 von Renault, Opel und Nissan.

Kernstück der Lösung ist im Hinblick auf eine schnelle Verfügbarmachung von performanten und zur Nachrüstung geeigneten Abgasnachbehandlungssystemen für ein breites Typen- und Variantenspektrum ein entsprechender Modularer Baukasten. Dabei diente das in **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** 1 gezeigte Grobkonzept als Basis.

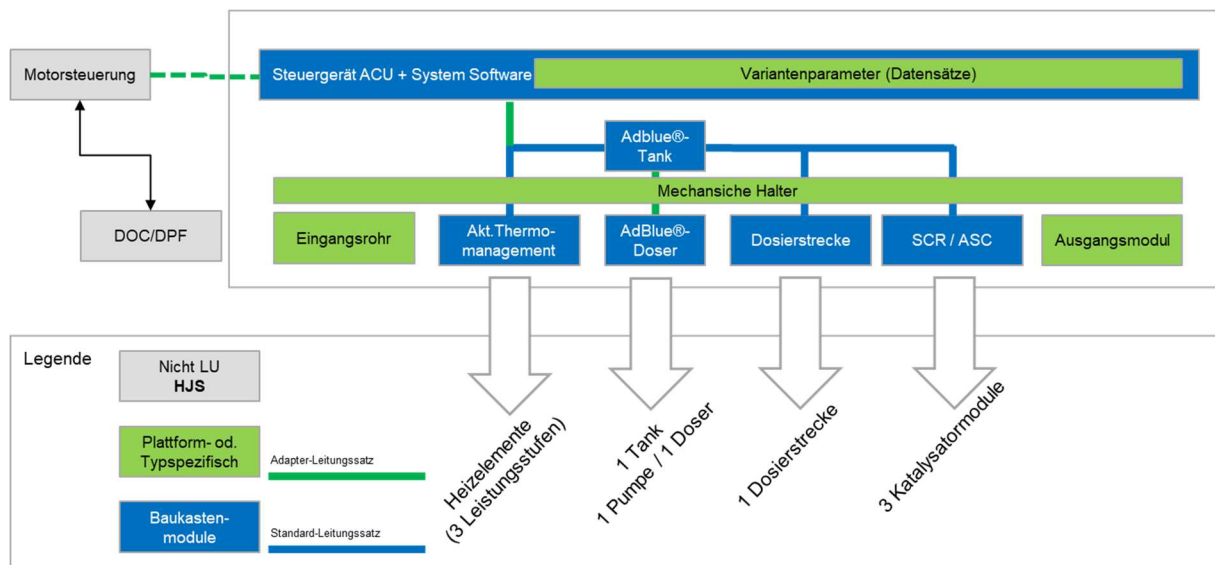


Abbildung 3: Grobkonzept des modularen Baukastens für Abgasbehandlungs-Nachrüstsysteme für leichte und schwere Handwerkerfahrzeuge

Das zu Grunde liegende Grobkonzept wurde verfeinert und mit zuvor ermittelten geometrischen Bau- raumvoraussetzungen der sechs Fahrzeug-Basisplattformen in Deckung gebracht. Dazu wurden entsprechende Gemeinsamkeiten der Bauraumvoraussetzungen identifiziert und anschließend die funktionalen Kernkomponenten (Module und (Sub-) Systeme) der Abgasnachbehandlung standardisiert und entwickelt. Diese Kernkomponenten sind:

- In drei Stufen schaltbares Heizelement
- Standardisierte AdBlue-Tanks
- Katalysator mit vorgeschalteter Mischstrecke inkl. Mischer und Flansch zur Aufnahme des Injektors
- Universeller Hauptkabelbaum
- Relaisplatte zur Ansteuerung des Heizelements.

Bezogen auf die sechs Basisplattformen und deren zugehörige Varianten wurden darauf aufbauend individuelle Eingangs- und Ausgangsverrohrungen sowie die jeweils notwendigen mechanischen Halterungen inklusive Positionierung für das Baukastensystem erarbeitet und realisiert (Abbildung 4).



Abbildung 4: Darstellung des Baukastensystems mit Eingangs- und Ausgangsverrohrungen in der Reihenfolge MB Sprinter, VW T5, Renault Master, MB Vito, Fiat Ducato, Ford Transit (von oben nach unten)

B. Systemintegration

Die Einbauorte und- möglichkeiten des gesamten SCR-Systems mit den einzelnen Komponenten hängen dabei von den Gegebenheiten der jeweiligen Basisplattform ab, sodass im Projekt für jede Plattform geeignete Lösungen ausgearbeitet werden mussten. Abbildung 5 zeigt die Systemübersicht des Einbaus im Fahrzeug am Beispiel des MB-Sprinters.

- 1 SCR Katalysator
- 2 Steuergerät NOx Sensoren
- 3 Anschluss Luftmassenmesser (OE)
- 4 ACU
- 5 Inducement Relais
- 6 AdBlue®-Tank
- 7 Anschluss Ladedrucksensor (OE)
- 8 AdBlue® Einfüllstutzen
- 9 Anschluss Sicherungskasten
- 10 Service Display
- 11 Relaisplatte LDV
- 12 Anschluss Batterie
- 13 Temperatursensor nach CRT
- 14 Temperatursensor vor SCR
- 15 Temperatursensor nach SCR
- 16 NOx-Sensor vor SCR
- 17 NOx-Sensor nach SCR
- 18 AdBlue®-Injektor
- 19 Drucksensor
- 20 Endwiderstand

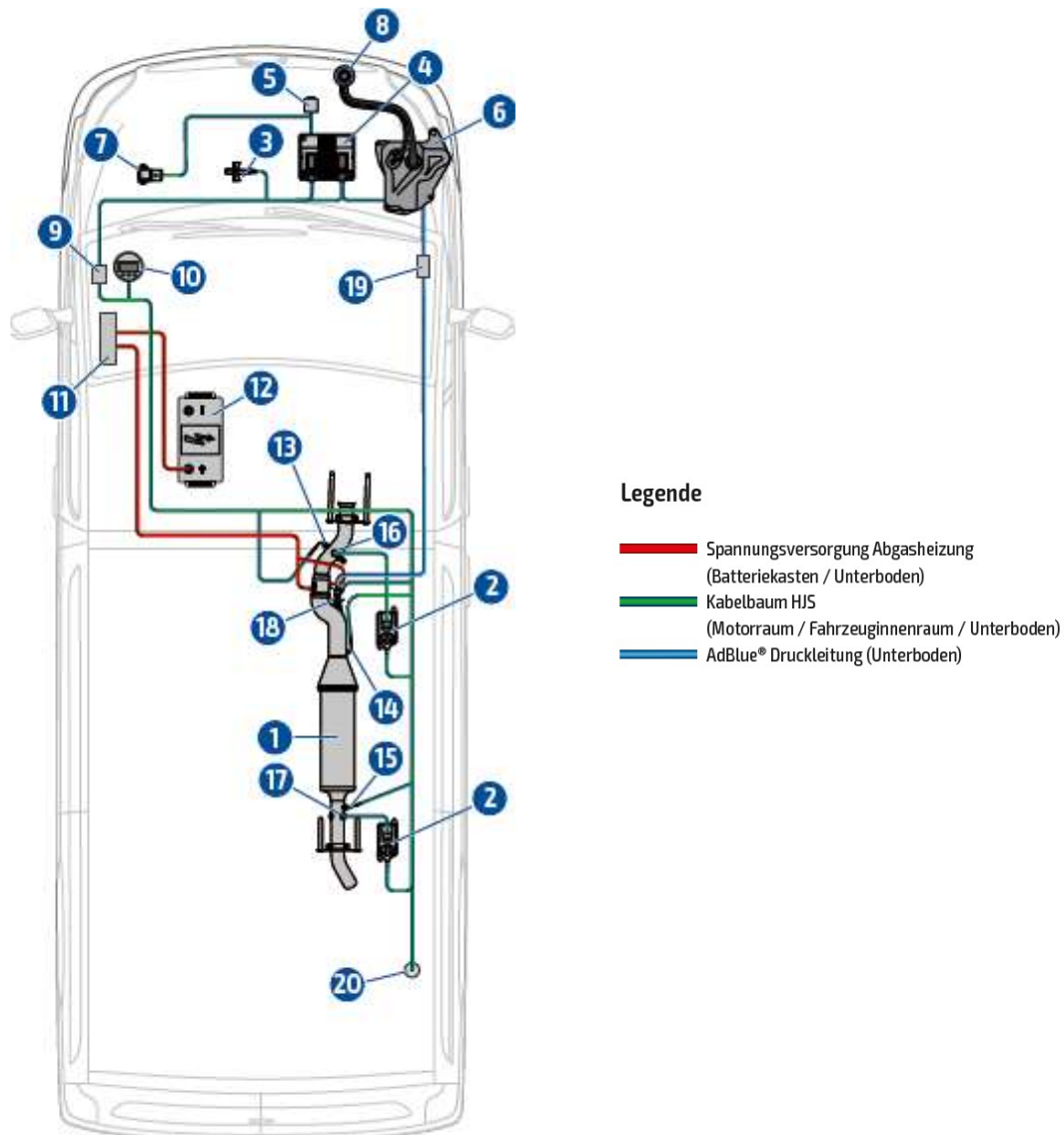


Abbildung 5: Systemübersicht des Einbaus im Fahrzeug (Beispiel MB Sprinter)

C. Steuerungsarchitektur

Neben den geometrischen Belangen der Bauraumsituation zur Positionierung von Katalysator und Peripherie spielt die Steuerungsarchitektur eine entscheidende Rolle. Um gemäß dem anvisierten Baukastenansatz eine möglichst modularisierte Softwarearchitektur und –parametrisierung der Abgasnachbehandlung zu realisieren, die eine funktionsfähige Steuerungsinteraktion zwischen Fahrzeugsteuerung und ACU ermöglichen, waren vertiefte Kenntnisse über die fahrzeugseitigen Signalabläufe erforderlich. Naheliegenderweise war diesbezüglich geplant, mit dem fahrzeugeigenen BUS-System über die CAN-Schnittstelle zu kommunizieren.

Daher wurde damit begonnen, an den jeweiligen Fahrzeugen Signale aus dem CAN-System hinsichtlich ihrer Nutzbarkeit für die Verwendung in der Steuerung der Abgasnachbehandlung zu analysieren. Diese Arbeiten gestalteten sich (wie erwartet) hoch komplex sowie aufwendig und wurden von Herstellerseite nicht unterstützt. Während der Arbeiten und den geführten Gesprächen mit den Herstellern stellte sich dabei neben der hohen Gesamtkomplexität noch ein weiteres erhebliches technisches

Risiko für die Realisierung eines langlebigen Abgasbehandlungsnachrüstsystems mit konstant guten Abgasreinigungseigenschaften heraus. So ist es offensichtlich nicht ausgeschlossen, dass über Softwareupdates die internen Signalabläufe im fahrzeugproprietären CAN-Bus-System geändert werden. Ein solcher Sachverhalt birgt die große Gefahr, dass die Nachrüsteinheit zur Abgasnachbehandlung dadurch an Performanz oder sogar seine volle Funktion einbüßt.

Daher beschäftigte sich das Projektteam intensiv mit der Prüfung und Erarbeitung eines alternativen Signal- und Datenverarbeitungskonzeptes, das unabhängig von Softwareupdates der OEM-Hersteller seine Funktionalität bewahrt. Erfreulicherweise konnte für die adressierte Fahrzeugklasse tatsächlich ein solches Konzept erarbeitet werden. Dieses sieht im Groben vor, den Luftmassenmesser auszulesen und darüber hinaus eine neue Schnittstelle zum Ladeluftdrucksensor zur Realisierung des Inducements unter Nutzung eines vorhandenen Fehlerpfades zu schaffen.

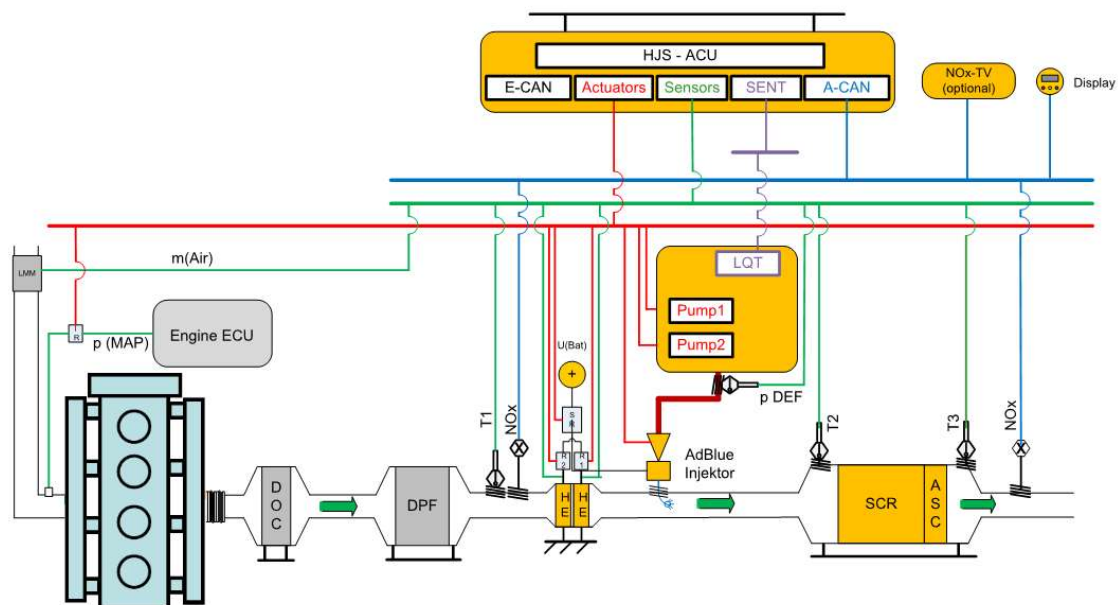


Abbildung 6: Signallaufplan des neu entwickelten Eingriffskonzeptes der nachrüstbaren Abgasnachbehandlung (Systemumfang HJS in Gelb)

Nach ersten Machbarkeitstests stellte sich dieses Konzept als vielversprechend, praktikabel und umsetzungswürdig heraus und wurde in der Folge entwicklungstechnisch detailliert und ausgearbeitet. Es beruht auf folgenden grundlegenden Schritten:

- 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 am eigens dafür entwickelten 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.

Alle oben aufgeführten Schritte wurden einzeln sowie im Zusammenspiel im Labor und an den ersten beiden Pilotfahrzeugen (Transporter und Sprinter) getestet. Das Konzept erwies sich als tragfähig und geeignet, um die gestellten Anforderungen zu erfüllen.

Das Konzept wurde mit dem Ziel entwickelt, möglichst autark, also vom Fahrzeug unabhängig, zu arbeiten. Die wesentlichen Größen zur Steuerung des SCR-Systems werden daher durch eigene Sensoren (Temperatur und NO_x) ermittelt. Die einzige Größe, die vom Fahrzeug abgegriffen wird, ist die Luftmasse. Dieses Signal wird direkt am Luftmassenmesser abgegriffen. Um aus dem Rohsignal (Frequenz oder Spannung) die eigentliche Luftmasse zu generieren, muss die Kennlinie des Luftmassenmessers ermittelt werden. Hierzu muss die komplette Luftstrecke des Fahrzeugs (Luftfilterkasten und Verrohrung inkl. Luftmassenmesser) auf einem Strömungsprüfstand installiert und das Rohsignal über dem eingestellten Luftmassenstrom aufgezeichnet werden. In einigen Fällen ist zudem ein späterer Feinabgleich über die OBD-Schnittstelle erforderlich, um die für hohe NO_x-Umsatzgrade erforderliche Genauigkeit zu erhalten. Da alle Fahrzeuge, z. T. auch innerhalb der definierten Plattformen, unterschiedliche Luftmassenmesser verbaut haben, ist dieser Aufwand bei jeder neuen Applikation bzw. jedem noch nicht vermessenen Luftmassenmesser zu betreiben.

Zur Absicherung des Inducement-Konzepts wurde bei allen Fahrzeugen geprüft, wie sie auf das Fehlen des Ladedrucksensorsignals reagieren. Zum einen muss das Fahrzeug in den Notlauf gehen, zum anderen muss der Fehler „geheilt“ werden, wenn das Signal wieder vorhanden ist.

Zur Realisierung des Konzepts waren auch auf der Steuergeräte-Seite einige Anpassungen vorzunehmen. So wurden auf Basis der zur Ansteuerung und Überwachung des Systems erforderlichen Ein- und Ausgangssignale die Ein- und Ausgänge an der ACU entsprechend konfiguriert. Diese Konfiguration erfolgte durch Softwareanpassungen auf der Low-Level-Ebene. Darüber hinaus musste eine SENT-Schnittstelle neu implementiert werden, um die Signale der AdBlue-Pumpe einlesen und verarbeiten zu können. Die Implementierung der SENT-Schnittstelle bedeutete zum einen eine Hardware-Änderung und zum anderen einen zusätzlichen umfangreichen Bedatungsaufwand, um die Signale korrekt erfassen zu können.

Die so erarbeitete Softwarebasis für alle Basisplattformen und Varianten ist in (Abbildung 7) dargestellt

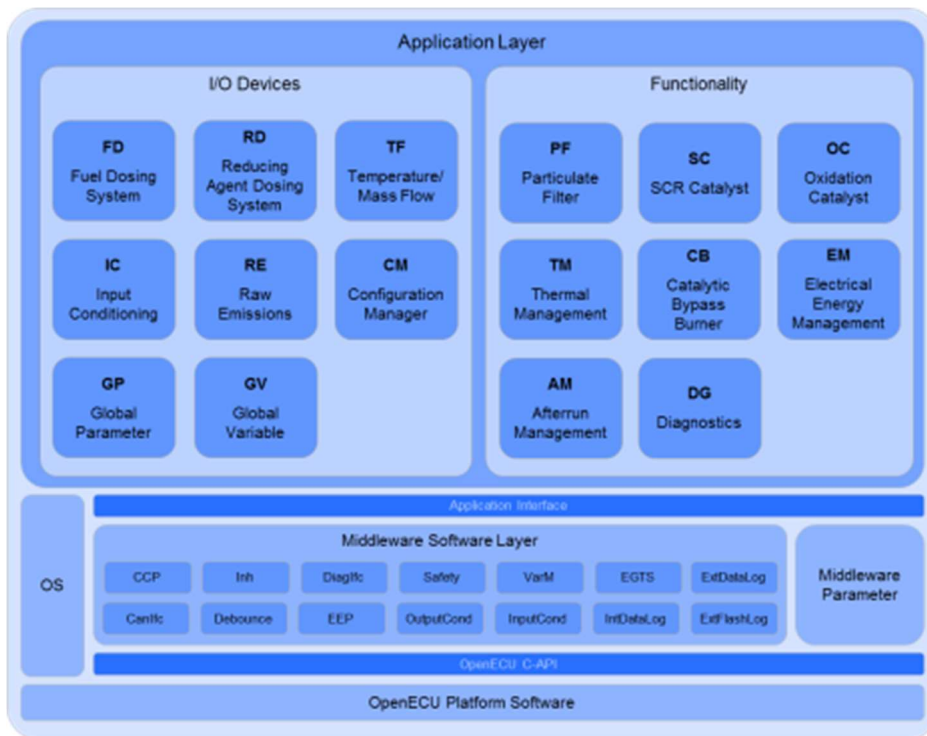


Abbildung 7: Aufbau der Softwarebasis

Sonderfunktionen

Das Modul zur Ansteuerung des zweistufigen Heizelements musste hierzu neu entwickelt und implementiert werden. Hierbei war entscheidend, dass die Ansteuerung der einzelnen Heizstufen in Abhängigkeit von Temperatur, Abgasmasse und Bordnetzspannung erfolgen kann. Die Ein- und Ausschaltgrenzen sind bei jedem Fahrzeug zu überprüfen und ggf. anzupassen. Bei zu geringen Einschaltzeiten könnte die Systemperformance unzureichend sein, zu hohe Einschaltzeiten schlagen beim Kraftstoffverbrauch negativ zu Buche und belasten das Bordnetz.

Ein weiteres individuell zu bedatendes Modul stellt das Speichermodell dar. Hier geht es sowohl um die anzustrebenden Speicherfüllstände als auch um die Reglerdynamik bei Änderung des Speicherfüllstands. Ist der Regler zu träge, kann es beispielsweise zu NH_3 -Schlupf kommen. Ist er hingegen zu spontan, kann sich dies negativ auf den NO_x -Umsatz auswirken. Das Herausfahren des optimalen Reglerverhaltens erfordert umfangreiche Fahrerprobungen.

Das Umsatzverhalten des Katalysators wird im Wesentlichen in den Effizienzkennfeldern abgebildet. Die dort hinterlegten Werte bleiben in der Regel unverändert, müssen aber bei jeder Neuapplikation überprüft werden.

Die Fotos zeigen die SCR-Anlage, den AdBlue-Tank, das Steuergerät (ACU) und die Relaisplatte (teilweise beide Komponenten gemeinsam) sowie das Anzeigemodul.



SCR-Anlage



AdBlue-Tank vorne rechts hinter dem Stoßfänger



Steuergerät



Relaisplatte



Anzeige auf dem Armaturenbrett

Abb. 38: Einbau des Systems in einen MB-Sprinter

III. Umsetzung & Wirksamkeit bei Kommunalfahrzeugen der Generation Euro IV/V

A. Konzept

Der HJS Systembaukasten MoBaNox-K-S bietet Lösungen für Kommunalfahrzeuge auf Basis der Fahrzeuge Mercedes Benz Econic, Actros, Atego sowie IVECO Eurocargo und Stralis.

Das Baukastensystem basiert auf der Verwendung geeigneter AGN-Komponenten, um für das jeweilige Fahrzeug die Anforderungen an die Emissionen und die NOx-Minderung einhalten zu können. Die Anforderungen für das jeweilige Fahrzeug ergeben sich aus der Motoremission als Eingangsgröße und den vorgegebenen Zielemissionen.

Ansätze sind:

- Hardwareanpassungen: Auswahl der Hardware/Bauteilgröße, um den Bauraum einhalten zu können
- Funktionsanpassungen: Verwendung geeigneter Substratbeschichtungen für Funktionsanpassungen der Komponenten
- Applikationsanpassungen: Ggf. Integration eines elektrischen Heizers für optimale Temperaturbedingungen und Auswahl des Dosierungs- und Mischsystems - Softwareanpassungen über die ACU.

Indem geeignete Hardware-Komponenten des Baukastensystems kombiniert und durch die Software optimale Bedingungen für die Katalysatoren eingestellt werden, kann die Abgasnachbehandlung effizient realisiert werden und das System möglichst kostengünstig umgesetzt werden.

B. Systemintegration & Varianten

Die Kernkomponenten des Baukastensystems, die für die Abgasnachbehandlung festgelegt wurde, sind dabei:

- Dieseloxydationskatalysator (DOC) mit katalytischer Beschichtung, basierend auf keramischen Substraten (Cordierit),
- Dieselpartikelfilter (DPF), basierend auf keramischen Substraten (Cordierit, SiC), zum Teil mit katalytischer Beschichtung,
- bedarfsweise Thermomanagement durch elektrischen Heizkatalysator vor dem DOC (neu),
- SCR-Dosierkomponenten (original oder neu), - Mischstrecke/Mischerrohrbogen (neu),
- - SCR-Katalysator (neu)
- Temperatur-, Gegendruck- und Stickoxidsensorik (original und teilweise zusätzlich neu), - HJS-Steuergerät/ACU,
- AdBlue-Tank inklusive Füllstandsmessung und -anzeige mit dazugehöriger Peripherie (original oder neu).

Für die Integration in das Fahrzeug sind weiterhin folgende Komponenten, angepasst an die jeweiligen Bedingungen des ausgewählten AGN-Systems und das Fahrzeug, erforderlich:

- Kabelbaum
- Eingangs- und Ausgangsverrohrungen,
- mechanische Verbindungen

Die folgenden Abbildungen zeigen den Systemumfang auf Basis des MB Econic:

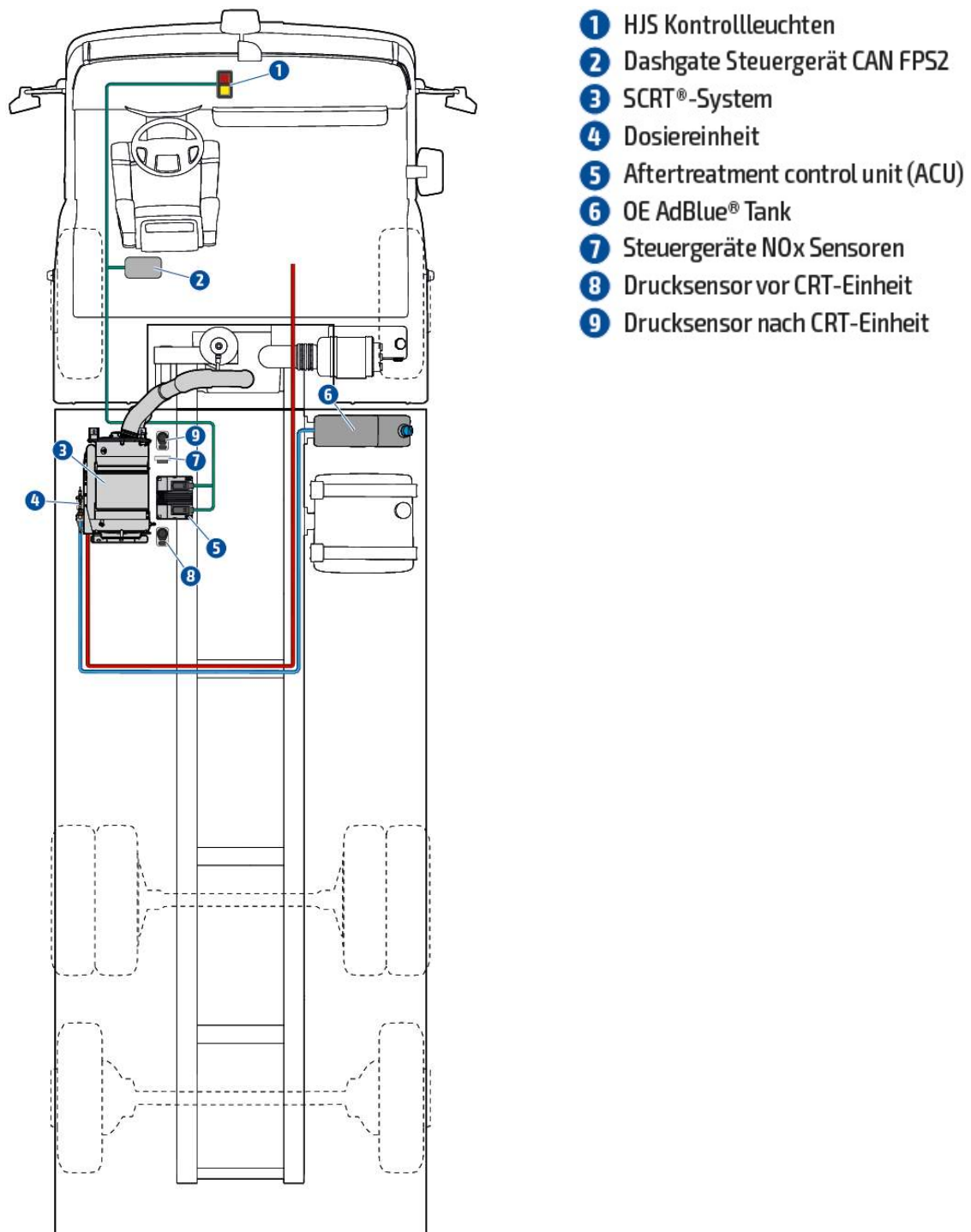
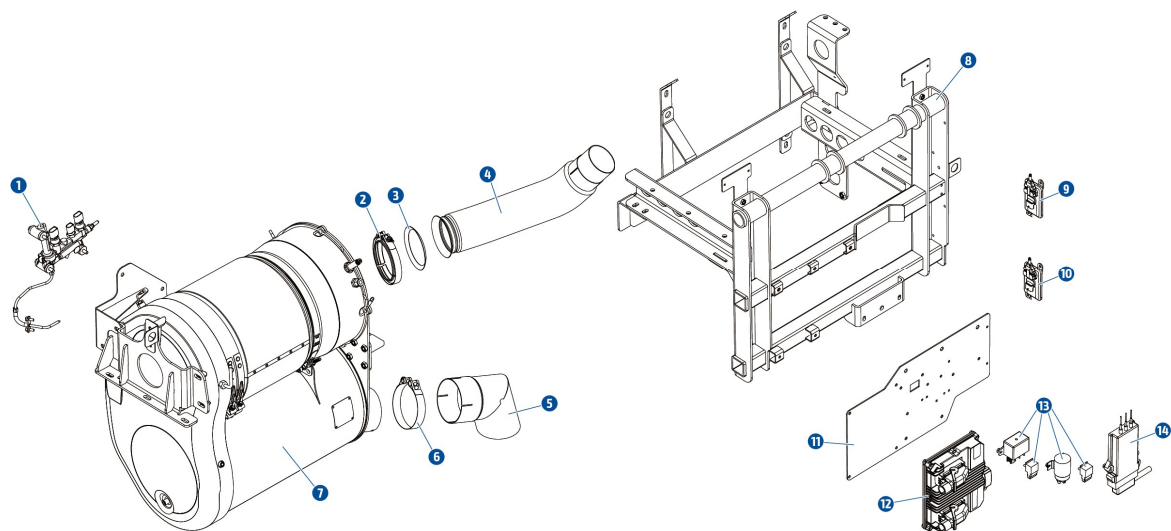


Abbildung 8: Integration des AGN-Systems in den Mercedes-Benz Econic



	Bauteil	Beschreibung
1	AdBlue Dosiereinheit OE	Originalteil wird weiter verwendet
2	Kugelschelle	Ø 130
3	Dichtung Kugelflansch	Ø 127 x 8,6
4	Eingangsrohr	integralisiert
5	Ausgangsrohr	geschlitz
6	Schelle Ausgangsrohr	Ø 124 mm
7	HJS SCRT 54	Kompaktsystem
8	Systemhalter	zur Aufnahme des SCRT-Systems
9	NOx - Sensor	
10	NOx - Sensor OE	Originalteil wird weiter verwendet
11	Halteplatte	zur Aufnahme der Elektronik Komponenten
12	Steuergerät ACU	
13	Leistungselektronik	zur Steuerung des Thermomanagement

Abbildung 9: Übersicht der Komponenten des AGN-Systems für den Mercedes-Benz Econic

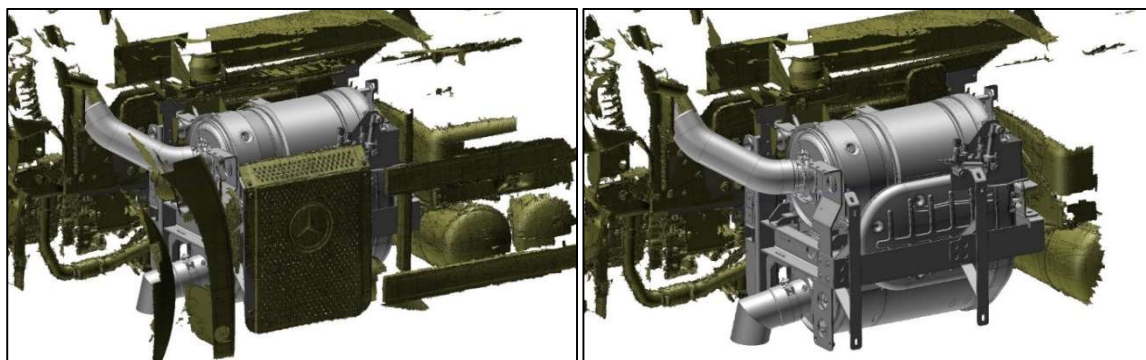


Abbildung 10: Darstellung der Integration des AGN-Systems in den Econic

Darauf basierend wurden folgende Varianten des Systems konzipiert:

Variante 1 – Mercedes-Benz Econic:

System mit neuem SCR und Verwendung der Original SCR-Dosierkomponenten mit zusätzlichem Thermomanagement.

Es wurde ein Hardware-Konzept ausgearbeitet, um das Original-Abgasnachbehandlungssystem durch eine neue Nachrüstlösung mit verbesserter NOx-Minderung zu ersetzen. Dabei wurde festgelegt, dass die OE-Dosierkomponenten, die Sensorik sowie der AdBlue Tank inklusive Füllstandsmessung und –anzeige des Originalsystems verwendet werden sollten. Auch die Sensorik für die NOx-Überwachung sollte weiterverwendet werden.

Beim SCR handelt es sich in diesem Fall um einen Katalysator auf Basis von Vanadium mit großem Volumen, der prinzipiell für eine hohe NOx-Minderung geeignet ist, für den jedoch eine optimierte Speicherregelung konzipiert werden musste, um die Abgasgrenzwerte einhalten zu können. Ein geeigneter DOC mit DPF wurde vorgesehen.

Als eine weitere wichtige Komponente der neuen Hardware sollte ein Heizkatalysator für Thermomanagementmaßnahmen bei Fahrprofilen mit niedriger Motorlast eingesetzt werden, um die Abgastemperatur bei Bedarf zu erhöhen und die NOx-Minderung des SCR-Systems in diesen Phasen deutlich zu verbessern.

Schwerpunkt der folgenden Arbeiten war die Optimierung des Speichermodells für den Vanadium-basierten SCR-Katalysator und die Heizkatalysatoransteuerung. Die Hardwarekomponenten inklusive SCRT und Heizkatalysator wurden festgelegt und das System für den Econic konzipiert (Abbildung 11).

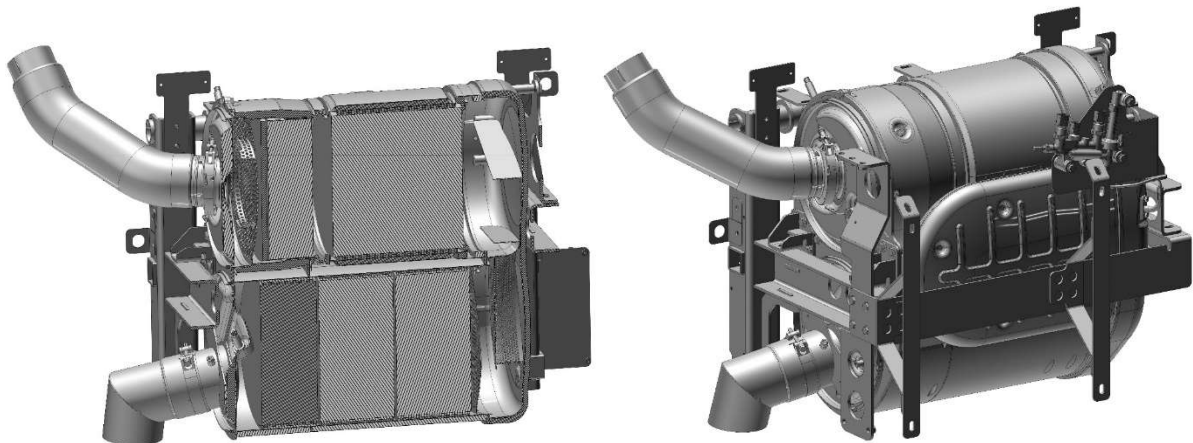


Abbildung 11: Variante 1/Econic – AGN-System mit neuem SCRT und Heizkatalysator.

Variante 2 – Mercedes-Benz Actros und Atego:

System mit neuem SCRT und Verwendung der Original-SCR-Dosierkomponenten, jedoch ohne zusätzliches Thermomanagement.

Auch für diese Variante wurde das Hardware-Konzept für die Nachrüstlösung erstellt. Das Konzept sieht ebenfalls die Verwendung der OE-Dosierkomponenten, der Sensorik sowie des AdBlue-Tanks inklusive Füllstandsmessung und –anzeige des Originalsystems vor. Auch die Sensorik für die NOx-Über-

wachung sollte weiterverwendet werden. Auch diese Variante basiert auf einem DOC mit DPF. Im Unterschied zu Variante 1 konnte für diese Modelle auf einen Heizkatalysator für ein zusätzliches Thermomanagement verzichtet werden. Die Hardwarekomponenten wurden festgelegt und die AGN-Systeme für die Modelle Actros und den Atego konzipiert

Der prinzipielle Aufbau stimmt dabei überein, jedoch mussten zwei unterschiedliche Hardware-Systeme mit jeweils geeignetem SCR ausgearbeitet werden:

Beim Actros kam ein SCR-Katalysator auf Vanadium-Basis mit großem Volumen zum Einsatz, der prinzipiell eine hohe NO_x-Minderungsleistung ermöglicht. Um diese effizient nutzen zu können, war jedoch wie bei Variante 1 weiterhin ein optimiertes Speichermodell erforderlich. Somit konnte schließlich auf ein zusätzliches Thermomanagement verzichtet werden.

Beim Atego wurde ein Cu-Zeolith-SCR-Katalysator mit kleinem Volumen eingesetzt. Zu berücksichtigen war jedoch, dass es sich mit einem Gesamtgewicht von 3,5 – 12 t um ein Fahrzeug der Klasse N2 handelt, so dass hier andere Anforderungen gelten als für den Actros.

Auch in diesem Fall konnte durch ein optimiertes Speichermodell auf ein zusätzliches Thermomanagement verzichtet werden.

Schwerpunkt war demnach ebenfalls die Optimierung des Speichermodells. Der konzipierte Aufbau für die beiden Modelle ist in Abbildung 12 dargestellt.

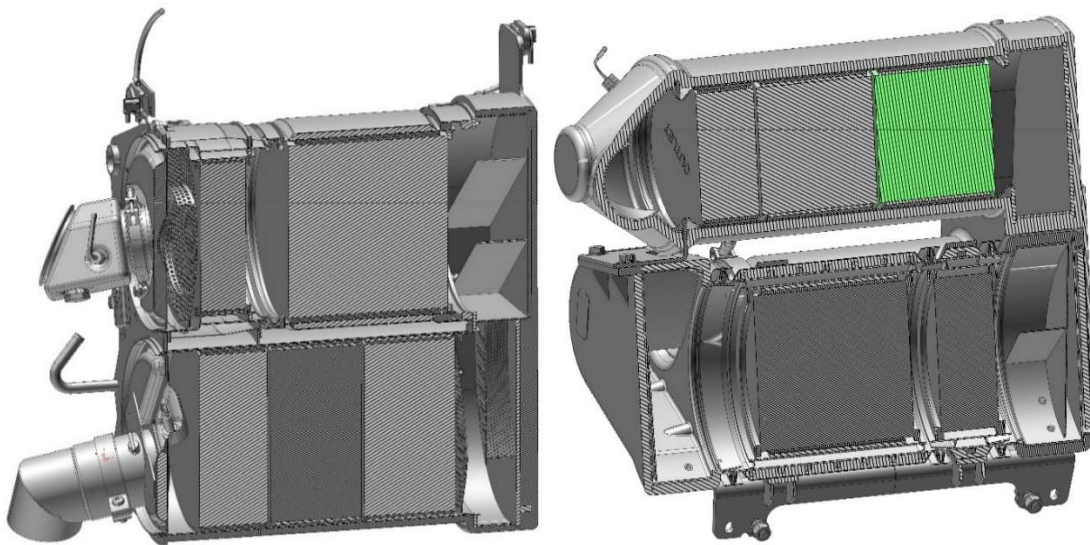


Abbildung 12: Variante 2/Actros und Atego – AGN-System mit neuem SCRT.

Variante 3 – IVECO:

System mit neuem SCRT unter der Verwendung neuer Dosierkomponenten. Auch für die Nachrüstung mit Variante 3 wurde das Hardware-Konzept erarbeitet. Das Original Dosiersystem mit integrierter Steuerung wurde durch ein durch HJS validiertes Dosiersystem, inklusive neuem Tank, Sensorik und Einspritzsystem, mit Nachrüststeuergerät (ACU) ersetzt.

In diesem Fall wurden, nach dem gleichen Prinzip, geeignete Hardware-Systeme für die Modelle Eurocargo und Stralis konzipiert. Analog zum Mercedes-Benz Atego bestand hier der Ansatz ebenfalls in

einem CU-Zeolith-SCR und einem optimierten Speichermodell, mit dem die Erhöhung der NO_x-Minderungsleistung ohne zusätzliches Thermomanagement realisiert werden sollte. Abbildung 13 zeigt den konzipierten Aufbau der Systeme für den Eurocargo und den Stralis. IVECO Eurocargo IVECO Stralis

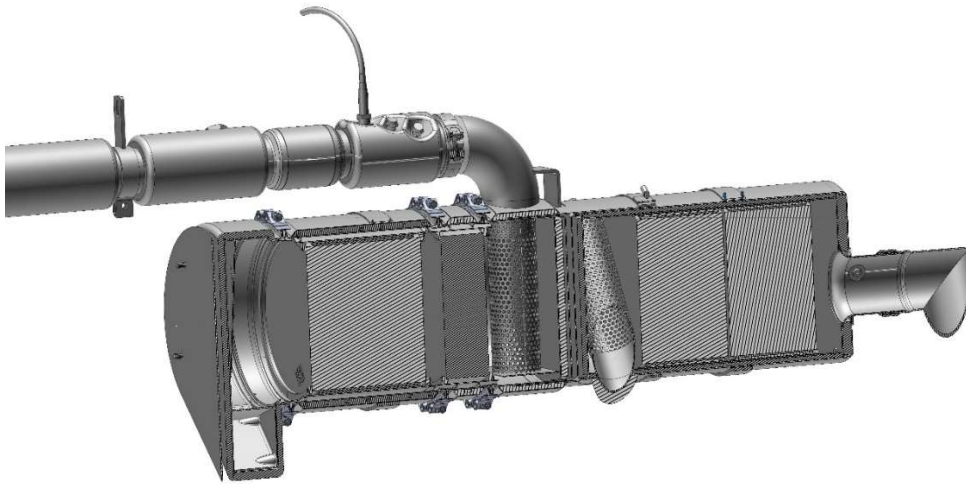


Abbildung 13: IVECO Eurocargo - AGN-System mit neuem SCRT und Verwendung neuer HJS-Dosierkomponenten.



Abbildung 14: IVECO Stralis - AGN-System mit neuem SCRT und Verwendung neuer HJS-Dosierkomponenten.

Um die neuen AGN-Systeme in die Fahrzeuge integrieren zu können, waren geeignete Eingangs- und Ausgangsverrohrungen sowie mechanische Halterungen erforderlich. Bei der Ausarbeitung wurden die Fahrzeugtypen sowie ihre Varianten berücksichtigt. Um diese Komponenten konstruieren zu können, wurde unter anderem auf die Bauraumscans zurückgegriffen

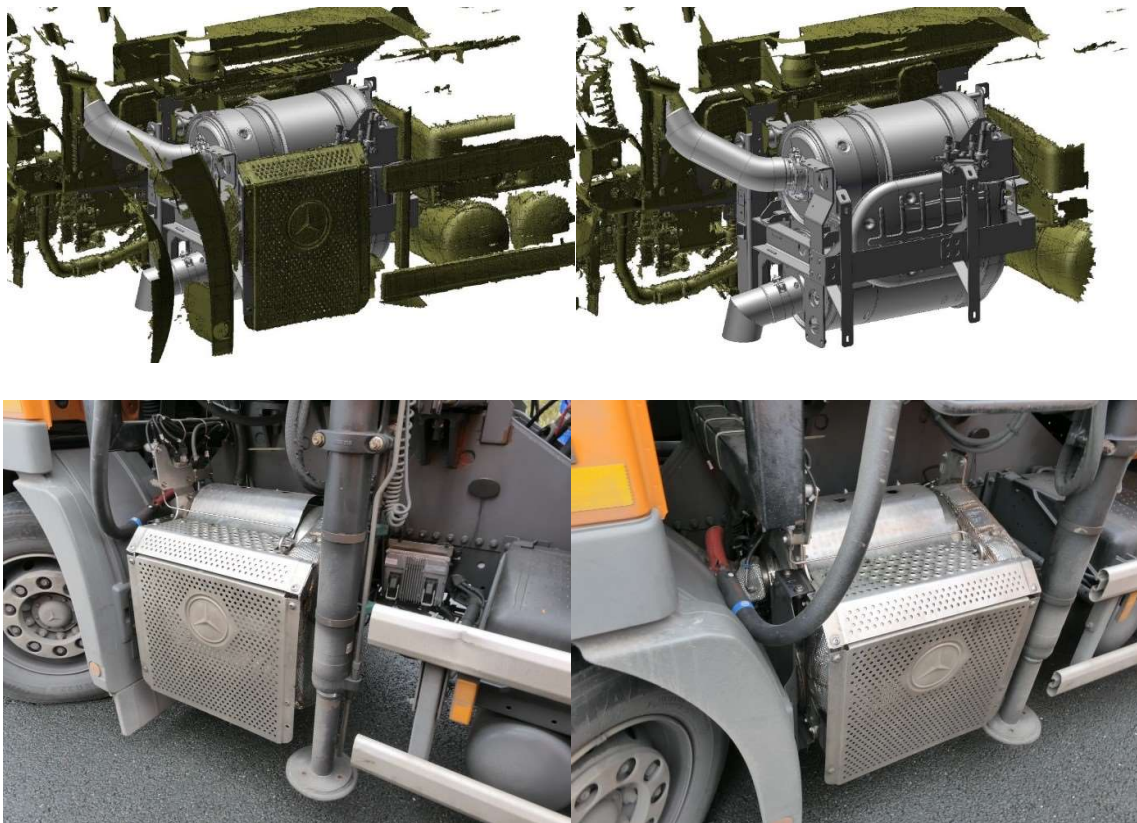


Abbildung 15: Integration des Nachrüstsystems in den MB Econic auf Basis von Scan-Daten

D. Systemsteuerung (Software)

Die Software wurde nach dem Ansatz eines Baukastensystems ausgearbeitet. Hierfür wurde eine Standardisierung des Softwarelayouts mit individueller Kennfeldparametrisierung verfolgt. Die NOx-Überwachung und die Überwachung des AdBlue-Tanks inklusive Füllstandmessung und -anzeige sollten beim Fahrzeugsteuergerät verbleiben. Gemeinsame Funktionen der neuen ACU waren die Überwachung der Funktionalitäten des SCR und des DOC/DPF, sowie die Dosiermengenberechnung und -freigabe.

Für die unterschiedlichen Varianten war eine Bedatung mit den jeweiligen Katalysatordaten und Funktionen erforderlich, die über entsprechende Softwaremodule realisiert wurde. Zudem mussten, je nach Variante, die zusätzlichen Komponenten und Sensoren, wie der Heizkatalysator bei Variante 1 und das neue Dosiersystem bei Variante 3, überwacht und angesteuert werden.

Variante 1 – Mercedes-Benz Econic:

System mit neuem SCR und Verwendung der Original SCR-Dosierkomponenten mit zusätzlichem Thermomanagement.

Um das Original-Abgasnachbehandlungssystem durch die Nachrüstlösung ersetzen zu können, wurde folgende Funktionen und Eigenschaften realisiert:

- die Steuerung basiert auf der Verwendung der OE-Dosierkomponenten, der Sensorik, des AdBlue-Tanks inklusive Füllstandsmessung und -anzeige,

- die elektrische Diagnose der OE-Komponenten sowie Funktionsüberwachung (z. B. AdBlue Füllstand) verbleibt beim Fahrzeugsteuergerät und im Fahrzeugdashboard,
- die NOx-Überwachung verbleibt beim Fahrzeugsteuergerät,
- die Dosiermengenberechnung und -freigabe wird von dem neuen HJS-Steuergerät übernommen,
- die Überwachung des DPF und der zusätzlichen Komponenten erfolgt durch das HJS-Steuergerät; die Anzeige erfolgt mittels zweier Lampen,
- weiterhin wurde das Thermomanagement basierend auf dem Heizkatalysator für Fahrprofile mit niedriger Motorlast softwareseitig ausgearbeitet und in die ACU integriert. Der Vergleich von altem und neuem Softwarelayout ist in Abbildung 16 und Abbildung 17 dargestellt.

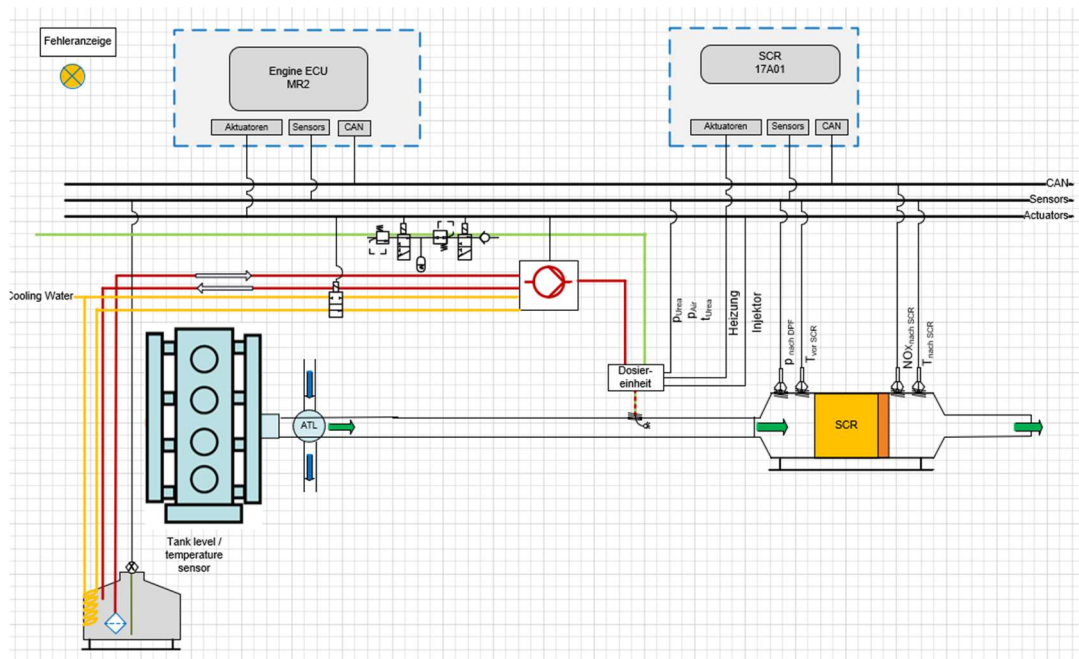
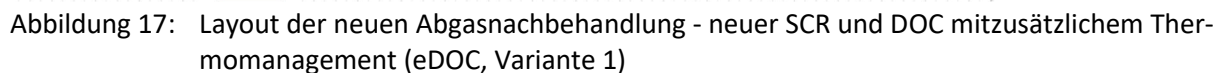


Abbildung 16: Layout OE-Abgasnachbehandlung - Varianten 1 (Econic) und 2 (Actros und Atego)



System mit neuem SCR und Verwendung der Original-SCR-Dosierkomponenten, jedoch ohne zusätzliches Thermomanagement.

Dies wurde durch folgende Ansätze ermöglicht:

- für die beiden unterschiedlichen Fahrzeuge war es unumgänglich, unterschiedliche Katalysatoren einzusetzen und die Beschichtung an die Applikation anzupassen (Vanadium und Cu-Zeolith), um die Herstellungskosten zu reduzieren. Die Katalysatoren waren entsprechend den Funktionen unterschiedlich im Steuergerät zu bedaten,
- es wurde eine funktionelle Verbesserung des Ammoniakspeichermodells erzielt, das NO_x-Durchbrüche bei starken Lastwechseln minimiert,
- die Abstimmung von DOC und SCR-Katalysator wurde verbessert, sodass NO₂- Durchbrüche bei niedrigen Abgasmassenströmen vermieden werden.
- Auch hierfür wurde eine Steuerung ausgearbeitet, mit der folgende Eigenschaften wie auch bei Variante 1 realisiert wurden:
 - die Steuerung basiert auf der Verwendung der OE-Dosierkomponenten, der Sensorik, des AdBlue-Tanks inklusive Füllstandsmessung und –anzeige,
 - die elektrische Diagnose der OE-Komponenten sowie Funktionsüberwachung (z. B. AdBlue Füllstand) verbleibt beim Fahrzeugsteuergerät und im Fahrzeugdashboard,

- die NOx-Überwachung verbleibt beim Fahrzeugsteuergerät, - das Speichermodell wurde den jeweiligen Anforderungen entsprechend angepasst,
- die Dosiermengenberechnung und -freigabe wird von dem neuen HJS-Steuergerät übernommen, - die Überwachung des DPF und der zusätzlichen Komponenten erfolgt durch das HJS-Steuergerät; die Anzeige erfolgt mittels zweier Lampen. Abbildung 18 zeigt das Layout für diese Variante.

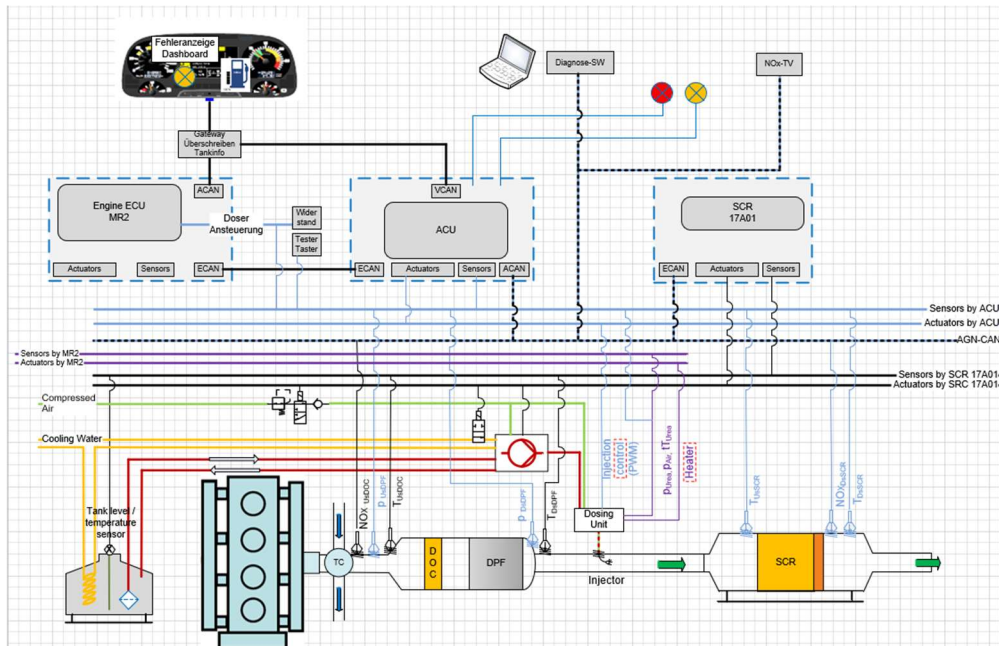


Abbildung 18: Layout der neuen Abgasnachbehandlung ohne zusätzliches Thermomanagement (Variante 2)

Variante 3 – IVECO:

System mit neuem SCR unter der Verwendung neuer HJS Dosierkomponenten. Auch für die Nachrüstung mit Variante 3 wurden neue Steuerungsfunktionen erarbeitet.

Abbildung 19 zeigt das Original-Layout, Abbildung 20 das der neuen Nachrüstlösung.

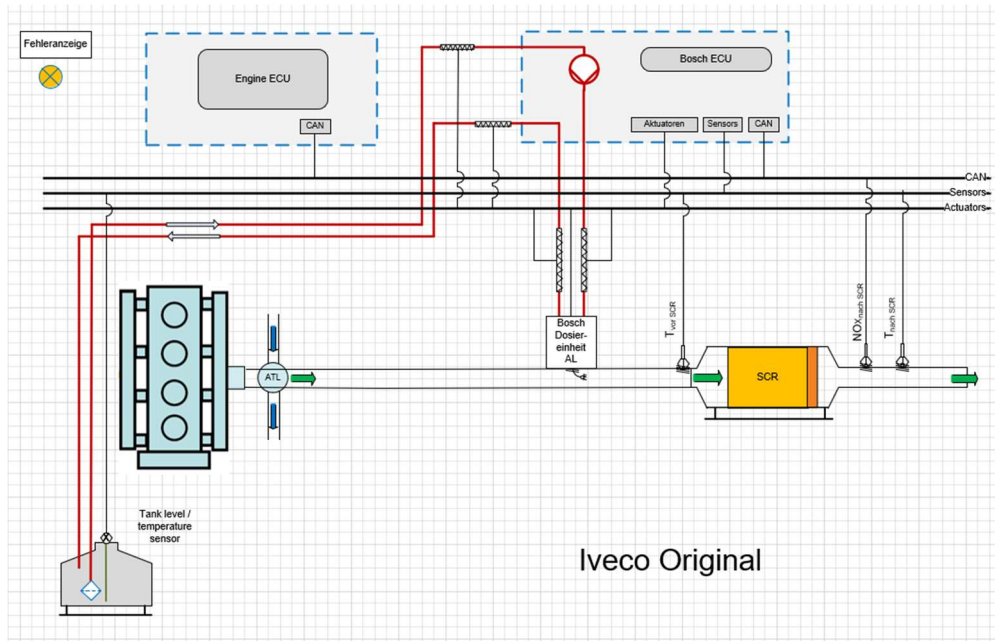


Abbildung 19: Layout OE-Abgasnachbehandlung mit SCR (Variante 3, IVECO)

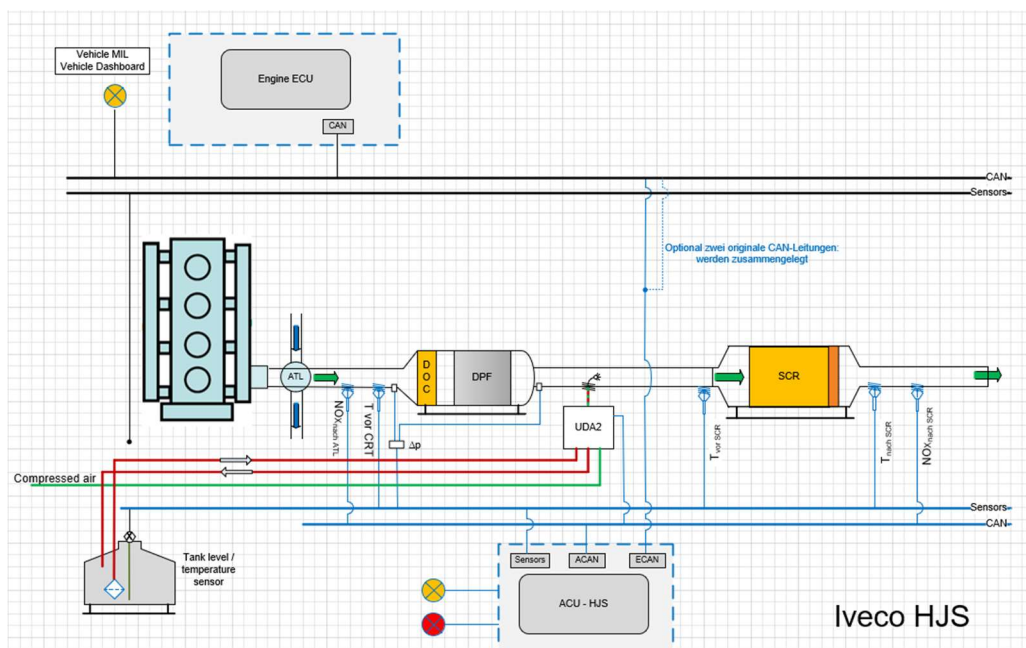


Abbildung 20: Layout der neuen Abgasnachbehandlung (Variante 3, IVECO)

Folgende Eigenschaften wurden realisiert:

- Für die beiden unterschiedlichen Fahrzeuge wurden unterschiedliche Katalysatoren verwendet, die entsprechend den Funktionen unterschiedlich im Steuergerät zu bedaten waren.
- Das Speichermodell wurde entsprechend angepasst.

- Das Original Dosiersystem mit integrierter Steuerung wird durch das HJS-Dosiersystem mit Nachrüststeuergerät (ACU) ersetzt. Dieses Nachrüstdosiersystem ermöglicht eine bessere Ad-Blue-Sprayverteilung, sodass höhere Dosiermengen auch im niedrigen Temperaturbereich möglich sind.
- Die Dosiermengenberechnung und -freigabe wird von dem HJS-Steuergerät übernommen.
- Die Überwachung der Abgasnachbehandlungskomponenten erfolgt durch das HJS-Steuergerät; die Anzeige erfolgt mittels zweier Lampen

E. Systemleistung

Anhand der umgerüsteten Versuchsfahrzeuge wurden umfangreiche Fahrzeuguntersuchungen durchgeführt. Für die Bewertung der Performance der Abgasnachbehandlungssysteme wurden ISC-Testfahrten mit den Fahrzeugen unternommen und die NO_x-Werte vor und nach SCR-Behandlung aufgezeichnet und verglichen. Um die Ergebnisse bewerten zu können, wurden unter anderem die Motordrehzahl, die Abgasmasse sowie die Abgastemperatur erfasst und ausgewertet.

Anhand der umgerüsteten Versuchsfahrzeuge wurden umfangreiche Fahrzeuguntersuchungen durchgeführt. Für die Bewertung der Performance der Abgasnachbehandlungssysteme wurden ISC-Testfahrten mit den Fahrzeugen unternommen und die NO_x-Werte vor und nach SCR-Behandlung aufgezeichnet und verglichen. Um die Ergebnisse bewerten zu können, wurden unter anderem die Motordrehzahl, die Abgasmasse sowie die Abgastemperatur erfasst und ausgewertet. Variante 1 - Mercedes-Benz Econic Beim Modell Econic handelt es sich um ein Fahrzeug der Klasse N3, da das Gesamtgewicht über 12 t liegt. Entsprechend wurde für die ISC-Fahrt eine Strecke ausgewählt, die sich zusammensetzt aus 20 % Fahrt innerorts, 25 % Fahrt außerorts und 55 % Autobahnfahrt. Durch das optimierte Speichermodell und das zusätzliche Thermomanagement mittels des elektrischen Heizkatalysators wird eine hohe NO_x-Minderungsleistung realisiert: Die Ergebnisse zeigen eine von NO_x-Reduktion von 94 %, sodass die EU V-Abgasgrenzwerte erfolgreich eingehalten werden.

F. Ableitungen

In einem aufbauenden Projekt wurden der Anwendungsbereich um Sonderfahrzeuge, die nicht von den modularen Baukästen für Nachrüstsyste zu verbesserten NO_x-Minderung schwerer (> 3,5 t) Kommunalfahrzeuge mit vorinstallierter Stickoxidminderung gemäß Euro IV, V und EEV „MoBaNO_x-K-S-NO_x-IV-V-EEV“ sowie für Nachrüstsyste zu verbesserten NO_x-Minderung mit Schwerpunkt leichter (2,8 t - 3,5 t) und schwerer (3,5 - 7,5 t) Handwerker- und Lieferfahrzeuge „MoBaNO_x-LDV-L/S“ abdeckt werden:

- Mercedes Benz Vario,
- Mercedes Benz Unimog,
- Hako Multicar (und Derivate),
- Fuso Canter,
- Iveco Daily,
- MAN TGL.

Herauszuheben ist der MAN TGL, der ab Werk lediglich mit einem Partikelfilter ausgestattet ist. Die Besonderheit in diesem Fall war, dass es sich um einen Motor mit Abgasrückführung handelt. Dies erwies sich in Hinblick auf die niedrigen Abgastemperaturen als kritisch. Daher wurde, analog zum Mercedes Benz Unimog, ein System mit Thermomanagement für Fahrprofile mit niedriger Motorlast

konzipiert, um auch unter diesen Bedingungen eine ausreichende Abgastemperatur und Stickoxid-Minderung sicherzustellen.

Das System wurde schließlich speziell für den MAN TGL konzipiert und geeignete Komponenten insbesondere für den SCR und den Heizkatalysator mit elektrischem Heizelement vor dem DOC und DPF wurden ermittelt. Das Konzept sah dabei separat liegende CRT- und SCR-Systeme vor (Abbildung 22). Eine CU-Zeolith-Basis wurde als geeignet für die Beschichtung des SCR-Katalysators ermittelt, um die Wirkung zu optimieren. Weiterhin wurde die Sensorik (NOx-, Temperatur- und Differenzdrucksensoren) konzipiert.

Für den MAN TGL wurde zur Erzielung der Stickoxid-Minderung eine neue Steuerung ausgearbeitet. Das Systemschaubild des Originals mit Abgasrückführung ist in Abbildung 21, das des Nachrüstsystems mit zusätzlichem Thermomanagement in Abbildung 22 dargestellt. Schwerpunkte waren dabei

- die Neuintegration des Abgasnachbehandlungssystems mit DPF, SCR und Thermomanagement inklusive Sensorik und
- die Integration des Thermomanagements mittels Heizkatalysator für Fahrprofile mit niedriger Motorlast.
- Steuerung des SCR-Katalysators auf Basis CU-Zeolith mit optimierter Speicherregelung.

Als weitere Funktionen wurden folgende Punkte im Projekt realisiert:

- Steuerung der neuen Dosierkomponenten (inklusive Dosiermengenberechnung und -freigabe) und des AdBlue-Tanks inklusive Füllstandsmessung und -anzeige,
- Überwachung der Komponenten durch die HJS-Steuerung,
- Anzeige mittels Displays (Text und Lampen).

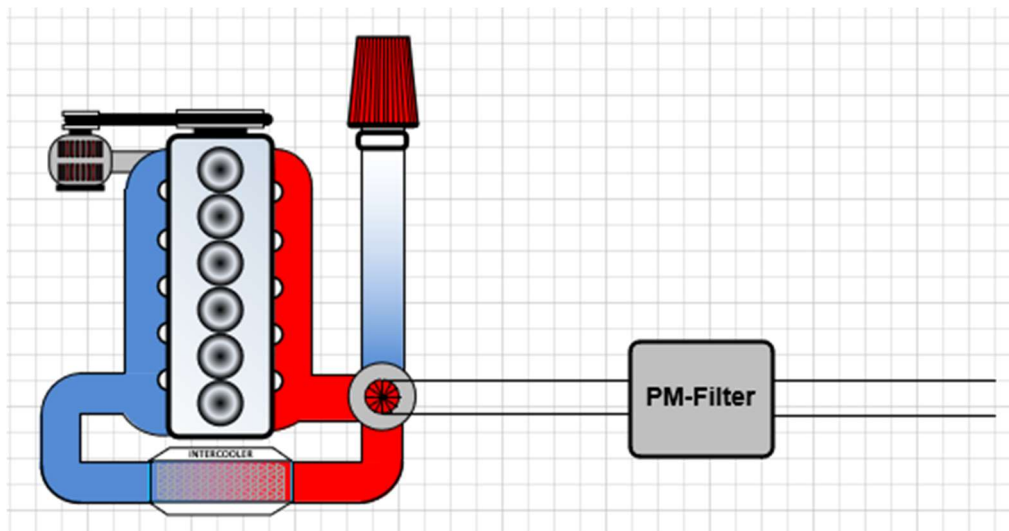


Abbildung 21: MAN TGL – Original mit Abgasrückführung und Teilströmfilter: Systemschaubild/ Signallaufplan

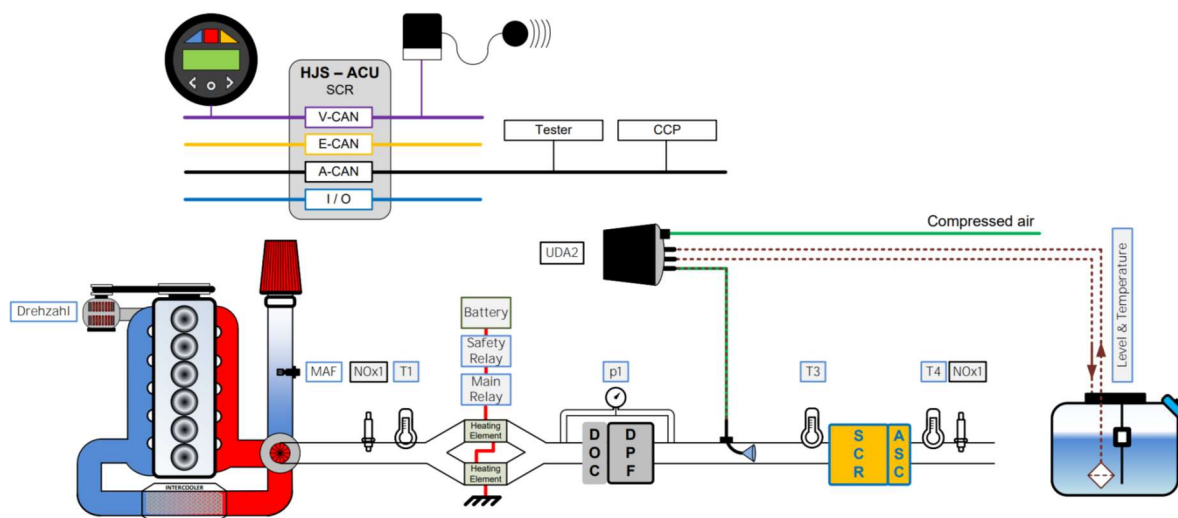


Abbildung 22: MAN TGL - Systemschaubild/Signallaufplan der HJS-Nachrüstlösung: SCRT-System mit zusätzlichem Thermomanagement

Nach erfolgreicher Inbetriebnahme des MAN TGL wurden ISC-Testfahrten für Fahrzeuge der Klasse N2 (Gesamtgewicht 3,5 t bis 12 t) mit 45 % Fahrt innerorts, 25 % Fahrt außerorts und 30 % Autobahnfahrt durchgeführt. Das Thermomanagement ermöglichte es, die sehr niedrigen Abgastemperaturen (Motor mit AGR) und langen Hydrolysestrecke auf den geeigneten Temperaturbereich anzuheben.

Auch hier wurden während der Testfahrten die Motordrehzahl, die Abgasmasse sowie die Abgastemperatur und die NO_x-Konzentration vor und nach SCR erfasst und anschließend ausgewertet. Der Verlauf der Größen ist in **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** dargestellt.

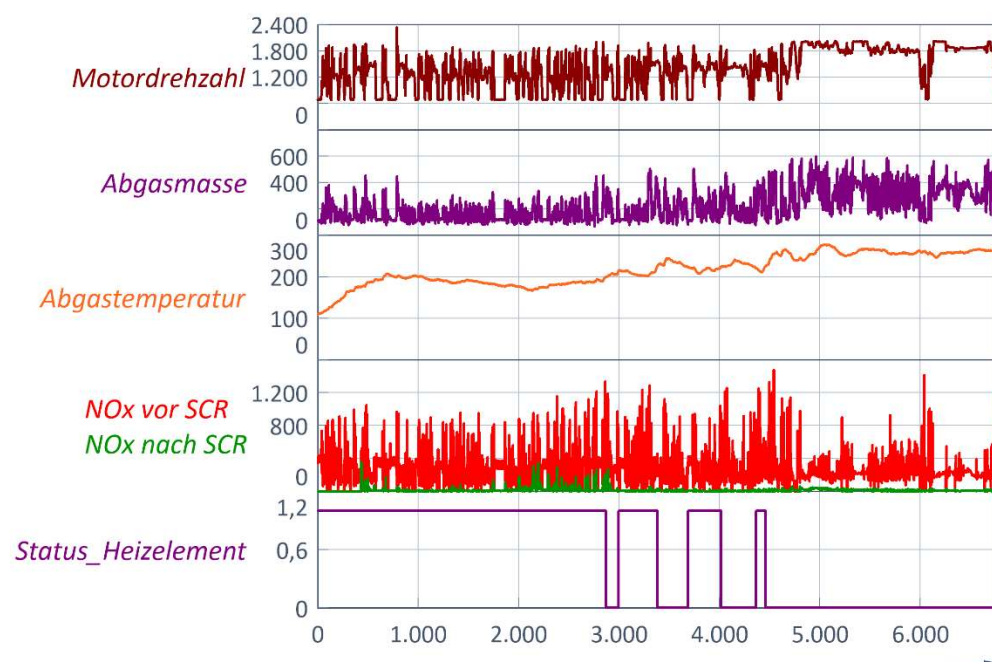


Abbildung 23: Auswertung der ISC-Fahrt – MAN TGL

Die erzielte NO_x-Minderung betrug 92 %. Die EU V-Abgasgrenzwerte werden eingehalten und durch das SCRT-System mit zusätzlichem Thermomanagement die im Projekt angestrebten Werte sogar deutlich übertroffen.

IV. Umsetzung & bei Kommunalfahrzeugen der Generation Euro III

A. Konzept

Ziel des Konzeptes war es, möglichst Synergien zwischen den Fahrzeugen zu nutzen und auf gleiche Komponenten zurückzugreifen bzw. möglichst wenige Systeme zu entwickeln, mit denen mehrere Fahrzeuge abgedeckt werden.

Auf Basis der Erfassung der Fahrzeugdaten und der Bauraumbetrachtungen wurden schließlich drei Systeme ausgearbeitet, die aus geeigneten Hardwarekomponenten bestehen und alle betrachteten Fahrzeuge abdecken. Dabei lagen bei allen Fahrzeugen prinzipiell ungünstige Bedingungen an die NO_x-Minderung vor.

Mit den Fahrzeugen MAN L2000 sowie Mercedes Benz Axor und Actros wurden Temperaturmessfahrten durchgeführt, um die Upstreamtemperatur zu ermitteln.

Vor allem im Niedriglastbereich waren die Abgastemperaturen zu niedrig, um eine effiziente NO_x-Reduktion durch den SCR realisieren zu können. Daher wurde ein aktives Thermomanagement ausgearbeitet, mit dem die Abgastemperaturen angehoben werden und die angestrebten NO_x-Minderungen erfüllt werden.

Weiterhin war jeweils ein geeignetes NH₃-Speichermodell erforderlich, um zuverlässig hohe Konversionsraten erzielen zu können.

Für die Thermomanagementfunktion konnte vorhandenes Modul herangezogen werden, das im Rahmen eines Vorgängerprojektes ausgearbeitet worden war. Dieses musste jedoch für die Anwendung auf EU III Fahrzeuge modifiziert und optimiert, um die Anforderungen erfüllen und die angestrebte Stickoxid-Minderung erreichen zu können.

Um die unterschiedlichen Leistungsklassen der betrachteten Fahrzeuge abdecken zu können, wurden darauf basierend zwei unterschiedliche Heizer – bzw. Heizkatalysatorkonzepte ausgearbeitet und realisiert:

I. Für Fahrzeuge mit einer Leistung > 190 kW:

ein Heizkatalysator mit integriertem DOC und einer maximalen Heizleistung von 1.100 W (z. B. 12 “ Durchmesser und 1.100 W bei 24 V.

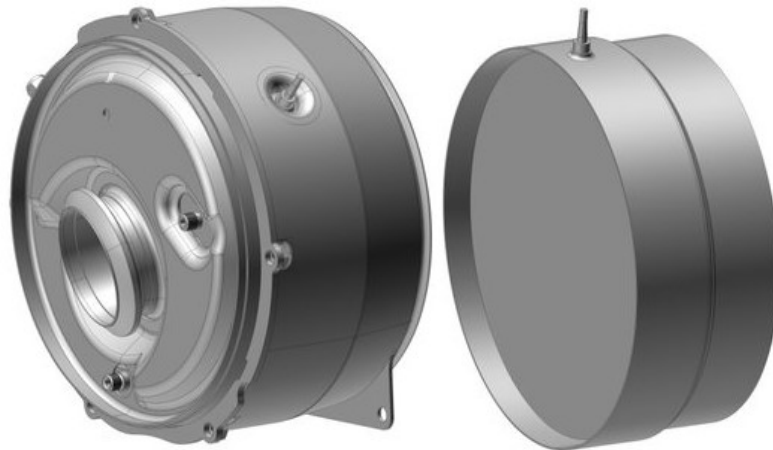


Abbildung 24: Heizkatalysatorkonzept A: Heizkatalysator mit Heizelement

II. Für Fahrzeuge mit einer Leistung < 200 kW:

zwei parallel geschaltete Heizelemente mit je 750 W oder 375 W und Möglichkeit der mehrstufigen Nutzung- in Abhängigkeit des Bordnetzes und der benötigten Heizleistung lassen sich so 750 W oder 1.500 W Heizleistung darstellen.

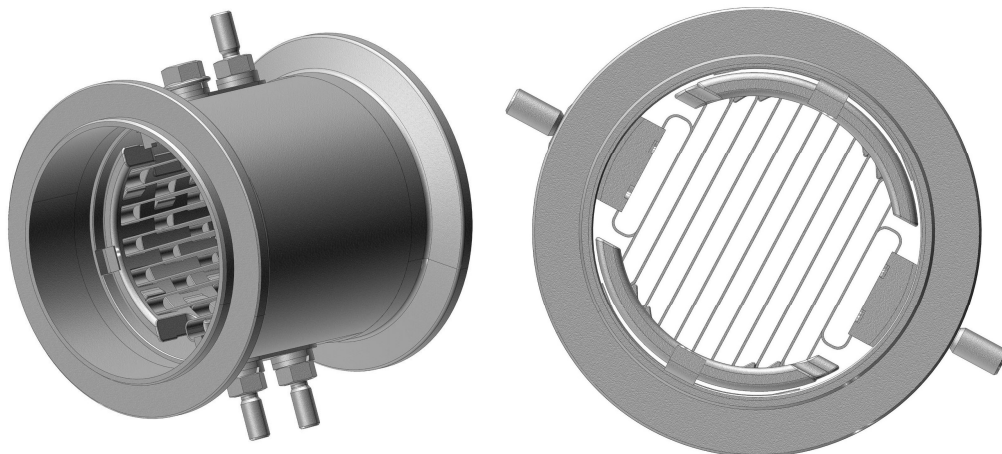


Abbildung 25: Heizkatalysatorkonzept B: Heizkatalysator mit Heizelement

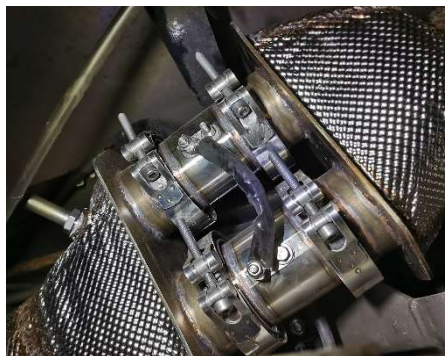


Abbildung 26: Heizsystem B – zwei parallel geschaltete Heizelemente

Bei der Auswahl der Hardwarekomponenten wurde jeweils auch eine Überprüfung des Bauraumes durchgeführt, um sicherzustellen, dass das System in den Bauraum integriert werden kann. Dazu wurden die CAD-Daten der Hardwarekomponenten und die Bauraum-Scans herangezogen.

Neben den SCR-Systemen wurden auch AdBlue-Tanks mit geeigneten Dosiersystemen Teil des Nachrüstsystems und mussten ebenfalls ausgearbeitet werden. Hierfür konnte unter geeigneten Anpassungen auf vorhandene Komponenten zurückgegriffen werden.

B. Systemintegration & Varianten

Die Kernkomponenten des Baukastensystems, die für die Abgasnachbehandlung festgelegt wurde, sind dabei:

- Dieseloxydationskatalysator (DOC) mit katalytischer Beschichtung, basierend auf keramischen Substraten (Cordierit),
- Dieselpartikelfilter (DPF), basierend auf keramischen Substraten (Cordierit, SiC), zum Teil mit katalytischer Beschichtung,
- Thermomanagement durch elektrischen Heizkatalysator vor dem DOC,
- SCR-Dosierkomponenten, - Mischstrecke/Mischerrohrbogen, SCR-Katalysator
- Temperatur-, Gegendruck- und Stickoxidsensorik, - HJS-Steuergerät/ACU,
- AdBlue-Tank inklusive Füllstandsmessung und -anzeige mit dazugehöriger Peripherie Für die Integration in das Fahrzeug sind weiterhin folgende Komponenten, angepasst an die jeweiligen Bedingungen des ausgewählten AGN-Systems und das Fahrzeug, erforderlich:
- Kabelbaum
- Eingangs- und Ausgangsverrohrungen,
- mechanische Verbindungen

Darauf basierend wurden folgende Varianten des Systems konzipiert:

Variante 1 – MAN L 2000:

Dieses System deckt die Fahrzeuge MAN L 2000 und Mercedes Benz Atego, Vario sowie Unimog ab, die alle weniger als 200 kW Leistung aufweisen.

Es wurde anhand des MAN L2000 ausgearbeitet und später erprobt. Der MAN L2000 weist sehr niedrige Abgastemperaturen auf, da es sich um einen Motor mit Abgasrückführung handelt und eine lange Hydrolysestrecke vorliegt. Es wurde auf ein vorhandenes weiterentwickeltes SCR-System zurückgegriffen, das mit einem neuen Cu-Zeolith ausgestattet wurde, um die Minderungsrate zu erhöhen (Abbildung 27).

Für das Thermomanagement wurden zwei -parallel geschaltete Heizelemente zurückgegriffen. Die maximale Heizleistung des Systems beträgt dabei insgesamt 1500 W.

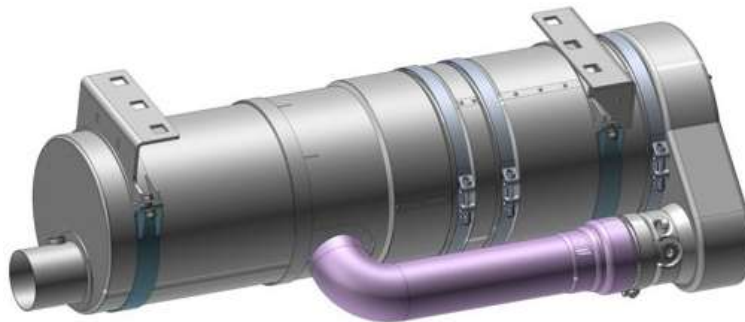


Abbildung 27: System I – SCR mit Heizkatalysator auf Basis CU-Zeolith

Variante Axor

Das zweite System, dass aus dem Projekt hervorging, wurde für den Mercedes Benz Axor ausgearbeitet und deckt auch den Mercedes Benz Econic ab.

Es wurde ebenfalls teilweise auf vorhandene Komponenten zurückgegriffen. Zunächst wurden drei vorhandene Systeme untersucht, die prinzipiell geeignet schienen. Aufgrund der Bauraumverhältnisse konnte jedoch keines dieser vorhandenen SCR-Systeme genutzt werden, da diese zu groß waren, um in den Bauraum integriert werden zu können. Daher musste ein neues System aus geeignetem SCR und Dieselpartikelfilter zusammengestellt werden. Auch hier musste ein SCR mit neuen Cu-Monolithen aufgebaut werden, um trotz der vorliegenden hohen Stickoxid-Konzentration eine hohe Stickoxid-Reduktion realisieren zu können. Die Mischstrecke wurde ebenfalls überarbeitet.

Schließlich wurde ein geeigneter SCR-Katalysator auf Basis von Cu-Zeolithen integriert, für den jedoch ebenfalls eine geeignete Speicherregelung erforderlich war, um die Stickoxid-Minderung zu optimieren.

Auch in diesem Fall erwies sich das Thermomanagement als erforderlich, da sehr niedrige Abgastemperaturen und eine lange Hydrolyse Strecke vorlagen. Dazu wurde auf Variante I des Heizsystems, einen Heizkatalysator mit integriertem DOC zurückgegriffen. Die Heizleistung des Systems beträgt dabei insgesamt 1.100 W.



Abbildung 28: System II – SCR mit Heizkatalysator auf Basis Cu-Zeolith

Variante Actros

Das dritte System wurde anhand des Mercedes Benz Actros entwickelt, appliziert und erprobt. Es deckt jedoch auch die Fahrzeugtypen MAN TGA, TGX/TGS, Scania 124G und R 420 sowie den Volvo FH 12/420 ab.

Hierbei handelt es sich um Fahrzeuge mit einer hohen Motorleistung (jeweils > 200 kW) bei niedrigem Fahrzeuggewicht. Aufgrund sehr niedriger Abgastemperaturen war auch hier ein Thermomanagement erforderlich. Hierfür wurde das Heizsystem I, der Heizkatalysator mit integriertem DOC und hoher Heizleistung von 1.100 W bei 24 V, ausgearbeitet.

Weiterhin wurde ein vorhandenes SCR-System zurückgegriffen und dieses mit einer neuen Beschichtung ausgestattet. Um das Verhalten zu verbessern und auch bei tiefen Temperaturen eine hohe Stickoxid-Minderung zu erreichen, wurde daher der Ansatz einer neuartigen Kombination mit Cu-Zeolithen ausgearbeitet und untersucht.

Für diesen SCR mit der Beschichtung auf Basis von Vanadium und Cu-Zeolith wurde zudem ein entsprechendes spezielles Speichermodell entwickelt.

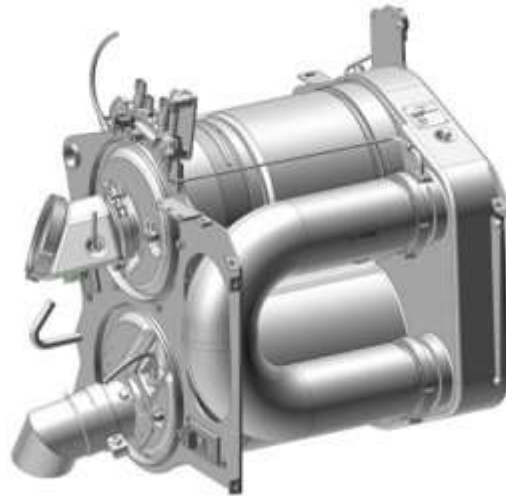


Abbildung 29: System III – SCR mit Heizkatalysator auf Basis Vanadium/Cu-Zeolith-Kombination

Neben dem SCR mit Heizsystem als Hauptkomponenten wurden außerdem die Hardware für die Sensorik sowie die AdBlue-Tanks und Dosiersysteme konzipiert.

Die Eignung der Nachrüstsyste wurde für die jeweiligen Fahrzeuggruppen anhand der Produktdatenerfassung und der ausgearbeiteten Systemkonzepte bewertet. Im weiteren Verlauf erfolgten die Realisierung und Erprobung der drei Systeme jeweils anhand eines ausgewählten Fahrzeuges, wie erläutert. Es wurde jedoch sichergestellt, dass die Ergebnisse auch auf die anderen Fahrzeuge der jeweiligen Fahrzeuge übertragbar sind. Dazu wurde für alle Fahrzeuge der Bauraum betrachtet und die jeweilige Integrationsfähigkeit der Nachrüstsyste nachgewiesen, wofür auch Anpassungen an den Bauraum berücksichtigt wurden.

C. Systemsteuerung (Software)

Die Software wurde nach dem Ansatz eines Baukastensystems ausgearbeitet. Hierfür wurde eine Standardisierung des Softwarelayouts mit individueller Kennfeldparametrisierung verfolgt. Gemeinsame Funktionen der neuen ACU waren die Überwachung der Funktionalitäten des AdBlue-Tanks inklusive Füllstandmessung und -anzeige, des SCR und des DOC/DPF, sowie die Dosiermengenberechnung und -freigabe.

Für die unterschiedlichen Varianten war eine Bedatung mit den jeweiligen Katalysatordaten und Funktionen erforderlich, die über entsprechende Softwaremodule realisiert wurde. Zudem mussten, je nach Variante, die zusätzlichen Komponenten und Sensoren, wie der Heizkatalysator und Dosiersystem, überwacht und angesteuert werden.

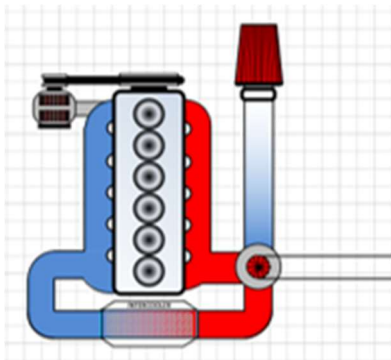


Abbildung 30: Layout OE-Abgasnachbehandlung der Euro III Fahrzeuge bestand ausschließlich aus einem Schalldämpfer

Variante 1 – MAN L 2000:

System mit neuem Heizer, DOC/DPF und SCR und AdBlue Tank.

Um den Schalldämpfer durch die Nachrüstlösung ersetzen zu können, wurde folgende Funktionen und Eigenschaften realisiert:

- die Steuerung basiert auf der Verwendung der Nachrüstung Dosierkomponenten, der Sensorik, des AdBlue-Tanks inklusive Füllstandsmessung und –anzeige,
- die elektrische Diagnose der Nachrüst-Komponenten sowie Funktionsüberwachung (z. B. AdBlue Füllstand) ist Teil des HJS-Steuergerätes,
- die NOx-Überwachung ist Teil des HJS-Steuergerätes,
- die Dosiermengenberechnung und -freigabe wird von dem neuen HJS-Steuergerät übernommen,
- die Überwachung des DPF und der zusätzlichen Komponenten erfolgt durch das HJS-Steuergerät; die Anzeige erfolgt mittels zweier Lampen,
- weiterhin wurde das Thermomanagement basierend auf dem Heizkatalysator für Fahrprofile mit niedriger Motorlast softwareseitig ausgearbeitet und in die ACU integriert. Der Vergleich von altem und neuem Softwarelayout ist in Abbildung 30 und Abbildung 31 dargestellt.

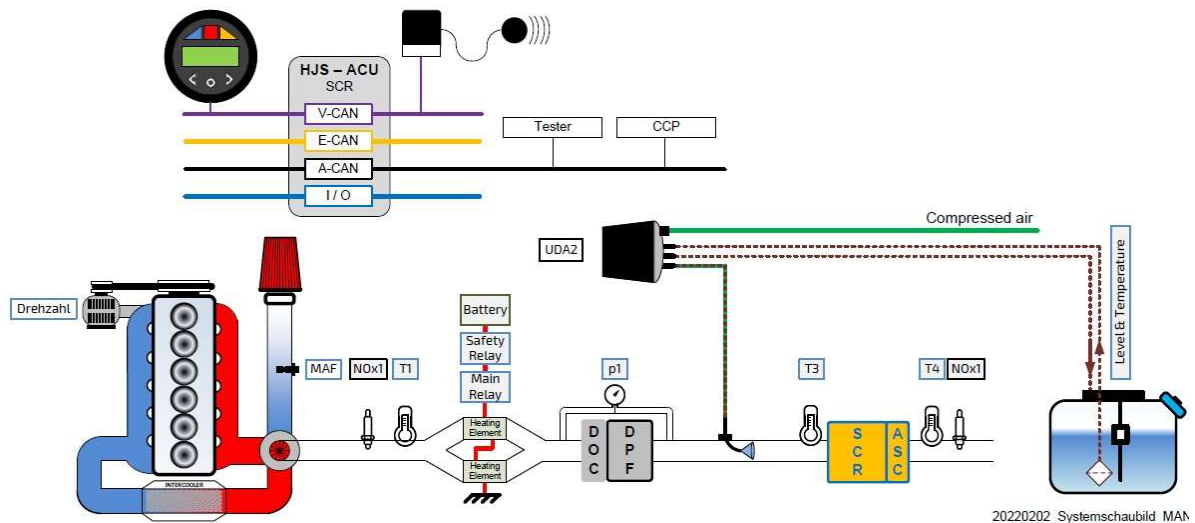


Abbildung 31: Layout der neuen Abgasnachbehandlung – Heizer, DOC/DPF und SCR-Systemleistung

Variante 2 und 3 – Mercedes-Benz Actros und Atego:

System mit neuem Heizer, DOC/DPF und SCR und AdBlue Tank.

Das Layout des Originalsystems Schalldämpfer entspricht dem von Variante 1 (Abbildung 30). Auch hier wurde das der Schalldämpfer durch eine neue Nachrüstlösung ersetzt. Im Unterschied zu Variante 1 (MAN L 2000) wurde hier ein anderes Thermomanagement genutzt.

Dies wurde durch folgende Ansätze ermöglicht:

- für die beiden unterschiedlichen Fahrzeuge war es unumgänglich, unterschiedliche Katalysatorgrößen einzusetzen und die Raumgeschwindigkeit an die Applikation anzupassen. Die Katalysatoren waren entsprechend den Funktionen unterschiedlich im Steuergerät zu bedaten,
- es wurde eine funktionelle Verbesserung des Ammoniakspeichermodells erzielt, das NOx-Durchbrüche bei starken Lastwechseln minimiert,
- die Abstimmung von DOC und SCR-Katalysator wurde verbessert, sodass NO₂-Durchbrüche bei niedrigen Abgasmassenströmen vermieden werden.
- Auch hierfür wurde eine Steuerung ausgearbeitet, mit der folgende Eigenschaften, die auch bei Variante 1 realisiert wurden:
 - die Steuerung basiert auf der Verwendung der nachgerüsteten Dosierkomponenten, der Sensorik, des AdBlue-Tanks inklusive Füllstandsmessung und –anzeige,
 - die elektrische Diagnose der nachgerüsteten Komponenten sowie Funktionsüberwachung (z. B. AdBlue Füllstand und NOx)
 - das Speichermodell wurde den jeweiligen Anforderungen entsprechend angepasst,
 - die Dosiermengenberechnung und -freigabe wird von dem neuen HJS-Steuergerät übernommen, - die Überwachung des DPF und der zusätzlichen Komponenten erfolgt durch das HJS-Steuergerät; die Anzeige erfolgt mittels zweier Lampen. Abbildung 31 zeigt das Layout für diese Variante.

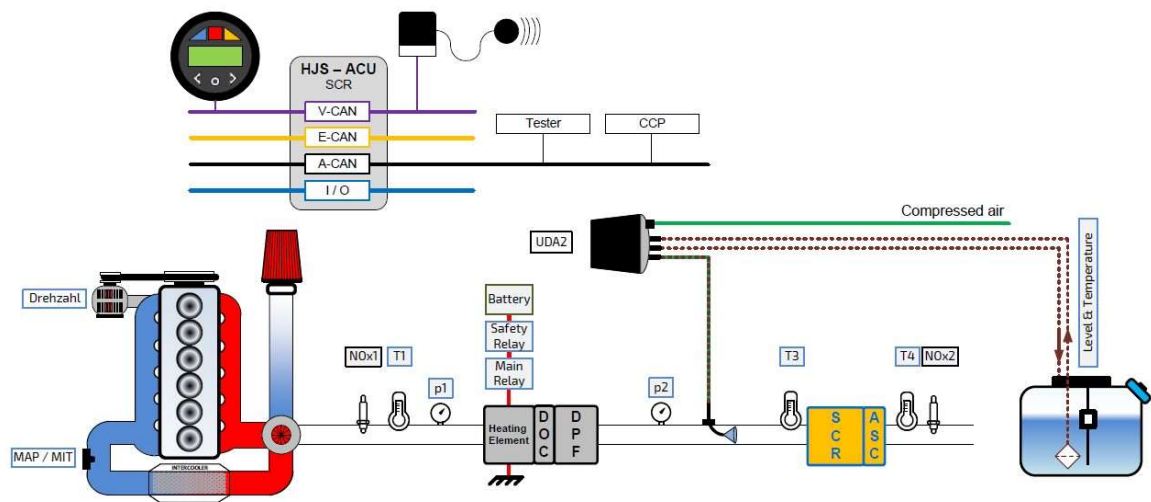


Abbildung 32: Layout der neuen Abgasnachbehandlung – Heizer, DOC/DPF und SCR-Systemleistung

Um die drei ausgearbeiteten Systeme untersuchen und die Stickoxidminderung nachweisen zu können, erfolgte im Rahmen des Projekts die Applikation der Nachrüstsysteme für jeweils ein ausgewähltes Fahrzeug. Anschließend erfolgten ISC-konforme Messfahrten.

System I – Hauptkomponenten

Wie erläutert, fallen unter dieses System die Fahrzeuge MAN L 2000 und Mercedes Benz Atego, Vario sowie Unimog. Die Applikation und Validierung des System I erfolgte anhand des Fahrzeuges MAN L 2000.

Das SCR-System I wurde in das Fahrzeug eingebaut (**Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**). Die Heizelemente wurden in Eingangsrohr platziert. Neben dem eigentlichen Einbau wurden die abgeleiteten fahrzeugseitigen Modifikationen durchgeführt und der Generator des Fahrzeuges durch einen leistungsfähigeren Generator ersetzt, um das SCR-System sicher betreiben zu können. In diesem Zuge wurde auch die Ladeleitung ersetzt durch eine Leitung mit größerem Querschnitt.



Abbildung 33: MAN L2000 – Applikation des Systems I

Nach der Inbetriebnahme wurde eine ISC-konforme Messfahrt für N2 Nutzfahrzeuge (Gesamtgewicht 3,5 bis 12 Tonnen) durchgeführt mit 45 % Fahrt innerorts, 25 % Außerorts und 30 % Autobahnfahrt.

Bei der Messfahrt wurden die Motordrehzahl, die Abgasmasse, die Abgastemperatur, die NO_x-Konzentrationen vor sowie nach dem SCR und der Betrieb des Heizelementes des Katalysators aufgezeichnet.

Wie in Abbildung 34 ersichtlich, wird der Heizkatalysator nach 1.100 Sekunden für 100 Sekunden ausgeschaltet. Dies dient dem Schutz des Bordnetzes, da die maximal zulässige Heizzeit erreicht war. Nach 1.900 Sekunden war die Bordnetzspannung zu niedrig, sodass hier das Heizelement ebenfalls deaktiviert wurde. Bei 2.300 Sekunden war die Zieltemperatur erreicht und das Heizelement wurde ausgeschaltet. Bei 3.000 und 3.300 Sekunden wurde das Heizelement wieder kurzfristig eingeschaltet, da hier die Temperaturschwellen für das Ein- und wieder Ausschalten erreicht wurden. Das Thermomanagement wurde somit erfolgreich realisiert. Es ermöglicht geeignete Bedingungen für die NO_x-Minderung durch den SCR sicher und ermöglicht so die Realisierung einer hohen NO_x-Minderung.

Die Ergebnisse der Messfahrt zeigen, dass durch dieses System und das Thermomanagement mit 91 % eine sehr hohe NO_x-Minderung realisiert wird und die Anforderungen somit vollständig erfüllt werden.

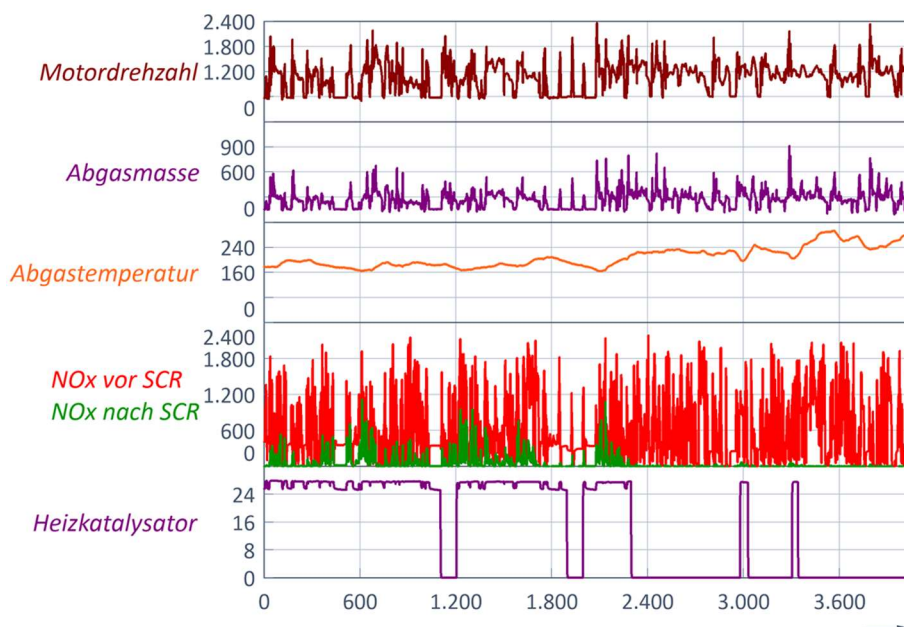


Abbildung 34: System I - ISC-konforme Messfahrt des MAN L 2000: NO_x-Minderung von 91 %

System II – Hauptkomponenten

System II wurde für den Mercedes Benz Axor und Econic ausgearbeitet. Die Applikation und Validierung des System I erfolgte anhand des Mercedes Benz Axor.

Im ersten Schritt wurde der Generator ersetzt, um die erforderliche Leistung bereitstellen zu können. Der Einbau des SCR-Systems war durch den Stützfuß des auf dem Fahrzeug vorhandenen Krans erschwert, konnte jedoch schließlich erfolgreich durchgeführt werden.



Abbildung 35: Mercedes Benz Axor: Applikation SCR-System II

In diesem Fall erfolgte eine ISC-konforme Messfahrt für N3 Fahrzeuge mit einem Gesamtgewicht über 12 Tonnen mit 25 % Fahrt innerorts, 20 % Fahrt außerorts und 55 % Autobahnfahrt.

Die NO_x-Minderung, die anhand der Testfahrt nachgewiesen wurde, beträgt 88 %.

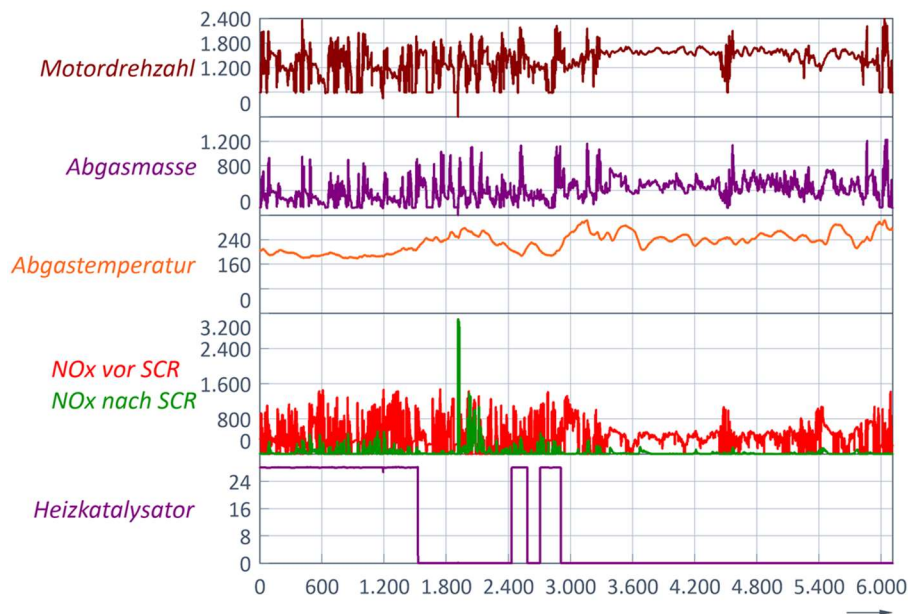


Abbildung 36: System II - ISC-konforme Messfahrt des Mercedes Benz Axor, NO_x-Minderung von 88 %

System III – Hauptkomponenten

System III umfasst die Fahrzeuge Mercedes Benz Actros, MAN TGA sowie TGX/TGS, Scania R420 sowie 124G und Volvo FH 12/420. Die Applikation und Validierung des System III erfolgte anhand des Mercedes Benz Actros.

Um die Applikation durchführen und das System erproben zu können, wurde der Generator, wie zuvor festgelegt, durch einen leistungsfähigeren Generator ersetzt. Weiterhin musste die Filterüberwachung des bereits nachgerüsteten CRT deaktiviert werden. Das Getriebelager musste zur Montage der SCRT-Halterung gelöst werden und eine Transportbox demontiert werden, um den Bauraum für den Tank zur Verfügung stellen zu können.

Schließlich konnte das SCR-System erfolgreich eingebaut und in Betrieb genommen werden.



Abbildung 37: Mercedes Benz Actros: Applikation SCR-System III

Zur Validierung erfolgte eine ISC-konforme Messfahrt für N3 Fahrzeuge (Gesamtgewicht > 12 Tonnen) mit einem Wechsel zwischen innerstädtischer und Überlandfahrt.

Die Ergebnisse zeigen, dass eine NO_x-Minderung von 93 % erreicht wurde und auch hier die Anforderungen an die Stickoxid-Minderung erreicht werden.

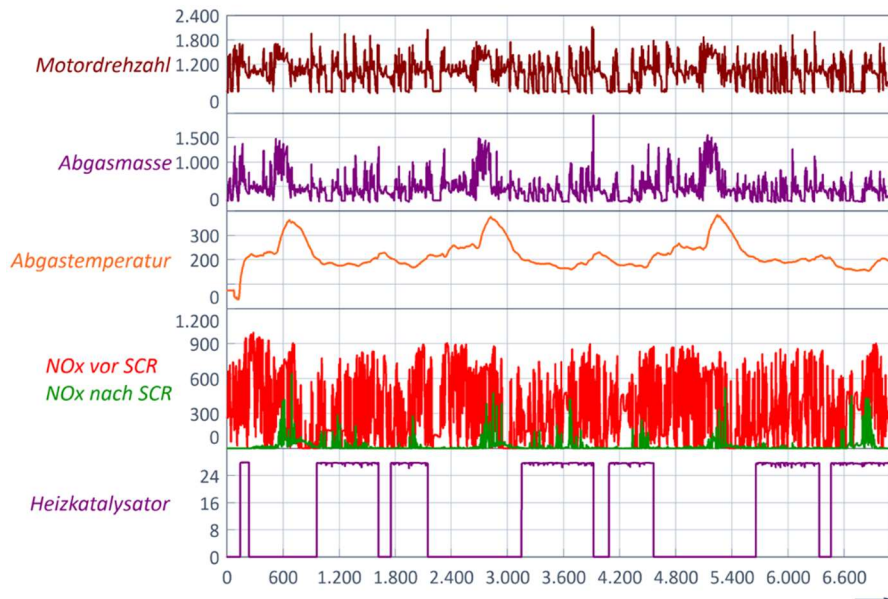


Abbildung 38: System III - ISC-konforme Messfahrt des Mercedes Benz Actros, NO_x-Minderung von 93%

D. Ableitungen

Die drei SCR-Systeme wurden jeweils anhand eines Fahrzeuges appliziert und untersucht. Für die anderen Fahrzeuge der drei Fahrzeuggruppen wurde die Übertragbarkeit überprüft und die erforderlichen Maßnahmen zur Integration in den jeweiligen Bauraum abgeleitet. Dabei wurden unter anderem die Bauraum-Scans herangezogen.

System I - MAN L2000

Die Anordnung des Systems im Bauraum ist in Abbildung 39 dargestellt. Um die Richtlinien der Familienbildung hinsichtlich der Katalysatorgrößen einzuhalten und gleichzeitig das passende Hardware-System für den Bauraum zu finden, mussten die nachfolgenden Arbeiten durchgeführt werden:

- Ausarbeitung eines neuen Eingangsrohres mit Anpassung des Systems an die Lage im Bauraum
- Ausarbeitung eines neuen Systemhalters zur Anbindung an das Fahrzeug
- Ausarbeitung des notwendigen SCR-Katalysatorvolumens und Berechnung der Raumgeschwindigkeit
- Ausarbeitung eines neuen Halters für den Tank
- Ausarbeitung eines neuen Endrohres

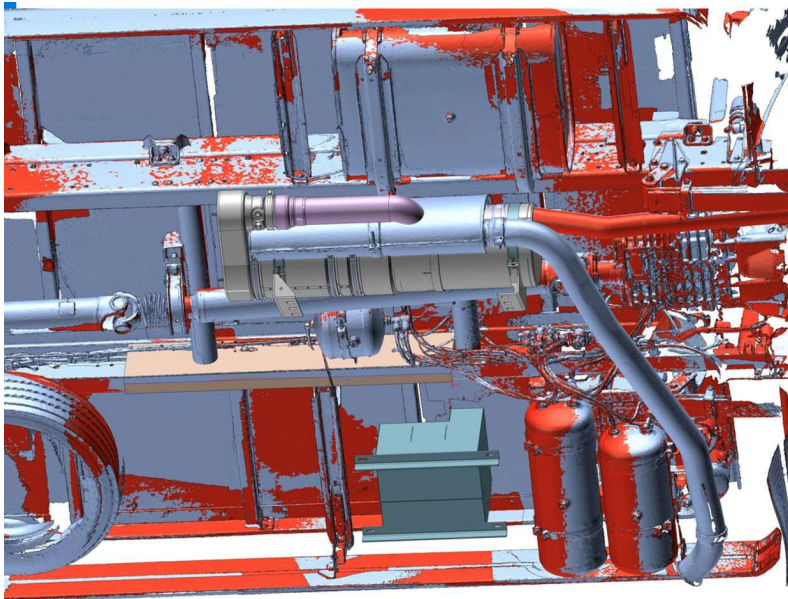


Abbildung 39: MAN L2000 Integration der Hardware-Komponenten (System I)

Die Heizelemente wurden in Eingangsrohr platziert. Weiterhin mussten fahrzeugseitige Modifikationen erfolgen zu können, um das SCR-System sicher betreiben zu können. Aufgrund der für die Heizelemente benötigten Leistung wurde der Generator des Fahrzeuges durch einen leistungsfähigeren Generator ersetzt. In diesem Zuge wurde auch die Ladeleitung ersetzt durch eine Leitung mit größerem Querschnitt.

Mercedes Benz Atego - Dreiseitenkipper

Bei der Auswertung der Bauraumscans des Fahrzeuges wurden ein möglicher Bauraum für das SCR-System sowie ein Bauraum für den AdBlue-Tank ermittelt.

Es musste eine Variante des Systems mit übereinstimmendem DOC, DPF und Heizsystem, jedoch etwas kleinerem SCR ausgearbeitet werden, um das System integrieren zu können. Die Bedingungen an das Toleranzfeld und die Raumgeschwindigkeit werden erfüllt, sodass eine geeignete Wirkung des Systems sichergestellt ist.

Um diese Variante in den Atego integrieren zu können, wurden zudem folgende Maßnahmen ermittelt:

- Ausarbeitung eines geeigneten Eingangsrohres und
- Ausarbeitung eines Systemhalters.

Um den zur Verfügung stehenden Bauraum nutzen zu können, erweisen sich außerdem das Versetzen der Hydraulik-Komponenten, die sich über dem Abgassystem befanden, und eine hierfür geeignete neue Montageplatte als erforderlich. Alternativen stehen bei diesem Fahrzeug jedoch nicht zur Verfügung.

Anhand der Konstruktionen und der Bauraum-Scans konnte schließlich gezeigt werden, dass der Einbau des Systems möglich ist.

Abbildung 40 zeigt die Integration der Hardware-Komponenten in den Bauraum.

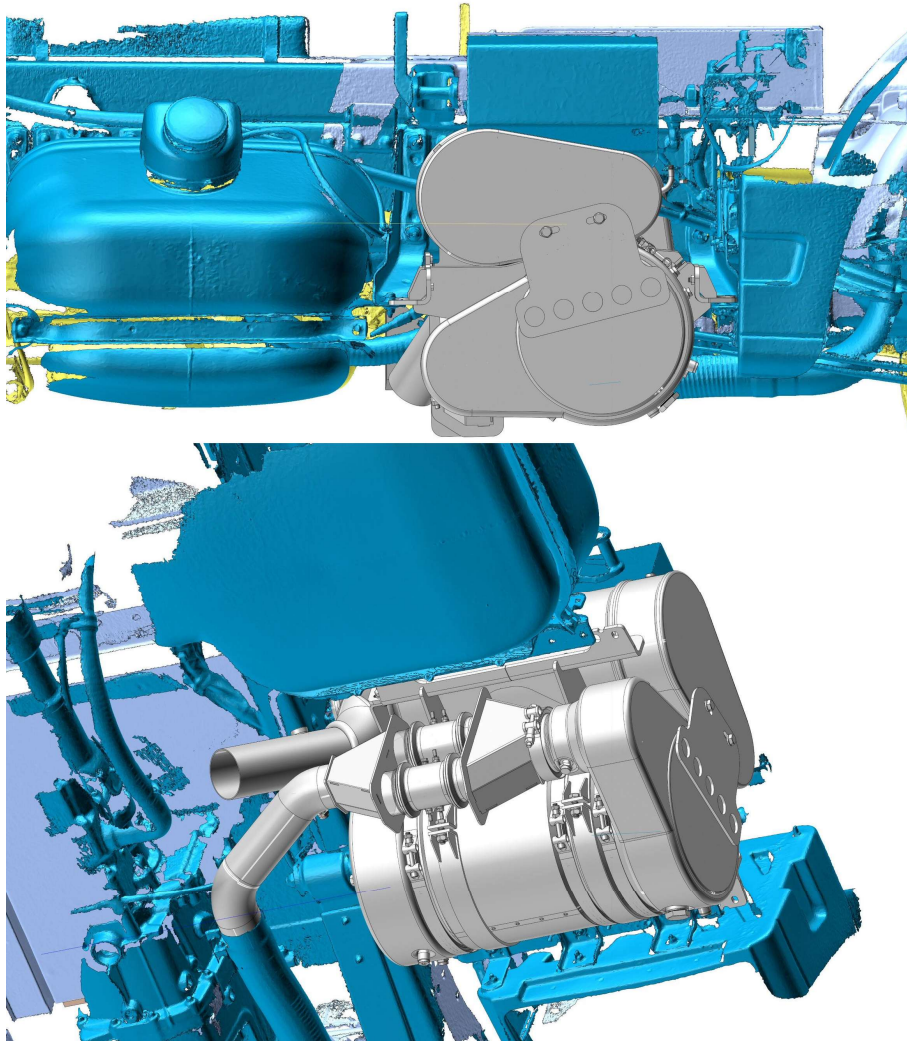


Abbildung 40: Mercedes Benz Atego – Dreiseitenkipper: Integration der Hardware-Komponenten

Für das Streufahrzeug konnte wiederum das System des MAN L2000 mit identischen Komponenten herangezogen werden. Es konnte nachgewiesen werden, dass die Integration in das Fahrzeug möglich ist. Wie zuvor führt dabei das Abgassystem nach oben. Für den AdBlue Tank wurden zwei mögliche Bauräume ermittelt.

Folgende Maßnahmen sind für die Nachrüstung erforderlich:

- Anpassung der Lage des Eingangsmoduls,
- Neuauslegung des Eingangsrohres mit Heizelementen
- Anpassung des Systemhalters und des Hitzeschutzes
- Ausarbeitung eines neuen Ausgangsrohres
- Ausarbeitung eines neuen Tankhalters.

Abbildung 41 zeigt die Integration der Hardwarekomponenten in den Bauraum.

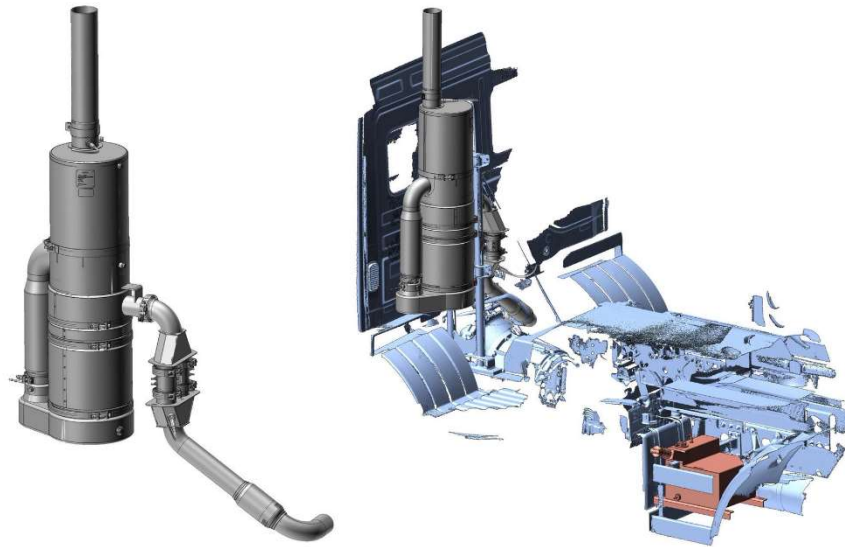


Abbildung 41: Mercedes Benz Atego – Streufahrzeug: Integration des Systems und des AdBlue-Tanks

Mercedes Benz Vario

Auch hier wurde eine eigene Variante aus dem System des MAN L2000 abgeleitet mit geringerer Beladung des DOC und kleinerem SCR.

Für die Integration des SCR-Systems in das Fahrzeug wurden zudem sowohl Modifikationen am SCR-System als auch fahrzeugseitige Änderungen ermittelt.

Als weitere Maßnahmen zur Integration in den Bauraum wurden identifiziert:

- Ausarbeitung eines neuen Eingangsrohres,
- Ausarbeitung neuer Systemhalter für das SCR-System und den Tank,
- Kürzung des Tankstutzens.

Fahrzeugseitig müssen ein Rohr und der Druckbehälter versetzt werden.

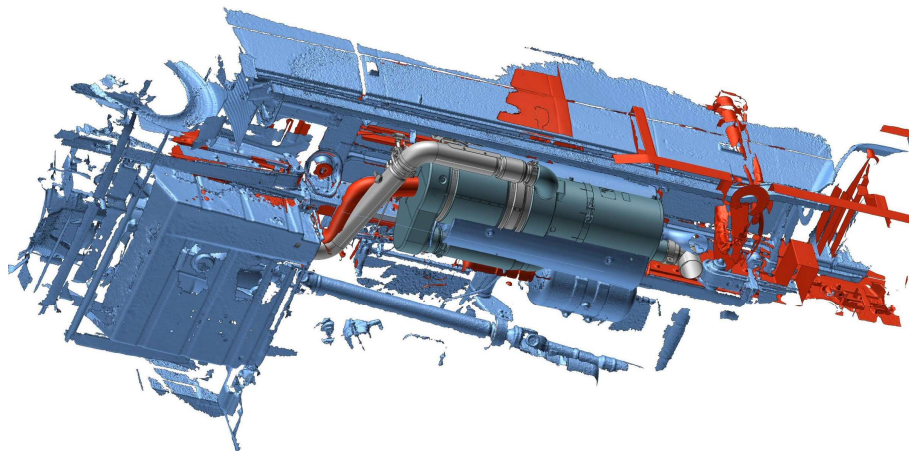


Abbildung 42: Mercedes Benz Vario – Integration des neuen SCR-Systems I in den Bauraum

Mercedes Benz Unimog

Für die Variante des Unimogs wurde, wie beim Vario, der DOC mit geringerer Beladung und der kleinere SCR, der auch beim Atego Dreiseitenkipper eingesetzt wird, ausgewählt.

Folgende Maßnahmen wurden ermittelt, um das System integrieren zu können:

- Ausarbeitung des Eingangsrohres,
- Verdrehung des Systems,
- Ausarbeitung geeigneter Halter.

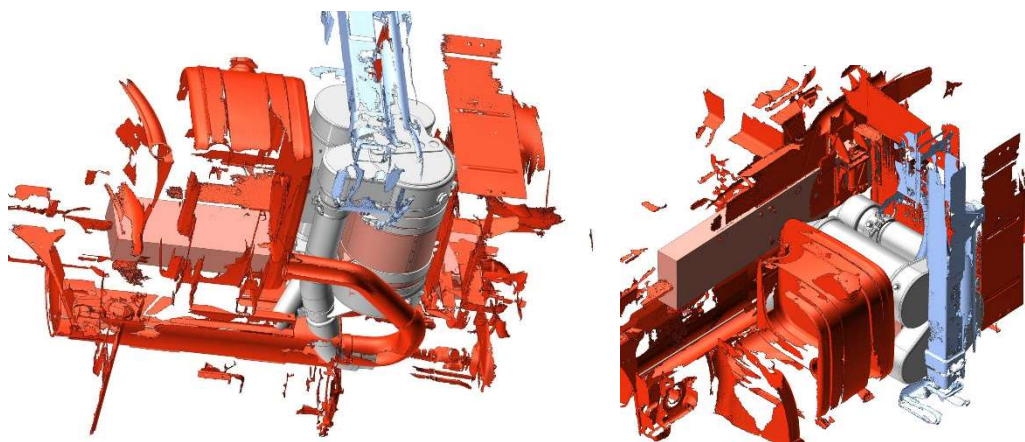


Abbildung 43: Mercedes Benz Unimog – Integration der Variante des SCR-Systems in den Bauraum

Folgende Tabelle zeigt eine Übersicht zu den Varianten:

Fahrzeug	Systemvariante	Heizsystem	DOC (Größe/Beladung)	DPF	SCR	SCR-Beschichtung
MAN L2000	A	B	A/A	A	A	A
Mercedes Benz Atego Dreiseitenkipper	B	B	A/A	A	B	A
Mercedes Benz Atego Streufahrzeug	A	B	A/A	A	A	A
Mercedes Benz Vario	C	B	A/B	A	C	A
Mercedes Benz Unimog	D	B	A/B	A	B	A

Somit sind insgesamt vier Varianten des Systems erforderlich, um die Fahrzeuge innerhalb der Familie abzudecken.

Familie II

Mercedes Benz Axor

Auch für den Mercedes Benz Axor wurde die Integration der Hardwarekomponenten in das Fahrzeug untersucht und im Rahmen der Erprobung realisiert. Der Einbauort des bisherigen nachgerüsteten AGN-Systems erwies sich auch für die neuen Hardwarekomponenten als geeignet. Folgende Maßnahmen wurden identifiziert und durchgeführt, um die Nachrüstung realisieren zu können:

- Ausarbeitung eines neuen Eingangsrohres,
- Ausarbeitung eines neuen Systemhalters zur Anbindung ans Fahrzeug,
- Ausarbeitung einer neuen Mischstrecke bedingt durch die Anordnung der Komponenten,
- Ausarbeitung eines neuen Tankhalters.

Abbildung 44 und Abbildung 44 zeigen den Einbau der Komponenten in das Fahrzeug, in Abbildung 45 sind zudem die erforderlichen Maßnahmen dargestellt.

Als Alternative könnte gegebenenfalls auch die Position der vorhandenen Transportbox des Fahrzeugs genutzt werden.

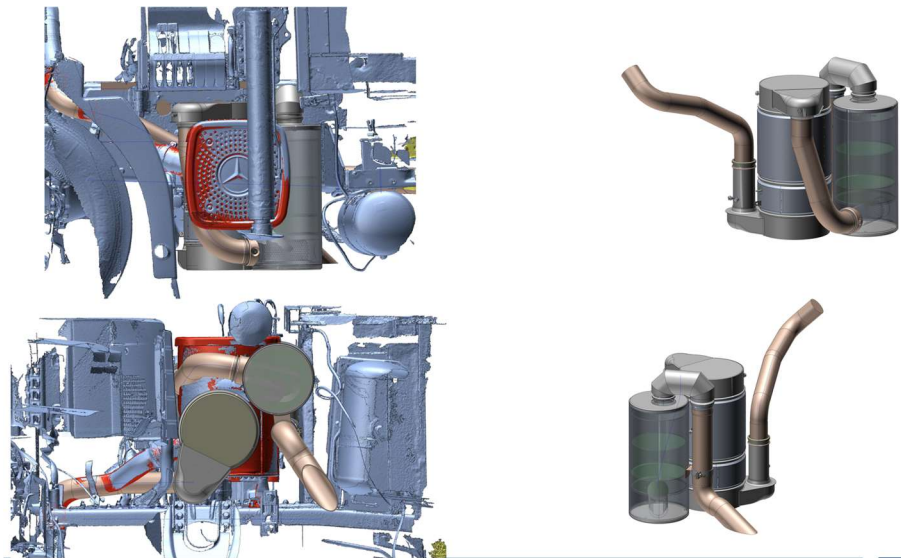


Abbildung 43: Mercedes Benz Axor –Integration des neuen SCR-Systems II in den Bauraum

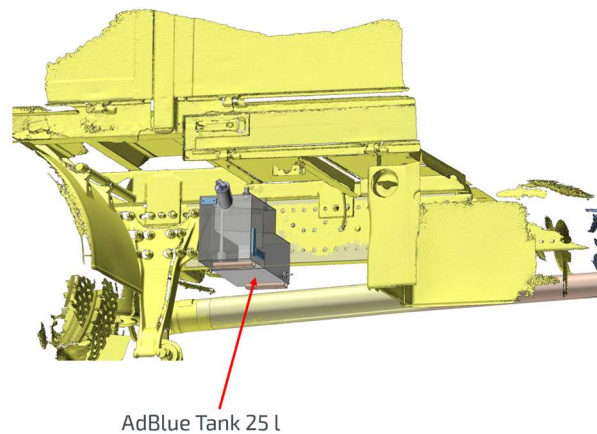


Abbildung 44: Mercedes Benz Axor – Integration des AdBlue-Tanks in den Bauraum

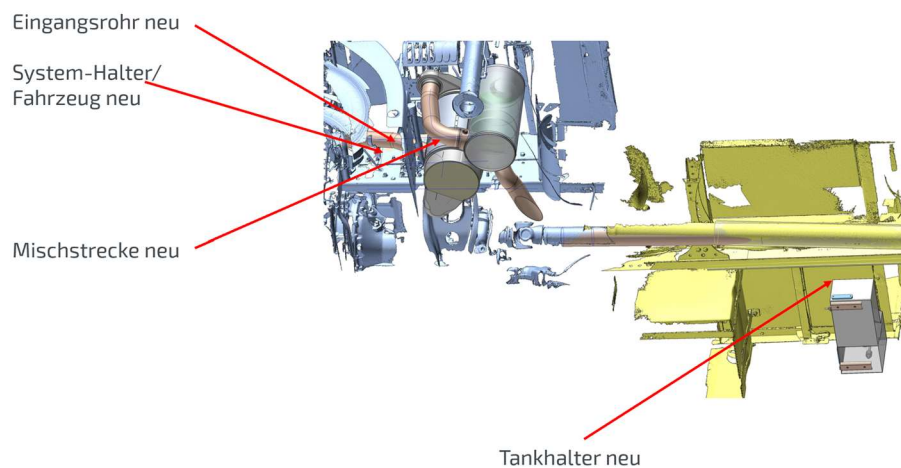


Abbildung 45 Mercedes Benz Axor – Modifikationen des Systems II zur Integration in den Bauraum

Neben den bauraumbedingten Änderungen am SCR-System wurde auch hier abgeleitet, dass fahrzeugseitige Änderungen vorgenommen werden mussten. So wird auch in diesem Fall ein leistungstärkerer Generator benötigt.

Mercedes Benz Econic

Die Ergebnisse zum Econic zeigen, dass System II mit üblichen Anpassungen, wie modifizierten Anordnungen, Haltern und Rohren, in den Bauraum integriert werden kann.

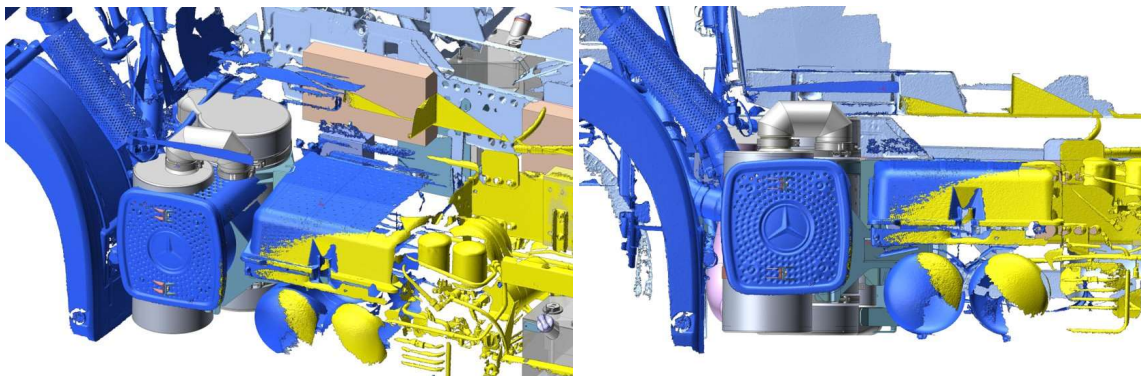
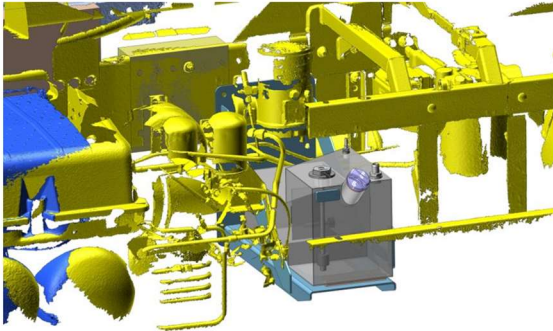


Abbildung 46: Mercedes Benz Econic – Integration des SCR-Systems II

Bauraum Tankposition 1



Bauraum Tankposition 2

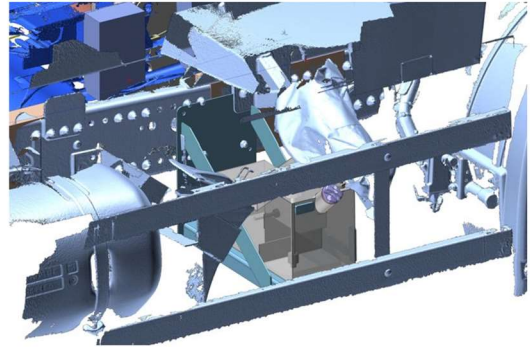


Abbildung 47: Mercedes Benz Econic – Integration des Tanks

Familie III

Mercedes Benz Actros

Auch für den Mercedes Benz Actros wurde die Integration der Hardwarekomponenten in den Bauraum untersucht. Sowohl für den AdBlue Tank als auch für das SCR-System III wurden geeignete Einbauorte ermittelt. Folgende Maßnahmen erwiesen sich hierzu als erforderlich und wurden im Rahmen der späteren Applikation realisiert:

- Ausarbeitung eines neuen Eingangsrohrs
- Anpassen des Systemhalters zur Anbindung an das Fahrzeug,
- Anpassen des Tankhalters.

Abbildung 48 und Abbildung 49 zeigen die Integration in den Bauraum.

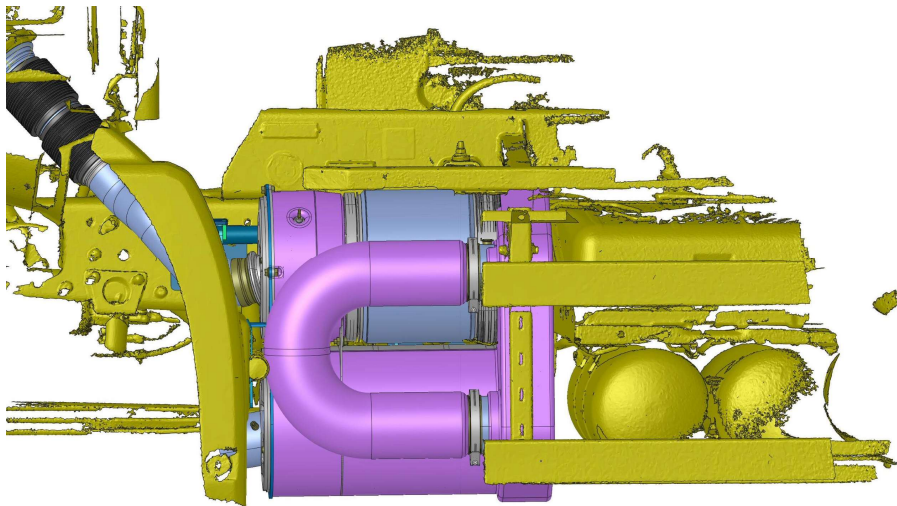


Abbildung 48: Mercedes Benz Actros –Integration des SCR-Systems in den Bauraum

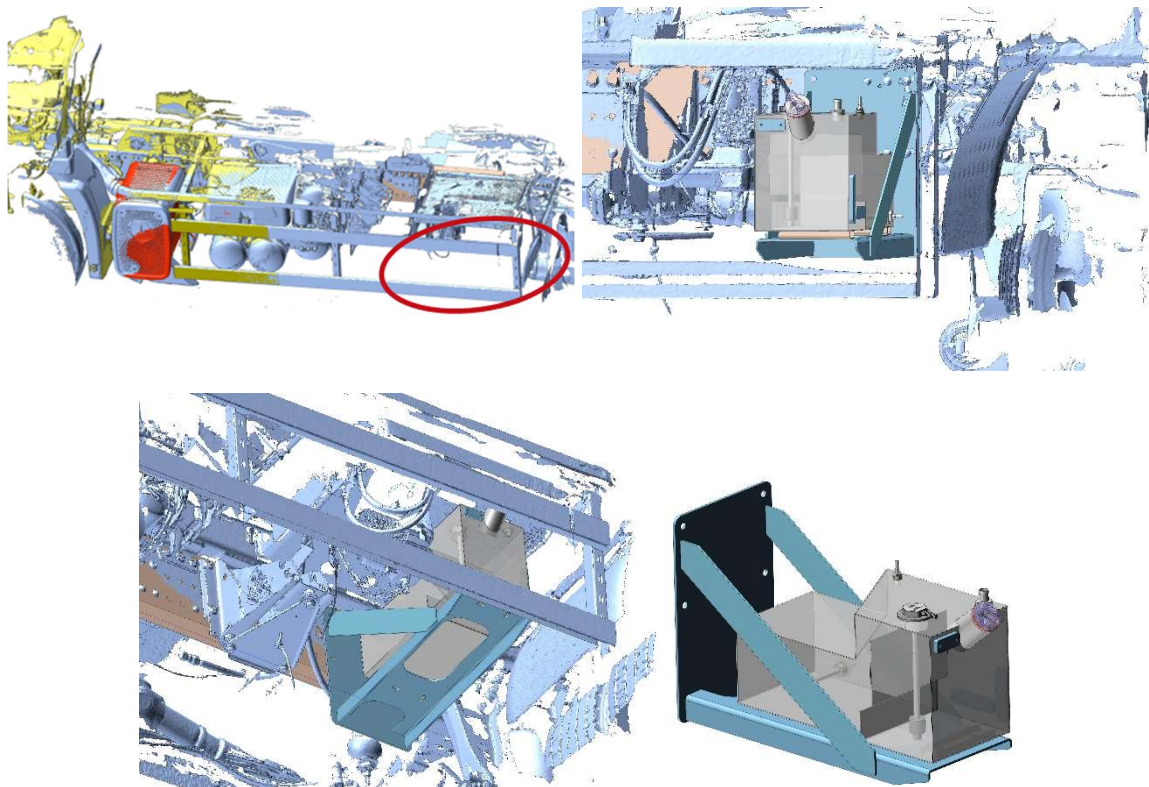


Abbildung 49: Mercedes Benz Actros – Integration des AdBlue-Tanks in den Bauraum

Auch hier wurde als weitere Maßnahme der Einbau eines leistungsstärkeren Generators abgeleitet, um die Heizleistung für das SCR-System bereitstellen zu können.

MAN TGA 26.390

Es wurde untersucht und eine Lösung ausgearbeitet, wie die Komponenten in den Bauraum integriert werden können. Folgende Modifikationen erwiesen sich als erforderlich:

- Anpassung des Eingangsrohres,
- Integration des Heizkatalysators
- Ausarbeitung geeigneter Halter und Zwischenrohre.
- Volumen SCR vergrößern (verlängern)

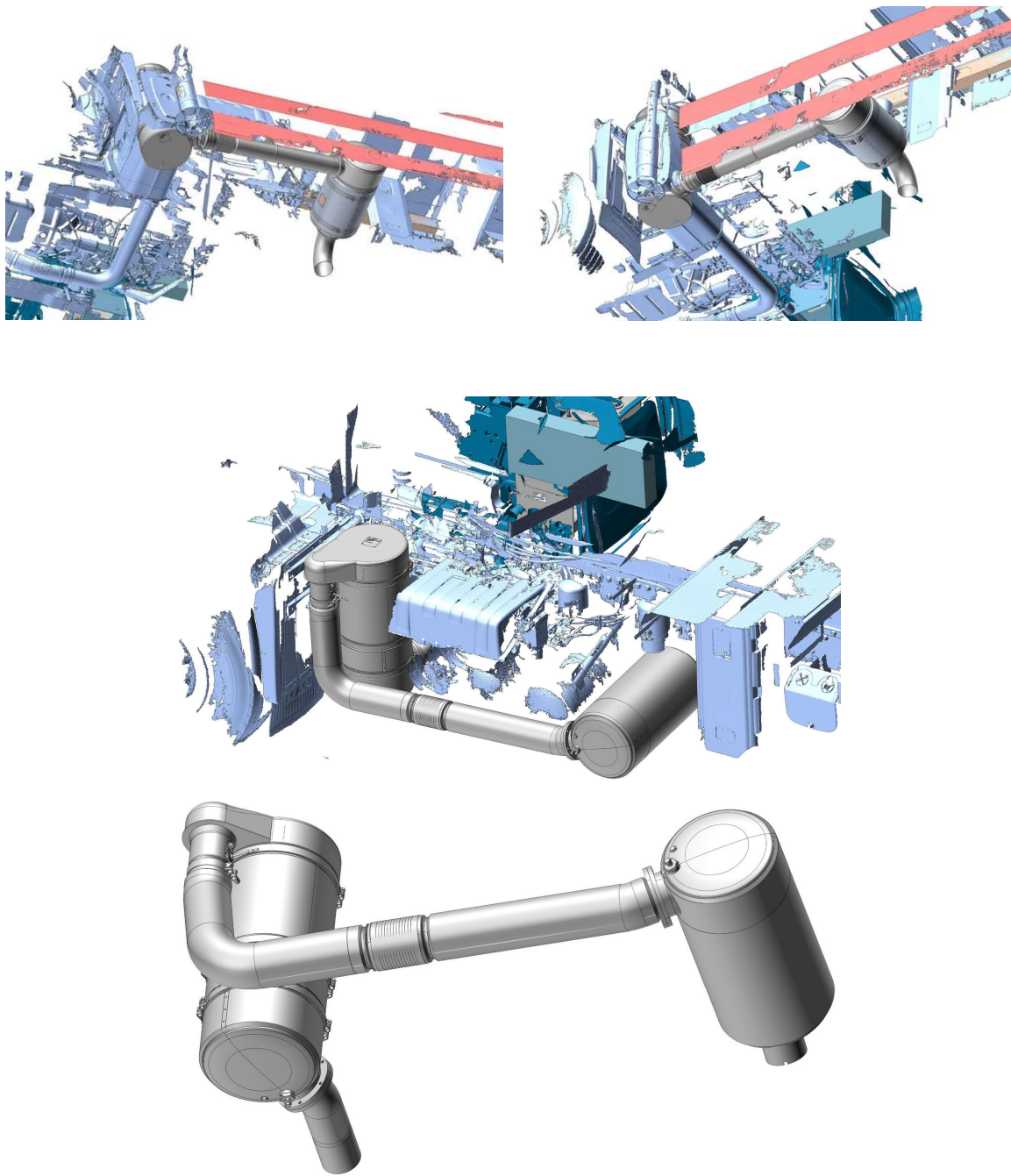


Abbildung 50: MAN TGA 26.390 – Integration der Hardware-Komponenten

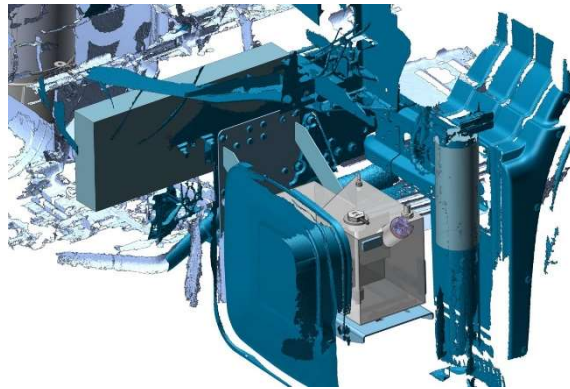


Abbildung 51: MAN TGA 26.390 – Integration des Tanks

Scania R 420

Folgende Anpassungen waren erforderlich, um das System in den Scania R420 integrieren zu können:

- Ausarbeitung geeigneter Halter und Tankhalter
- Ausarbeitung des Eingangsrohres
- Anpassung der Lage des Ausgangsrohres EG-Rohr,
- Ausarbeitung einer geeigneten Mischstrecke
- Tankhalter anpassen

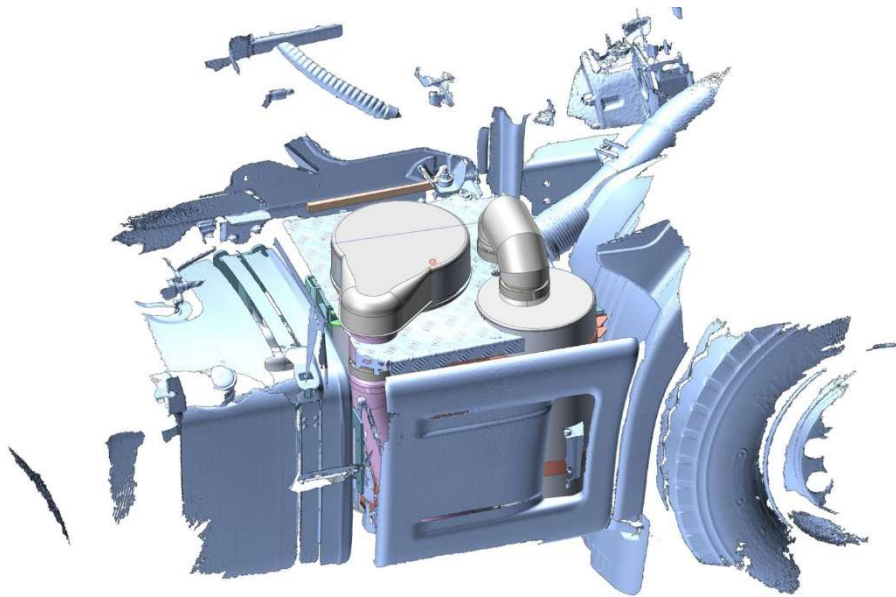


Abbildung 52: Scania R 420 – Integration System II

Scania 124 G

Änderungen für die Integration waren:

- Ausarbeitung neuer Halter für das SCR-System und den Tank
- Ausarbeitung eines neuen Eingangsrohres
- Anpassung der Lage des Ausgangsrohres
- Anpassen des Tankhalters

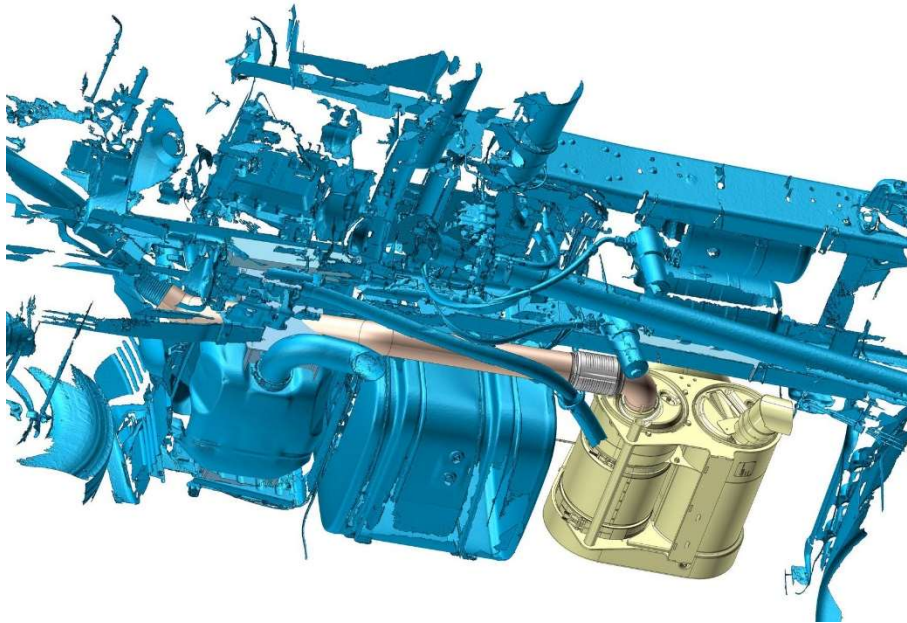


Abbildung 53: Scania 124 G – Integration des SCR-Systems und des Tanks

Volvo FH 12-420

Die Integration in den Volvo ist unter deutlichen Änderungen der Konstruktion des Systems und der Anordnung der Komponenten möglich. Hierzu war folgendes Vorgehen erforderlich:

- Umkonstruieren auf Heizkatalysators und Keramik 12"x10,5"DPF
- Separate Anordnung der Komponenten
- Ausarbeitung neuer Halter
- Konstruktion eines neuen Zwischenrohres

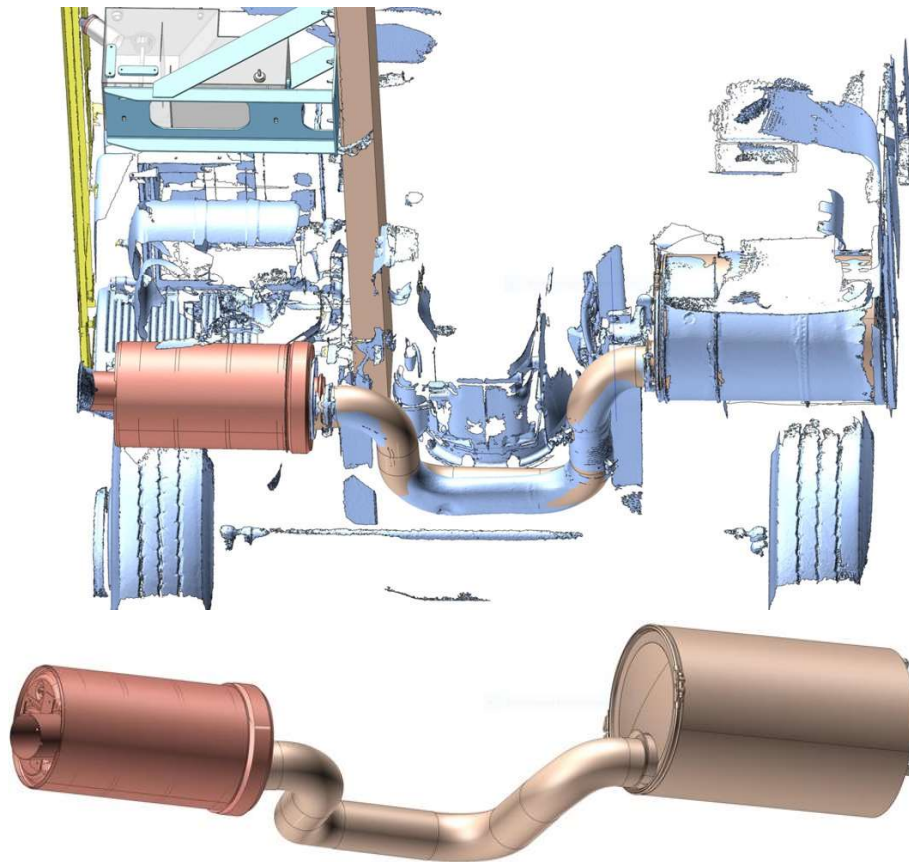


Abbildung 54: Volvo FH 12-420 – Integration des SCR-Systems mit neuer Anordnung der Komponenten und Zwischenrohr

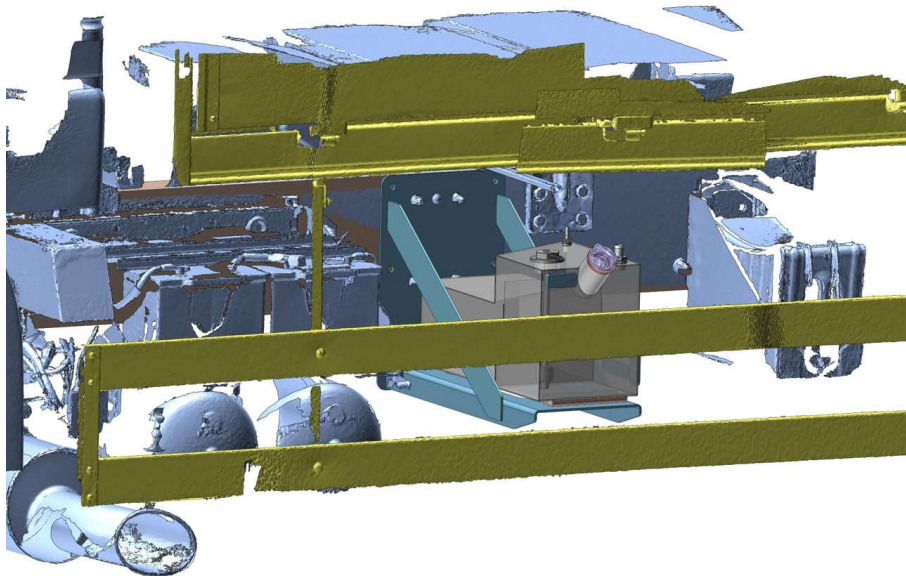


Abbildung 55: Volvo FH 12-420 – Integration des Tanks

Somit wurden für alle betrachteten Fahrzeuge erfolgreich Möglichkeiten ermittelt, um die ausgewählten SCR-Systeme unter entsprechenden Anpassungen in den jeweiligen Bauraum integrieren zu können.

V.Kernaspekt: Aktives Thermomanagement

Konventionelle Abgasnachbehandlungssysteme (AGN-Systeme) funktionieren hervorragend bei Abgastemperaturen größer 200 °C. Während den Betriebszeiten mit geringerer Abgastemperatur sind die Konvertierungseigenschaften der Katalysatoren aber nicht ausreichend für zukünftige Emissionsanforderungen. Das von HJS entwickelte Heizelement reduziert die Niedrigtemperaturzeiten durch Umwandlung von elektrischer Energie aus dem Bordnetz in Wärmeenergie für das Abgas.

Die beschriebenen Anforderungen wurden mittels einer Konstruktion umgesetzt, bei der ein robuster Heizleiter in keramischen Lagerungen geführt und isoliert und über eine formgebende Tragstruktur im Canning fixiert wird.

Nach dem Einschalten wird das Heizband vom Bordnetz elektrisch versorgt und heizt den Abgasmassestrom auf. Lokal können, je nach Auslegung, ca. 1000 °C im Heizer selbst erreicht werden. Damit lassen sich nachfolgende Komponenten wie Katalysatoren aber auch Mischelement deutlich schneller auf die notwendige Betriebstemperatur bringen.

Die Dimensionen des Heizleiters werden durch den gewünschten elektrischen Widerstand bestimmt. Dieser ist abhängig von dem verfügbaren Bordnetz und der benötigten Leistung.

Um die Kaltstartzeit möglichst klein zu halten ist für Nutzfahrzeuge eine elektrische Leistung von ca. 10 kW notwendig. Die Auslegung des Heizleiters geschieht unter Berücksichtigung der notwendigen Oberfläche für die Wärmeübertragung und die Limitierung durch den verfügbaren Bauraum. Ein guter Kompromiss ergibt sich für einen Heizleiter mit einer Breite von bis zu etwa 40 mm (Länge des Bauteils im Abgasstrang). Dies ist insbesondere dann gut zu realisieren, wenn eine Bordnetzspannung von 48V zur Verfügung steht.

Die Lagerung und elektrische Isolierung des Heizbandes wird durch Keramikeinsätze erreicht, diese werden in sogenannten Kammleisten geführt und stellen die Position des Heizbandes im Abgas sicher. Die Geometrie der Keramikeinsätze sorgt für eine spannungsfreie Längenausdehnung des Heizbandes bei Temperaturerhöhung.



Abbildung 56: HJS High-Power-E-Heater

Mit Hilfe dieses Lagerungskonzeptes ist eine einfache Skalierbarkeit des elektrischen Heizers möglich, da die Kammleisten leicht in der Länge zu modifizieren sind. Dadurch ist es möglich den elektrischen Heizer an verschiedene Applikationen zu adaptieren und an unterschiedliche Durchmesser und Formen (rund, oval, ...) im Abgassystem anzupassen. Parallel zum Design des Systems wurde die Betriebssicherheit via FEA abgesichert. Dabei wurden unterkritische thermomechanische Belastungen der eingesetzten Materialien sowie eine Eigenfrequenz, auch im heißen Zustand, von deutlich über 300 Hz erreicht.

VI. Validierung

Zur Absicherung der Dauerhaltbarkeit wurden die verwendeten Komponenten im Heizer bzgl. des Risikopotentials bewertet. Zur Bestätigung der Temperaturwechselfestigkeit werden zum Beispiel schon in einem frühen Reifegrad Schaltzyklendauerläufe durchgeführt. Der verwendete Testzyklus zeigt ein mögliches Betriebsverhalten. Mit bei geringem Volumenstrom angeschaltetem Gebläse wird der Heizer mit seiner Nennleistung von z.B. 10 kW bestromt. Dabei erwärmt sich das Heizband auf bis zu 600 °C und erhitzt den Luftmassenstrom von ca. 20 °C auf über 180 °C innerhalb einer sehr kurzen Betriebszeit (< 1 min). Danach wird die Last abgeschaltet und der Heizer wird durch das Gebläse so lange abgekühlt, bis die Temperatur nach dem Heizer wieder nahezu Umgebungstemperatur erreicht hat. Dieser Vorgang dauert ca. 2 min. Danach startet der Zyklus erneut. Nach ca. 100.000 durchgeführten Zyklen (5.000 Betriebsstunden) wurden keine Schädigungen im Heizer erkannt. Der Heizleiter zeigt leichte Verformungen, ist aber stabil in den Keramikeinsätzen gelagert. Ebenso sind keine Materialschäden erkennbar. Damit bestätigen die Ergebnisse des Schaltzyklentests die Dauerhaltbarkeit des Heizerkonzeptes.

Allerdings zeigen die Ergebnisse auch, dass für spätere Anwendungen ein zusätzlicher Fokus auf die weiteren Anbaukomponenten wie Kabel oder Anschlüsse gelegt werden muss. Hierfür ist ein intensiver Austausch zwischen HJS und den Anwendern notwendig.

Tests am Hotshake-Prüfstand bestätigen die Ergebnisse zur Simulation der Eigenfrequenz und zeigen auch die mechanische Haltbarkeit des Heizers unter von Kunden definierten RMS-Profilen.

VII. Funktionsuntersuchungen

Um die Funktionsweise des elektrischen Heizers vollständig simulieren zu können, mussten zunächst die materialspezifischen Randbedingungen beschrieben werden, die neben der Auslegung des Heizers die Wärmeübertragungseigenschaften beschreiben. Mittels Analyse über Conjugate Heat Transfer (CHT) wurde die Bestimmung der Wärmeübergangskoeffizienten (HTC) für mehrere Betriebspunkte (Abgasmassenstrom / Abgastemperatur) durchgeführt. Diese ermittelte Matrix liefert die Eingangsdaten für die 3-D-Heizer-CFD und die 1D-Modellsimulation der gesamten EAT-Systemauslegung.

Nachfolgend werden beispielhaft Ergebnisse einer 1D-Simulation (ohne Berücksichtigung des zusätzlichen Temperaturanstiegs durch die generatorbedingte höhere Motorarbeit) für einen 12,8 L Euro VI HD-Dieselmotor gezeigt. Dabei ergibt sich beim gestarteten WHTC ergibt eine Temperatur hinter dem elektrischen Heizer von $>200^\circ\text{C}$ nach 45 Sekunden, obwohl die Abgastemperatur vor dem Heizer nur ca. 100°C beträgt. Betrachtet man die für die NO_x -Reduktion wichtigeren Eintrittstemperaturen in den SCR-Katalysator, wird deutlich, dass ohne zusätzliche Maßnahmen die Temperatur vom 200°C erst nach 125 Sekunden erreicht wird, bei kontinuierlich mit 10 kW Leistung betriebenen E-Heizer jedoch bereits nach knapp 50 Sekunden (siehe Bild 4). Im weiteren Verlauf des Prüfzyklus bleibt die Temperatur des nachgeschalteten SCR aufgrund der Heizleistung von 10 kW und der thermischen Trägheit der Substrate auch dann konstant ÜBER 200°C , wenn die Temperatur direkt hinter dem Heizer unter 200°C fällt.

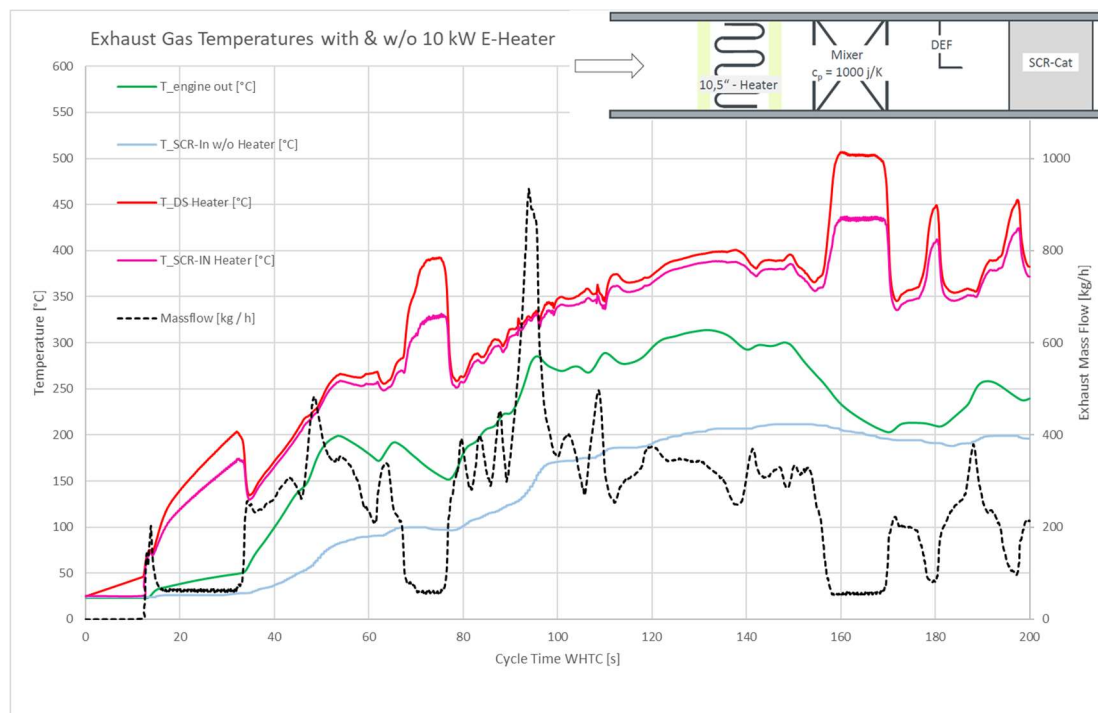


Abbildung 57: Simulation des E-Heizerverhaltens im kalten WHTC bei einem 12,8 L EU VI HD-Motor

Nachdem via Simulation des Betriebsverhalten mit einem 10 kW E-Heizer das Potential zur Aufheizung des Abgases direkt nach dem Kaltstart dargestellt werden konnte, stellt sich natürlich die Frage, welchen Einfluss dies in der Realität auf das Emissionsverhalten hat. Um das Emissionsminderungspotential zukünftiger Antriebskonzept zu untersuchen, wurde gemeinsam mit der FEV die Euro VI Zugmaschine eines 40-Tonnen-LKW mit einem neuen Abgasnachbehandlungssystem (siehe Abbildung 58) mit 10 kW E-Heizer und autarker Steuerung ausgerüstet. So besteht die Möglichkeit unabhängig von der Motorsteuerung die Emissionsverbesserung durch das neue AGN-System sowohl mit als auch ohne E-Heizer mit dem Ausgangszustand zu vergleichen.

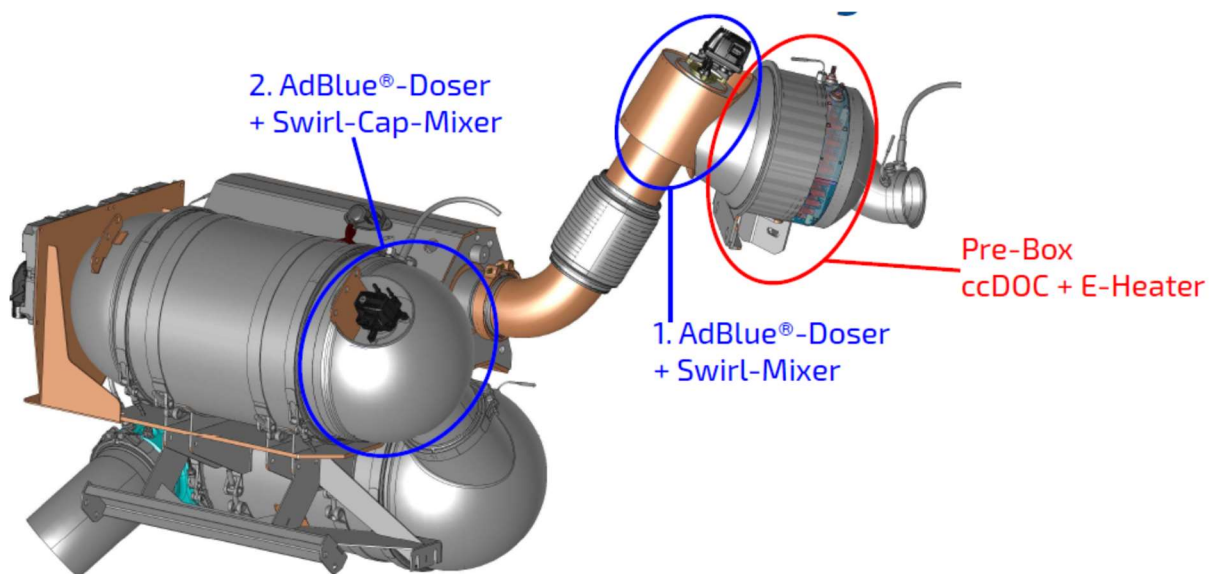


Abbildung 58: Advanced HD-AGN-System mit Twin Dosing und E-Heizer

Der Einfluss des Heizers auf die NO_x -Emissionen ist in Abbildung 59 exemplarisch in einem städtischen Lieferzyklus mit nur 10 % Nutzlast dargestellt. Die Emissionswerte werden über den ca. 50-minütigen Zyklus aufkumuliert dargestellt und zeigen am Endrohr etwa 50 % niedrigere Werte mit eingeschaltetem Heizer (durchgezogene Linie) als ohne (gestrichelt).

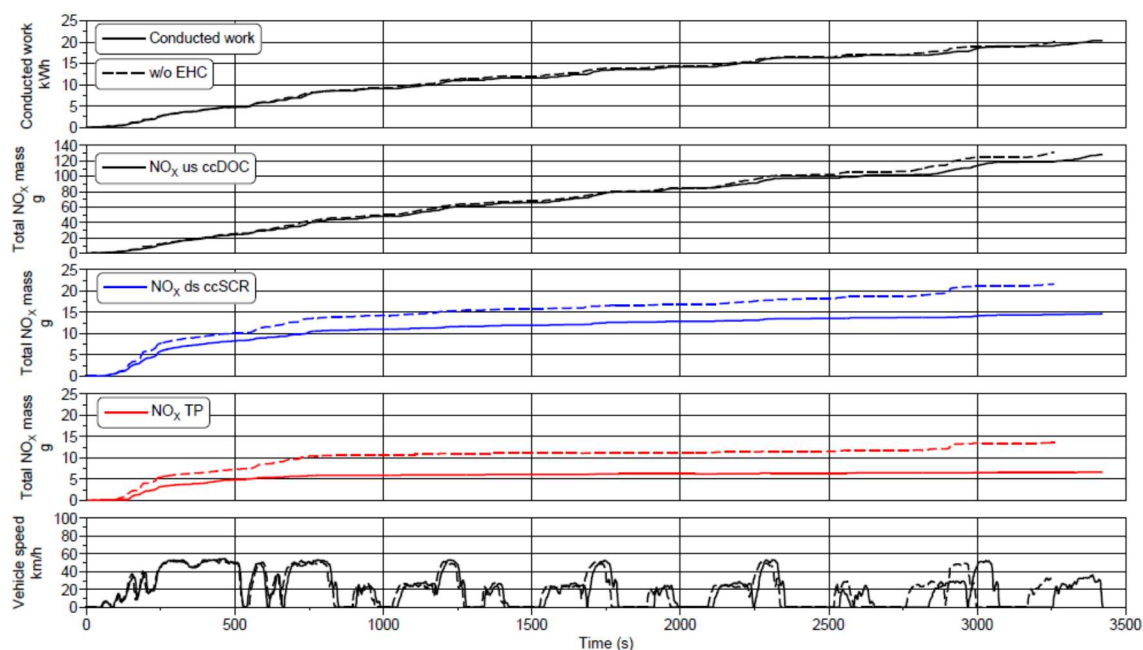


Abbildung 59: Einfluss des E-Heizers auf die NO_x-Emissionen eines Sattelzuges mit Advanced HD-AGN-System im Niedriglastbetrieb

Diese Ergebnisse verdeutlichen sehr gut das Potential zur zusätzlichen NO_x-Minderung durch Verwendung des elektrischen HJS-Heizers sowohl bei extremer Niedriglast als auch direkt nach dem Kaltstart.

VIII. Fazit:

Die Nachrüstung mit der bewährten HJS SCRT®-Technologie – erweitert um aktives Thermomanagement – sorgt bei Nutzfahrzeugen im Stadtbetrieb für eine bestmögliche Senkung der Stickoxid-Emissionen. Moderne Nutzfahrzeuge 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 als Mitinhaber des SCRT®-Patent eine Nachrüstlösung mit aktiven Thermomanagement basierend auf dieser AdBlue®-Technologie. Die zum Patent angemeldete Lösung des etablierten Systemlieferanten HJS 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 NO_x Reduktion realisiert wird – ohne dabei Einfluss auf den Motor zu nehmen.

IX. Liste der erteilten „Allgemeinen Betriebserlaubnis“ für unterschiedliche Fahrzeugsegmente:

ABE Nr.	Typenbezeichnung	Fahrzeugsegmente
17311	SCR-01	Leichte Handwerker- und Lieferfahrzeuge
17316	SCR-02	Leichte Handwerker- und Lieferfahrzeuge
17329	SCR-03	Schwere Handwerker- und Lieferfahrzeuge
17308	SCRT-04	Schwere Kommunalfahrzeuge
17333	SCRT-05	Schwere Kommunalfahrzeuge
17337	SCRT-06	Schwere Kommunalfahrzeuge
17338	SCRT-08	Schwere Kommunalfahrzeuge
17343	SCRT-09	Schwere Kommunalfahrzeuge
17340	SCRT-10	Schwere Kommunalfahrzeuge
17344	SCRT-11	Schwere Kommunalfahrzeuge
17345	SCRT-12	Schwere Kommunalfahrzeuge
beantragt	SCRT-13	