

TEXTE

108/2024

Schlussbericht

Weiterentwicklung der Abgasuntersuchung (AU)

Erprobung von NO_x-Messverfahren in der Fläche

von:

Frank Schneider
TÜV-Verband e.V., Berlin

Harald Hahn
ASA-Verband, Bad Reichenhall

Thomas Ost, Max Holtermüller, Patrick Thuro
DEKRA SE, Stuttgart

Helge Schmidt, André Vogel, Tobias Immel
TÜV Nord Mobilität GmbH, Essen

Jiri Vejsada, Manfred Wecking
TÜV Rheinland Kraftfahrt GmbH, Köln

Gerhard Müller, Ludwig Müller
TÜV SÜD Auto Service, München

Hans-Walter Kaumanns
ZDK, Bonn

Herausgeber:

Umweltbundesamt

TEXTE 108/2024

Ressortforschungsplan des Bundesministeriums für
Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit

Forschungskennzahl 3721 57 102 0

FB001471

Schlussbericht

Weiterentwicklung der Abgasuntersuchung (AU)

Erprobung von NO_x-Messverfahren in der Fläche

von

Frank Schneider
TÜV-Verband e.V., Berlin

Harald Hahn
ASA-Verband, Bad Reichenhall

Thomas Ost, Max Holtermüller, Patrick Thuro
DEKRA SE, Stuttgart

Helge Schmidt, André Vogel, Tobias Immel
TÜV Nord Mobilität GmbH, Essen

Jiri Vejsada, Manfred Wecking
TÜV Rheinland Kraftfahrt GmbH, Köln

Gerhard Müller, Ludwig Müller
TÜV SÜD Auto Service, München

Hans-Walter Kaumanns
ZDK, Bonn

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

Impressum

Herausgeber

Umweltbundesamt
Wörlitzer Platz 1
06844 Dessau-Roßlau
Tel: +49 340-2103-0
Fax: +49 340-2103-2285
buergerservice@uba.de
Internet: www.umweltbundesamt.de

Durchführung der Studie:

TÜV-Verband e.V.
Friedrichstraße 136
10117 Berlin

Abschlussdatum:

März 2024

Redaktion:

Fachgebiet I 2.2 Schadstoffminderung und Energieeinsparung im Verkehr
Helge Jahn

Publikationen als pdf:

<http://www.umweltbundesamt.de/publikationen>

ISSN 1862-4804

Dessau-Roßlau, August 2024

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autorinnen und Autoren.

Kurzbeschreibung: Weiterentwicklung der Abgasuntersuchung (AU)

Die vorliegende Studie leistet einen wichtigen Beitrag, um die periodische Abgasuntersuchung auf die Überprüfung des Luftschadstoffs NO_x auszuweiten und damit zu einer nachhaltigen Verbesserung der Luftqualität beizutragen. Schäden, Verschleiß oder gar Manipulationen an den mittlerweile hochkomplexen Abgasnachbehandlungssystemen von Kraftfahrzeugen (Personenkraftwagen und Nutzfahrzeuge) mit Dieselmotor führen zu einem Anstieg der Emissionen um das bis zu 100-fache und könnten durch eine Erweiterung der periodischen Abgasuntersuchung wirkungsvoll detektiert werden. NO_x entsteht bei der Verbrennung des Kraftstoffs insbesondere bei hohen Temperaturen und entsprechender Motorlast. Dieser Sachverhalt stellt, neben der Fahrzeugkonditionierung und der noch unzureichenden Bedatung des OBD-Systems, die große Herausforderung des Projektes dar, um eine vergleichbare und reproduzierbare, praxistaugliche und kosteneffiziente Abgasmessprozedur zu entwickeln. Das im Jahr 2019 abgeschlossene Forschungsprojekt des Umweltbundesamtes „Fortentwicklung der Abgasuntersuchung“ [1] favorisierte zwei dynamische NO_x-Messverfahren für Diesel-Fahrzeuge, den sogenannten Acceleration Simulation Mode 20 (ASM20-Zyklus) und die Kurzstreckenfahrt. Anhand dieser beiden Messverfahren wurden nun in einem Feldversuch mit 33 Fahrzeugen unterschiedlicher Hersteller, Motorisierungsgrade und Fahrzeugklassen das NO_x-Verhalten untersucht. Vorangegangen war eine umfangreiche Analyse der OBD-Bedatungssituation, um für diese Messverfahren wichtige Informationen aus dem OBD-System verlässlich identifizieren zu können. Mit betrachtet wurde bei einem Großteil der Versuchsfahrzeuge auch die zwischenzeitlich von der EU-Kommission vorgestellte „Hot Idling“-Methode zur NO_x-Messung.

Um die Abgasnachbehandlungssysteme zur Reduzierung von NO_x-Emissionen zuverlässig überprüfen zu können, ist eine Fahrzeugkonditionierung erforderlich, die eine Temperatur von mindestens 180 °C im Abgasstrang erzeugt. Diese Abgastemperatur ist erforderlich, um die katalytische Wirkung des eingespritzten Harnstoffs mit dem Abgas zu ermöglichen (Selective Catalytic Reduction (SCR)). Die Untersuchungen ergaben, dass der ASM20-Zyklus grundsätzlich für die Fahrzeugkonditionierung geeignet ist, um die NO_x-Emissionen im Rahmen der periodischen Abgasuntersuchung zu überprüfen. Die Kurzstreckenfahrt ist in der aktuellen Form für die Konditionierung hingegen ungeeignet.

Die Bedatungssituation im OBD-System der untersuchten Fahrzeuge ist nicht ausreichend, um das Erreichen der erforderlichen SCR-Temperatur zu ermitteln. Lediglich bei rund 70 Prozent der untersuchten Fahrzeuge konnten die notwendigen Messgrößen ausgelesen und für die Untersuchung genutzt werden. Hier sind verbindliche Vorgaben für die Fortschreibung der Typgenehmigungsgesetzgebung erforderlich um diese Messgrößen im OBD-System durchgängig standardisiert zu bedaten, bereitzustellen und für die periodische Abgasuntersuchung verwendbar zu machen. Die neue Euro 7-Regulierung wäre hierfür ein geeignetes Momentum, um diese wichtigen Stellgrößen für eine neu einzuführende NO_x-Messung in den noch zu erstellenden delegierten Rechtsakten verbindlich vorzuschreiben.

Abstract: The future development of exhaust emission testing (AU)

The primary objective of this investigation is to expand the scope of periodic exhaust emission testing by incorporating monitoring of the air pollutant nitrogen oxides (NO_x), thereby fostering sustainable enhancements in air quality. Deterioration, wear, or intentional manipulation of the intricate exhaust gas aftertreatment systems used in both passenger and commercial vehicles with diesel engines can result in emissions increase of up to several orders of magnitude, making their detection pivotal through an extended regime of periodic exhaust gas testing.

The formation of NO_x emissions predominantly occurs during fuel combustion, particularly under conditions of elevated temperatures and corresponding engine loads. Among myriad challenges, the salient issue confronting this project involves the development of a comparable, reproducible, pragmatic, and cost-effective exhaust gas measurement protocol.

The research project “Advancement of Exhaust Emission Testing” [1], conducted by the Federal Environment Agency and concluded in 2019, endorsed two dynamic NO_x measurement techniques for diesel vehicles: the Acceleration Simulation Mode 20 (ASM20 cycle) and short-distance driving. These methods were employed to investigate the NO_x emissions of 33 vehicles across various manufacturers, engine sizes, and vehicle classes in a field test. Preceding these assessments, an exhaustive analysis of the On-Board Diagnostics (OBD) data landscape was conducted to ascertain the reliability of critical information retrieved from the OBD system for these measurement methodologies. Moreover, consideration was given to the “hot idling” method for NO_x measurement, introduced subsequently by the EU Commission, for a majority of the test vehicles.

To reliably test exhaust gas aftertreatment systems aimed at reducing NO_x emissions, a vehicle conditioning system is necessary. This system must generate temperatures of at least 180°C within the exhaust tract. These elevated temperatures are crucial for activating the catalytic effect of injected urea within the exhaust gas, a process known as Selective Catalytic Reduction (SCR).

The outcomes of the analyses revealed the overall suitability of the ASM20 cycle and short-distance driving for vehicle conditioning and evaluating NO_x emissions within the ambit of periodic emissions testing. In contrast, short-distance driving in its current form is unsuitable for conditioning.

Nevertheless, the prevailing state of OBD system data availability falls short in accurately determining the requisite SCR temperature, with only approximately 70 percent of the tested vehicles permitting access to the requisite measured variables for this purpose. The imposition of binding specifications within type approval frameworks, constituting construction regulations, is imperative to standardize these measured variables within the OBD system, thereby rendering them universally accessible and available for integration into periodic emissions testing protocols.

The new the Euro 7 regulation, currently under deliberation, presents an opportune juncture to institutionalize these critical parameters, thereby facilitating the incorporation of a novel NO_x measurement framework in forthcoming delegated acts.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	9
Tabellenverzeichnis.....	14
Abkürzungsverzeichnis.....	15
Zusammenfassung.....	17
Summary	20
1 Projektanlass	24
2 Mess- und Diagnosetechnik / Fahrzeugauswahl.....	26
2.1 AVL-DSS Recorder.....	26
2.2 Horiba Rollenprüfstand	27
2.3 Mobile Messtechnik	28
2.4 Chemilumineszenz Detektion (CLD)	28
2.5 Fahrzeugauswahl – Methodischer Ablauf.....	28
3 Arbeitspaket 1: Fahrzeugkonditionierung.....	30
3.1 Fahrzeugauswahl Arbeitspaket 1	35
3.2 Beschreibung der Messprozeduren und Messgeräte	35
3.2.1 ASM20.....	35
3.2.2 Kurzfahrt Straße	36
3.2.3 Stationäre Verfahren	37
3.2.3.1 Freie Beschleunigung (Kick-Down)	37
3.2.3.2 Drehzahlpumpen	38
3.3 Vorbereitung der Messungen an einzelnen Fahrzeugen	39
3.3.1 Durchführung der OBD-Messungen.....	39
3.3.2 Validierung der verwendeten NO _x -Messgeräte.....	41
3.4 Messprogramm Arbeitspaket 1.....	45
3.4.1 Ergebnisse Fahrzeug 1.....	47
3.4.2 Ergebnisse Fahrzeug 2.....	60
3.4.3 Ergebnisse Fahrzeug 3.....	67
3.4.4 Ergebnisse Fahrzeug 4.....	76
3.5 Fazit Arbeitspaket 1 / Weitere Vorgehensweise.....	85
4 Arbeitspaket 2 Erprobung und Weiterentwicklung der NO _x -Messverfahren im Feld.....	86
4.1 Allgemeine Vorgehensweise zur Weiterentwicklung der Messmethode	86
4.1.1 ASM20 mit vorheriger Warmfahrt von 4 min auf dem Rollenprüfstand.....	86
4.1.2 Straßenkurzfahrten	86
4.2 Fahrzeugauswahl Arbeitspaket 2	86

4.3	Messergebnisse zu Fahrzeug 5-16.....	88
4.3.1	Messergebnisse ASM20	88
4.3.2	Messergebnisse 15x Kurzfahrt.....	93
4.4	Zwischenfazit zu den Fahrzeugen 5-16	97
4.5	Weitergehende Analyse der Messprozedur für die Fahrzeuge 17-30	98
4.5.1	Warmfahren mit einer Stadtfahrt.....	99
4.5.2	Warmfahren + 10 x ASM20 + 15 min Leerlauf.....	100
4.5.3	15x Kurzfahrt Straße	106
4.6	Messungen an Fahrzeugen mit Fehlersimulation am SCR-System	112
4.6.1	Warmfahren + 10x ASM20 + 15min Leerlauf.....	113
4.6.2	15 x Kurzfahrt Straße	118
4.7	Vergleich der Methoden ASM20 und Kurzfahrt Straße	123
4.8	Untersuchung der Hot-Idling-Methode nach ASM20-Zyklen.....	125
4.9	Tabellarische Zusammenfassung der Messwerte zu Fahrzeug 17-30.....	127
4.10	Nutzung der OBD-Daten.....	129
4.11	Abschätzung des künftigen Zeitaufwandes für eine zusätzliche NO _x -Messung an Fahrzeugen mit Dieselmotor	130
4.12	Untersuchung der beiden Messmethoden an Fahrzeugen mit Benzinmotor.....	131
4.12.1	Warmfahren + 10 x ASM20 + 15 min Leerlauf.....	133
4.12.2	15x Kurzfahrt Straße	134
4.12.3	Messung entsprechend AU-Prozedur (Leerlauf + erhöhter Leerlauf)	137
4.12.4	Fazit zu Untersuchungen an Fahrzeugen mit Benzinmotor.....	143
5	Diskussion der Ergebnisse	144
6	Arbeitspaket 3: Revisionsvorschlag für Richtlinie 2014/45/EU über die regelmäßige technische Überwachung von Kraftfahrzeugen	147
7	Quellenverzeichnis	153
A	Anhang.....	155
A.1	Überblick Bedatung der Fahrzeuge	155
A.2	Messergebnisse Fahrzeug 5-16	159
A.2.1	ASM20-Fahrzyklen	159
A.2.2	Kurzfahrt Straße	171
A.3	Messergebnisse Fahrzeug 17-30	183
A.3.1	Warmfahren + 10xASM20 + 15min Leerlauf.....	183
A.3.2	15x Kurzfahrt Straße	197
A.4	Tabelle zur Auswertung Fahrzeug 17-30.....	211

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Effektivität einzelner Nachbehandlungssysteme nach Motorbetriebsbereich.....	24
Abbildung 2:	AVL VCI 1000 und Benutzeroberfläche der zugehörigen DSS-Software	26
Abbildung 3:	Prüffahrzeug auf Horiba Rollenprüfstand	27
Abbildung 4:	Beispiel einer vollständigen Bedatung aller PID mit fiktiven physikalischen Werten.....	32
Abbildung 5:	Real gemessene Messwerte (PIDs) an einem Volkswagen Passat	33
Abbildung 6:	Motortyp EA288 mit den Positionen der vier Temperatursonden S1 bis S4 (Positionen 8;10;5;16)	34
Abbildung 7:	Schematische Abfolge der ASM20 Prozedur	36
Abbildung 8:	Schematische Darstellung der Straßenkurzfahrt.....	37
Abbildung 9:	Schematische Darstellung der freien Beschleunigung (Kick Down)	38
Abbildung 10:	Schematische Darstellung des Drehzahlpumpens (Rotation Speed Pump).....	39
Abbildung 11:	Beispielmessung zur OBD-Datenaufzeichnung – Temperaturen und Fahrzeuggeschwindigkeit	40
Abbildung 12:	Beispielmessung zur OBD-Datenaufzeichnung – NO _x -Werte der fahrzeuginternen Sonden.....	41
Abbildung 13:	Vergleich der Messergebnisse von 3DATX, Knestel CLD und Rollenprüfstand (Horiba).....	42
Abbildung 14:	Vergleich unterschiedlicher Messfrequenzen.....	44
Abbildung 15:	Übersicht OBD-Bedatung der Fahrzeuge.....	46
Abbildung 16:	Fahrzeug 1 – Messung 1 – OBD-Daten und NO _x -Verlauf.....	48
Abbildung 17:	Fahrzeug 1 – Messung 2 – OBD-Daten und NO _x -Verlauf.....	50
Abbildung 18:	Fahrzeug 1 – Messung 3 – OBD-Daten und NO _x -Verlauf.....	51
Abbildung 19:	Fahrzeug 1 – Messung 4 – OBD-Daten und NO _x -Verlauf.....	52
Abbildung 20:	Mittelwertbildung zu Fahrzeug 1 – Messung 4	53
Abbildung 21:	Fahrzeug 1 – Messung 5 – OBD-Daten und NO _x -Verlauf.....	54
Abbildung 22:	Fahrzeug 1 – Messung 6 – OBD-Daten und NO _x -Verlauf.....	56
Abbildung 23:	Fahrzeug 1 – Messung 7 – OBD-Daten und NO _x -Verlauf.....	57
Abbildung 24:	Fahrzeug 1 – Messung 8 – OBD-Daten und NO _x -Verlauf.....	58
Abbildung 25:	Fahrzeug 1 – Messung 9 – OBD-Daten und NO _x -Verlauf.....	59
Abbildung 26:	OBD-Bedatung Fahrzeug 2	60
Abbildung 27:	Fahrzeug 2 – Messung 1 – OBD-Daten und NO _x -Verlauf.....	61
Abbildung 28:	Fahrzeug 2 – Messung 2 – OBD-Daten und NO _x -Verlauf.....	62
Abbildung 29:	Fahrzeug 2 – Messung 3 – OBD-Daten und NO _x -Verlauf.....	63

Abbildung 30:	Fahrzeug 2 – Messung 4 – OBD-Daten und NO _x -Verlauf.....	64
Abbildung 31:	Fahrzeug 2 – Messung 5 – OBD-Daten und NO _x -Verlauf.....	65
Abbildung 32:	Fahrzeug 2 – Messung 6 – OBD-Daten und NO _x -Verlauf.....	66
Abbildung 33:	Fahrzeug 3 – Messung 1 – OBD-Daten und NO _x -Verlauf.....	68
Abbildung 34:	Fahrzeug 3 – Messung 2 – OBD-Daten und NO _x -Verlauf.....	70
Abbildung 35:	Fahrzeug 3 – Messung 3 – OBD-Daten und NO _x -Verlauf.....	71
Abbildung 36:	Fahrzeug 3 – Messung 4 – OBD-Daten und NO _x -Verlauf.....	72
Abbildung 37:	Fahrzeug 3 – Messung 5 – OBD-Daten und NO _x -Verlauf.....	74
Abbildung 38:	Fahrzeug 3 – Messung 5 – OBD-Daten und NO _x -Verlauf.....	75
Abbildung 39:	Fahrzeug 4 – Messung 1 – OBD-Daten und NO _x -Verlauf.....	77
Abbildung 40:	Fahrzeug 4 – Messung 2 – OBD-Daten und NO _x -Verlauf.....	79
Abbildung 41:	Fahrzeug 4 – Messung 3 – OBD-Daten und NO _x -Verlauf.....	81
Abbildung 42:	Fahrzeug 4 – Messung 4 – OBD-Daten und NO _x -Verlauf.....	82
Abbildung 43:	Fahrzeug 4 – Messung 5 – OBD-Daten und NO _x -Verlauf.....	83
Abbildung 44:	Fahrzeug 4 – Messung 5 – OBD-Daten und NO _x -Verlauf.....	84
Abbildung 45:	Fahrzeug 8 – 10x ASM20 – OBD-Daten und NO _x -Verlauf.....	89
Abbildung 46:	Fahrzeug 9 – 10x ASM20 – OBD-Daten und NO _x -Verlauf.....	90
Abbildung 47:	Fahrzeug 13 – 10x ASM20 – OBD-Daten und NO _x -Verlauf.....	91
Abbildung 48:	Fahrzeug 15 – 10x ASM20 – OBD-Daten und NO _x -Verlauf.....	92
Abbildung 49:	Fahrzeug 8 – 15x Kurzfahrt – OBD-Daten und NO _x -Verlauf.....	93
Abbildung 50:	Fahrzeug 9 – Kurzfahrt – OBD-Daten und NO _x -Verlauf.....	94
Abbildung 51:	Fahrzeug 13 – 15x Kurzfahrt – OBD-Daten und NO _x -Verlauf.....	95
Abbildung 52:	Fahrzeug 15 – 15x Kurzfahrt – OBD-Daten und NO _x -Verlauf.....	96
Abbildung 53:	Stadtfahrt mit maximal 50km/h – OBD-Daten.....	99
Abbildung 54:	Fahrzeug 19 – Warmfahren + 10x ASM20 + 15min Leerlauf – OBD-Daten und NO _x -Verlauf.....	100
Abbildung 55:	Fahrzeug 20 – Warmfahren + 10x ASM20 + 15min Leerlauf – OBD-Daten und NO _x -Verlauf.....	101
Abbildung 56:	Fahrzeug 27 – Warmfahren + 10x ASM20 + 15min Leerlauf – OBD-Daten und NO _x -Verlauf.....	102
Abbildung 57:	Fahrzeug 28 – Warmfahren + 10x ASM20 + 15min Leerlauf – OBD-Daten und NO _x -Verlauf.....	103
Abbildung 58:	Fahrzeug 29 – Warmfahren + 10x ASM20 + 15min Leerlauf – OBD-Daten und NO _x -Verlauf.....	104
Abbildung 59:	Fahrzeugvergleich über 10xASM20.....	105
Abbildung 60:	Fahrzeug 19 – 15x Kurzfahrt Straße – OBD-Daten und NO _x -Verlauf.....	106

Abbildung 61:	Fahrzeug 20 – 15x Kurzfahrt Straße – OBD-Daten und NO _x -Verlauf	107
Abbildung 62:	Fahrzeug 27 – 15x Kurzfahrt Straße – OBD-Daten und NO _x -Verlauf	108
Abbildung 63:	Fahrzeug 28 – 15x Kurzfahrt Straße – OBD-Daten und NO _x -Verlauf	109
Abbildung 64:	Fahrzeug 29 – 15x Kurzfahrt Straße – OBD-Daten und NO _x -Verlauf	110
Abbildung 65:	Fahrzeugvergleich über 15x Straßenkurzfahrt	111
Abbildung 66:	Demontage des Harnstoffeinspritzventils und Abdichtung der Öffnung	112
Abbildung 67:	Messung zu Fehlersimulation an Fahrzeug 27: 10x ASM20	113
Abbildung 68:	Messung zur Fehlersimulation an Fahrzeug 28: 10 x ASM20	114
Abbildung 69:	Messung zu Fehlersimulation an Fahrzeug 29: 10x ASM20	115
Abbildung 70:	Messung zu Fehlersimulation an Fahrzeug 30: 10x ASM20	117
Abbildung 71:	Messung zu Fehlersimulation an Fahrzeug 27: 15x Kurzfahrt	118
Abbildung 72:	Messung zu Fehlersimulation an Fahrzeug 28: 15x Kurzfahrt	119
Abbildung 73:	Messung zu Fehlersimulation an Fahrzeug 29: 15 x Kurzfahrt	120
Abbildung 74:	Messung zu Fehlersimulation an Fahrzeug 30: 15x Kurzfahrt	121
Abbildung 75:	Vergleich der Methoden während der Fahrzyklen	123
Abbildung 76:	Vergleich der Methoden nach Fahrzyklen im Leerlauf	124
Abbildung 77:	Hot Idling nach 10 x ASM20	125
Abbildung 78:	Hot Idling – Haltedauer nach 10 x ASM20	125
Abbildung 79:	Tabellarische Zusammenfassung der Messwerte zu Fahrzeug 17-30	128
Abbildung 80:	Konvertierungsrate eines Drei-Wege-Katalysators	132
Abbildung 81:	Fahrzeug 31 – Warmfahren + 10xASM20 + 15min Leerlauf – OBD-Daten und NO _x -Verlauf	133
Abbildung 82:	Fahrzeug 31 – 15x Kurzfahrt Straße – OBD-Daten und NO _x -Verlauf	134
Abbildung 83:	Fahrzeug 32 – 15x Kurzfahrt Straße – OBD-Daten und NO _x -Verlauf	135
Abbildung 84:	Fahrzeug 33 – 15x Kurzfahrt Straße – OBD-Daten und NO _x -Verlauf	136
Abbildung 85:	Fahrzeug 31 – AU-Prozedur (Leerlauf + erhöhter Leerlauf) – OBD-Daten und NO _x -Verlauf	138
Abbildung 86:	Fahrzeug 32 – AU-Prozedur (Leerlauf + erhöhter Leerlauf) – OBD-Daten und NO _x -Verlauf	139
Abbildung 87:	Fahrzeug 32 – AU-Prozedur mit eingeschalteten Verbrauchern – OBD-Daten und NO _x -Verlauf	140
Abbildung 88:	Fahrzeug 33 – AU-Prozedur (Leerlauf + erhöhter Leerlauf) – OBD-Daten und NO _x -Verlauf	141
Abbildung 89:	Fahrzeug 33 – AU-Prozedur mit eingeschalteten Verbrauchern – OBD-Daten und NO _x -Verlauf	142
Abbildung 90:	Ablaufdiagramm zu Prüfablauf "Hot Idling"	152

Abbildung 91:	OBD-Bedatung der Fahrzeuge	155
Abbildung 92:	Fahrzeug 5 – 10x ASM2050 – OBD-Daten und NO _x -Verlauf	159
Abbildung 93:	Fahrzeug 6 – 10x ASM2050 – OBD-Daten und NO _x -Verlauf	160
Abbildung 94:	Fahrzeug 7 – 10x ASM2050 – OBD-Daten und NO _x -Verlauf	161
Abbildung 95:	Fahrzeug 8 – 10x ASM20 – OBD-Daten und NO _x -Verlauf	162
Abbildung 96:	Fahrzeug 9 – 10x ASM20 – OBD-Daten und NO _x -Verlauf	163
Abbildung 97:	Fahrzeug 10 – 10x ASM20 – OBD-Daten und NO _x -Verlauf	164
Abbildung 98:	Fahrzeug 11 – 10x ASM20 – OBD-Daten und NO _x -Verlauf	165
Abbildung 99:	Fahrzeug 12 – 10x ASM20 – OBD-Daten und NO _x -Verlauf	166
Abbildung 100:	Fahrzeug 13 – 10x ASM20 – OBD-Daten und NO _x -Verlauf	167
Abbildung 101:	Fahrzeug 14 – 10x ASM20 – OBD-Daten und NO _x -Verlauf	168
Abbildung 102:	Fahrzeug 15 – 10x ASM20 – OBD-Daten und NO _x -Verlauf	169
Abbildung 103:	Fahrzeug 16 – 10x ASM20 – OBD-Daten und NO _x -Verlauf	170
Abbildung 104:	Fahrzeug 5 – 15x Kurzfahrt Straße – OBD-Daten und NO _x -Verlauf	171
Abbildung 105:	Fahrzeug 6 – 15x Kurzfahrt Straße – OBD-Daten und NO _x -Verlauf	172
Abbildung 106:	Fahrzeug 7 – 15x Kurzfahrt Straße – OBD-Daten und NO _x -Verlauf	173
Abbildung 107:	Fahrzeug 8 – 15x Kurzfahrt Straße – OBD-Daten und NO _x -Verlauf	174
Abbildung 108:	Fahrzeug 9 – 15x Kurzfahrt Straße – OBD-Daten und NO _x -Verlauf	175
Abbildung 109:	Fahrzeug 10 – 15x Kurzfahrt Straße – OBD-Daten und NO _x -Verlauf	176
Abbildung 110:	Fahrzeug 11 – 15x Kurzfahrt Straße – OBD-Daten und NO _x -Verlauf	177
Abbildung 111:	Fahrzeug 12 – 15x Kurzfahrt Straße – OBD-Daten und NO _x -Verlauf	178
Abbildung 112:	Fahrzeug 13 – 15x Kurzfahrt Straße – OBD-Daten und NO _x -Verlauf	179
Abbildung 113:	Fahrzeug 14 – 15x Kurzfahrt Straße – OBD-Daten und NO _x -Verlauf	180
Abbildung 114:	Fahrzeug 15 – 15x Kurzfahrt Straße – OBD-Daten und NO _x -Verlauf	181
Abbildung 115:	Fahrzeug 16 – 15x Kurzfahrt Straße – OBD-Daten und NO _x -Verlauf	182
Abbildung 116:	Fahrzeug 17 – Warmfahren + 10x ASM20 + 15min Leerlauf – OBD-Daten und NO _x -Verlauf	183
Abbildung 117:	Fahrzeug 18 – Warmfahren + 10x ASM20 + 15min Leerlauf – OBD-Daten und NO _x -Verlauf	184
Abbildung 118:	Fahrzeug 19 – Warmfahren + 10x ASM20 + 15min Leerlauf – OBD-Daten und NO _x -Verlauf	185
Abbildung 119:	Fahrzeug 20 – Warmfahren + 10x ASM20 + 15min Leerlauf – OBD-Daten und NO _x -Verlauf	186
Abbildung 120:	Fahrzeug 21 – Warmfahren + 10x ASM20 + 15min Leerlauf – OBD-Daten und NO _x -Verlauf	187

Abbildung 121:	Fahrzeug 22 – Warmfahren + 10x ASM20 + 15min Leerlauf – OBD-Daten und NO _x -Verlauf.....	188
Abbildung 122:	Fahrzeug 23 – Warmfahren + 10x ASM20 + 15min Leerlauf – OBD-Daten und NO _x -Verlauf.....	189
Abbildung 123:	Fahrzeug 24 – Warmfahren + 10x ASM20 + 15min Leerlauf – OBD-Daten und NO _x -Verlauf.....	190
Abbildung 124:	Fahrzeug 25 – Warmfahren + 10x ASM20 + 15min Leerlauf – OBD-Daten und NO _x -Verlauf.....	191
Abbildung 125:	Fahrzeug 26 – Warmfahren + 10x ASM20 + 15min Leerlauf – OBD-Daten und NO _x -Verlauf.....	192
Abbildung 126:	Fahrzeug 27 – Warmfahren + 10x ASM20 + 15min Leerlauf – OBD-Daten und NO _x -Verlauf.....	193
Abbildung 127:	Fahrzeug 28 – Warmfahren + 10x ASM20 + 15min Leerlauf – OBD-Daten und NO _x -Verlauf.....	194
Abbildung 128:	Fahrzeug 29 – Warmfahren + 10x ASM20 + 15min Leerlauf – OBD-Daten und NO _x -Verlauf.....	195
Abbildung 129:	Fahrzeug 30 – Warmfahren + 10x ASM20 + 15min Leerlauf – OBD-Daten und NO _x -Verlauf.....	196
Abbildung 130:	Fahrzeug 17 – 15x Kurzfahrt Straße + 15min Leerlauf – OBD-Daten und NO _x -Verlauf	197
Abbildung 131:	Fahrzeug 18 – 15x Kurzfahrt Straße – OBD-Daten und NO _x -Verlauf	198
Abbildung 132:	Fahrzeug 19 – 15x Kurzfahrt Straße – OBD-Daten und NO _x -Verlauf	199
Abbildung 133:	Fahrzeug 20 – 15x Kurzfahrt Straße – OBD-Daten und NO _x -Verlauf	200
Abbildung 134:	Fahrzeug 21 – 15x Kurzfahrt Straße – OBD-Daten und NO _x -Verlauf	201
Abbildung 135:	Fahrzeug 22 – 15x Kurzfahrt Straße – OBD-Daten und NO _x -Verlauf	202
Abbildung 136:	Fahrzeug 17 – 15x Kurzfahrt Straße – OBD-Daten und NO _x -Verlauf	203
Abbildung 137:	Fahrzeug 24 – 15x Kurzfahrt Straße – OBD-Daten und NO _x -Verlauf	204
Abbildung 138:	Fahrzeug 25 – 15x Kurzfahrt Straße – OBD-Daten und NO _x -Verlauf	205
Abbildung 139:	Fahrzeug 26 – 15x Kurzfahrt Straße – OBD-Daten und NO _x -Verlauf	206
Abbildung 140:	Fahrzeug 27 – 15x Kurzfahrt Straße – OBD-Daten und NO _x -Verlauf	207
Abbildung 141:	Fahrzeug 28 – 15x Kurzfahrt Straße – OBD-Daten und NO _x -Verlauf	208
Abbildung 142:	Fahrzeug 29 – 15x Kurzfahrt Straße – OBD-Daten und NO _x -Verlauf	209
Abbildung 143:	Fahrzeug 30 – 15x Kurzfahrt Straße – OBD-Daten und NO _x -Verlauf	210
Abbildung 144:	Tabelle zur Auswertung der Fahrzeuge 17-30.....	211

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Übersicht Messtechnik	28
Tabelle 2:	Fahrzeugübersicht Arbeitspaket 1.....	35
Tabelle 3:	Fahrzeugübersicht Arbeitspaket 2.....	87
Tabelle 4:	Abgasgrenzwerte bei der Typprüfung ab Euro 6b.....	97
Tabelle 5:	Zeitaufwand einzelner Methoden im Vergleich zur Partikelanzahlmessung.....	130
Tabelle 6:	Zeitaufwand der kombinierten Messung	131
Tabelle 7:	Revisionsvorschlag für Richtlinie 2014/45/EU über die regelmäßige technische Überwachung von Kraftfahrzeugen	148

Abkürzungsverzeichnis

AdBlue	Wässrige Harnstofflösung / eingetragene Handelsmarke des VDA
AES	Auxiliary emission strategy
AGR	Abgasrückführung
ASM	Acceleration Simulation Mode
ASM20	Acceleration Simulation Mode, max. Geschwindigkeit 20 km/h
AU	Abgasuntersuchung
BAST	Bundesanstalt für Straßenwesen
BES	Base emission strategy
CITA	International Motor Vehicle Inspection Committee
CLD	Chemilumineszenz Detektion
CoP	Conformity of production
DPF	Dieselpartikelfilter
ECU	Electronic Control Unit
EFM	Exhaust Flow Meter
EGR	Exhaust Gas Recirculation
EOBD	Europäische On-Board Diagnose
EU	Europäische Union
GKAT	Geregelter Katalysator
HU	Hauptuntersuchung
i.O.	in Ordnung
n.i.O.	nicht in Ordnung
ISC	In-service conformity
JRC	Joint Research Centre
KAT	Katalysator
KFZ	Kraftfahrzeug
LNT	Lean NO _x -Trap
LL	Leerlauf
M1	Kraftfahrzeuge vorwiegend zur Beförderung von Personen mit höchstens acht Sitzplätzen zusätzlich zum Fahrersitz
MIL	Malfunction Indicator Lamp
N1	Kraftfahrzeuge vorwiegend zur Güterbeförderung mit einer zulässigen Gesamtmasse von höchstens 3,5 Tonnen
NEFZ	Neuer Europäischer Fahrzyklus
NO₂	Stickstoffdioxid
NO_x	Stickstoffoxide
NTE	Not To Exceed Grenzwert
OBD	On-Board Diagnose

PEMS	Portable Emissions Measurement System
PID	Parameter Identifier
PKW	Personenkraftwagen
PM	Particulate Matter
PN	Particulate Number
RDE	Real Drive Emission
SAE	Society of Automotive Engineers
SET	Sustainable Emission Test
StVZO	Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung
SW	Software
SCR	Selective catalytic reduction
UBA	Umweltbundesamt
v. E.	vom Endwert
v. M.	vom Messwert
WHO	World Health Organization
WLTP	Worldwide Harmonised Light Vehicles Test Procedure

Zusammenfassung

Viele Städte und Kommunen in ganz Europa stehen nach wie vor wegen zu hoher Belastung mit Luftschadstoffen in der öffentlichen Diskussion. Trotz der in den letzten Jahren deutlich verschärften Emissionsvorschriften für Neufahrzeuge und der damit einhergehenden schrittweisen Erneuerung der Fahrzeugflotte, kommt es bei verkehrsnahen Messstationen nach wie vor zu Überschreitungen der zulässigen NO₂-Konzentrationen (siehe auch Auswertungen des Umweltbundesamtes [15]). Im Hinblick auf zukünftig verschärfte europäische Anforderungen an die Luftreinhaltung sowie unter Berücksichtigung der von der WHO geforderten Reduktion der Grenzwerte für Stickstoffdioxid [16] bedarf es künftig in allen Sektoren verstärkte Bemühungen diese einzuhalten. Für eine nachhaltige Verbesserung der Luftqualität im Straßenverkehr ist es entscheidend, sicherzustellen, dass das hohe Abgasreinigungsniveau moderner Kraftfahrzeuge (Pkw, Nutzfahrzeuge) mit Verbrennungsmotor über ihren gesamten Lebenszyklus hinweg erhalten bleibt. Schäden, Verschleiß oder sogar Manipulationen können bei modernen und hochkomplexen Abgasnachbehandlungssystemen zu erheblichen Funktionsstörungen führen, welche die Emissionen im Vergleich zu funktionierenden Abgasnachbehandlungssystemen um das bis zu 100-Fache sogar bis zum Niveau der Motorrohmissionen ansteigen lassen. Bei der periodischen Abgasuntersuchung (AU) erfolgt aktuell keine Überprüfung der NO_x-Emissionen. Daher können über den Nutzungszeitraum auftretende erhöhte Stickoxidemissionen, z. B. aufgrund von Verschleiß oder Manipulationen, unerkant bleiben.

Dieses Forschungsvorhaben stellt eine Fortführung des im Auftrag des Umweltbundesamtes durchgeführten Projektes „Fortentwicklung der Abgasuntersuchung“ [1] dar. Innerhalb dieses Projektes wurden bereits verschiedene Methoden zur Bewertung der NO_x-Emissionen im Rahmen der periodischen Abgasuntersuchung betrachtet.

Das konkrete Ziel des gegenwärtigen Forschungsvorhabens ist der Nachweis, dass die beiden aus dem vorangegangenen Projekt entwickelten dynamischen NO_x-Messverfahren für Diesel-Fahrzeuge den Praxisanforderungen im Rahmen einer periodischen Abgasuntersuchung (AU) gerecht werden. Dies gilt für die Durchführung sowohl in den Prüfstellen der Technischen Prüfstelle bzw. der Überwachungsorganisation als auch in entsprechend anerkannten AU-Werkstätten und soll dafür statistisch validierte Messergebnisse liefern. Das Forschungsprojekt besteht daher aus folgenden drei Arbeitspaketen:

1. Fahrzeugkonditionierung
2. Validierung der dynamischen Messverfahren an 33 Fahrzeugen (M1/N1)
3. Revisionsvorschlag für die Richtlinie 2014/45/EU über die regelmäßige technische Überwachung von Kraftfahrzeugen

Vor dem Hintergrund, dass sich im Vergleich zur ersten Studie aus dem Jahr 2019 die Abgasnachbehandlungssysteme deutlich weiterentwickelt haben (Zweifacher SCR-Katalysator, Kombinationen von SCR- und LNT-Systemen, motornaher Verbau der Komponenten), wurden parallel zu den dynamischen Messungen auch, stationäre Methoden, wie Freie Beschleunigung und Drehzahlpumpen mit untersucht (vgl. 3.2.3), um eine möglichst effektive und zeitsparende Prozedur zu finden.

Im Verlauf des Projektes wurde von dem Forschungszentrum der EU-Kommission (Joint Research Center, JRC) ein Vorschlag für eine Messung der Stickoxidemissionen bei der periodischen Fahrzeugüberwachung vorgestellt, um die Funktionsprinzipien von SCR-Systemen bei Diesel-Pkw zu bewerten. JRC wurde von der EU-Kommission im Rahmen der Fortschreibung der Richtlinie 2014/45/EU beauftragt vor dem Hintergrund des Erwägungsgrunds 9 dieser

Richtlinie einen Vorschlag für ein mögliches NO_x-Prüfverfahren im Rahmen der periodischen Fahrzeugüberwachung zu erarbeiten. Dieser wurde in diesem Vorhaben berücksichtigt und bei den zu dem Zeitpunkt der Veröffentlichung der Methode im August 2023 [6] noch verbliebenen Fahrzeugen 17-30 in das Untersuchungsprogramm aufgenommen (siehe Kap. 4.5).

Dynamische Messverfahren ASM20 und Kurzfahrt

Mit der ASM20- und der Kurzfahrt-Methode wurden zwei dynamische Messprozeduren entwickelt, die das Ziel verfolgen das Fahrzeug durch eine gewisse Anzahl von Aufwärm-Zyklen in einer kurzen Zeit so zu konditionieren, dass die Überprüfbarkeit der NO_x-Systeme ab der erforderlichen Temperatur von mindestens 180 °C ermöglicht wird.

Bei der ersten betrachteten Messprozedur auf einem Rollenprüfstand wurde der bestehende ASM20/50 Zyklus abgewandelt und auf die Geschwindigkeit von 20 km/h beschränkt, da die Geschwindigkeit bis 50 km/h keine zusätzlichen Erkenntnisse lieferte.

Bei der zweiten Methode handelt es sich um eine sog. Kurzfahrt, die idealerweise auch vor der Prüfstelle der Überwachungsorganisation oder der AU-Werkstatt ausgeführt werden kann. Auf einer Messstrecke von ca. 40 Metern werden Vorwärts- und Rückwärtsfahrten ca. 15-mal durchgeführt. Beim Vorwärtsfahren wird auf 20 km/h beschleunigt, bis zum Stillstand abgebremst und anschließend rückwärts zum Ausgangspunkt zurückgekehrt.

Neben den 30 Dieselfahrzeugen wurden auch 3 Benzinfahrzeuge hinsichtlich des NO_x-Ausstoßes untersucht. Auch hier kamen die o. g. Messmethoden ASM20 und Kurzstreckenfahrt zum Einsatz. Bei aktuellen Benzinfahrzeugen ist im Gegensatz zu Diesel-Fahrzeugen der 3-Wege-Katalysator das wichtigste System zur Minderung der NO_x-Emissionen.

Fahrzeugkonditionierung

Für die Ermittlung optimaler Konditionierungsbedingungen wurde insbesondere die Bedatung der im Projekt definierten OBD-Parameter (PIDs) für alle Fahrzeuge untersucht und fortlaufend in einer Gesamttabelle erfasst (siehe Anhang A.1).

Die Ergebnisse zeigen eine sehr unzureichende, abhängig vom Hersteller auch sehr unterschiedliche OBD-Bedatung. Bei der Untersuchung wurde deutlich, wie wichtig die Erfassung der Temperatur im Abgasstrang und insbesondere dabei die Temperatur des SCR-Systems ist. Der Indikator Motortemperatur (Kühlwasser oder Öl) ist für die eindeutige Feststellung der Konditionierung hierbei nicht ausreichend.

Aufgrund dieser Erkenntnisse wurde die Messprozedur weiter verfeinert und fortan bei dem ASM20-Zyklus eine 4-minütige Warmfahrt mit einer konstanten Geschwindigkeit von 20 km/h und einer konstanten Last von 500 N auf dem Rollenprüfstand vorangestellt, um schneller ausreichende Abgastemperaturen zu erreichen. Anschließend wurden weitere zehn ASM20-Messzyklen durchgeführt.

Über das OBD-System wurden, wie aus Anhang A.1 ersichtlich, die verfügbaren OBD-Parameter mit aufgezeichnet. Auch die weiteren OBD-Parameter, wie Dosierbereitschaft, dosierte Reagenzmittel-Menge oder verbaute NO_x-Sonden, welche Rückschlüsse auf das NO_x-Verhalten zeigen können, wurden aufgezeichnet und bewertet (siehe Kap. 4.10).

Die Validierung der dynamischen Messverfahren an 30 Fahrzeugen mit Dieselantrieb (M1/N1) bestätigen, dass die beiden Konditionierungsmethoden grundsätzlich geeignet sind, um nachfolgend die Wirkung des Abgasnachbehandlungssystems nachzuweisen. Gut erkennbar waren auch die Übergänge vom unkonditionierten Zustand bis hin zur Aktivierung des SCR-Systems (siehe zum Beispiel Fahrzeug 4 - Abbildung 39, Fahrzeug 8 - Abbildung 45 und Fahrzeug 29 - Abbildung 58). Zur sicheren Verifizierung eines aktiven SCR-Systems muss die SCR-Temperatur über die standardisierte OBD verfügbar sein. Dies ist aktuell nicht durchgängig

bei den untersuchten Fahrzeugmodellen gegeben (siehe Anhang A.1). Die Abgastemperatur am SCR-System sollte typischerweise über 180 °C liegen [9], um eine ausreichende Umsatzrate an allen Kraftfahrzeugen (Pkw, Nutzfahrzeug) sicherzustellen. Erkennbar war bei diesen Messungen, dass sich die höheren Emissions-Homologationswerte bei N1-Fahrzeugen auch in der Höhe der in diesem Projekt real gemessenen NO_x-Emissionen widerspiegeln (siehe Kap. 4.4). Bei den modernen Fahrzeugen ab Abgasstufe Euro 6d-TEMP wurden während des gesamten ASM20-Zyklus extrem niedrige NO_x-Emissionen (< 10 ppm) gemessen, während Fahrzeuge unterhalb der Abgasstufe Euro 6d-TEMP insgesamt deutlich höhere NO_x-Emissionen (20-50 ppm) aufwiesen. Dies liegt vor allem daran, dass bei der Typprüfung ab Euro 6d-TEMP die Emissionen unter Realbedingungen (Real-Driving-Emissions) eingehalten werden müssen. Die direkte Gegenüberstellung ausgewählter Messergebnisse (siehe Anhang A.4) ergab, dass die NO_x-Emissionen erst nach der Wirksamkeit des SCR-Systems in einen stabilen und damit reproduzierbaren Zustand kommen. In den Phasen vor der Aktivierung des SCR-Systems waren die NO_x-Werte sehr inhomogen, je nachdem welches Nachbehandlungssystem (AGR, LNT) in Abhängigkeit der Abgastemperatur zur NO_x-Minderung beiträgt. Zusammenfassend erscheint es daher sinnvoll NO_x dann zu messen, wenn das SCR-System zuverlässig arbeitet. Diesen Umstand macht sich auch die „Hot Idling“ Methode zu eigen, welche seitens des Joint Research Centers (JRC der EU-Kommission) parallel zu diesem Projekt entwickelt wurde. Um dieses Messverfahren mit zu berücksichtigen, wurden die noch verbliebenen 14 Fahrzeugen zusätzlich mit der Hot-Idling Methode vermessen.

Bei 85 Prozent dieser Fahrzeuge wurde über das OBD-System auch die Abgastemperatur mit aufgezeichnet, so dass eine zuverlässige Aussage zum Einsatz und zur Wirkung des SCR-Systems getroffen werden konnte. Die Messergebnisse zeigen sehr deutlich, dass beim ASM20-Zyklus die 180 °C-Grenze im SCR-System immer erreicht werden kann, wohingegen bei der Kurzfahrt dieser Wert in lediglich 60 Prozent der Fälle gerade eben erreicht wird und auch durch weitere Vorwärts-/Rückwärtsfahrten nicht gesteigert werden kann.

Aufgrund der vorgenannten Erkenntnisse wurde beispielhaft eine zusätzliche Konditionierungskurzfahrt auf der Straße bei maximal 50 km/h mit einem Fahrzeug durchgeführt. Diese zeigte hingegen sehr positive Ergebnisse. Auch bei 0 °C Außentemperatur wurden nach einer Fahrt von ca. 3 km in ca. 7 min sicher die erforderliche Temperatur am SCR-System erreicht. Die Temperatur stieg bei dieser Konditionierungsfahrt sogar auf 220 °C an.

Für die Validierung der Messprozedur wurde an vier Fahrzeugen im Abgasnachbehandlungssystem die Reagenz-Einspritzung deaktiviert. Dieser Fehlerverbau entspricht einem defekten SCR-System bzw. deren Manipulation durch am Markt frei verfügbare Emulatoren.

Damit wird es möglich die Größenordnung der NO_x-Konzentrationen bei funktionierendem bzw. fehlerbehaftetem SCR-System zu quantifizieren und daraus einen Grenzwert für die Messmethoden abzuleiten.

Ein zentrales Ergebnis des Projektes ist, dass die über die OBD-Schnittstelle verfügbare Bedatung wichtiger Messgrößen bei den in den Vergleich einbezogenen Herstellern sehr inhomogen ist. Die Varianz in der Reagenz-Dosiermenge (Ad-Blue) lag bei den untersuchten Fahrzeugen – sofern über OBD verfügbar – in einem Bereich zwischen 0,02 l/h bis 0,12 l/h, so dass man daraus keine Rückschlüsse ableiten kann. Die Verwendung von Informationen der intern verbauten NO_x-Sonden ist ebenfalls nur bedingt möglich, da der Bedatungsgrad über die OBD-Diagnose mit rund 67 % sehr inhomogen war. Auch die Verfügbarkeit dieser Sonden über die OBD-Schnittstelle war während der Messfahrten entweder nicht oder erst nach extrem langer Zeit (ca. 15 Minuten) gegeben (vgl. Kapitel 4.10).

Summary

Public debate surrounding the prevalence of air pollution in many European cities and communities persists. Despite the substantial tightening of emissions regulations governing new vehicles in recent years and the concomitant gradual turnover of the vehicle fleet, permissible concentrations of nitrogen oxides (NO_x) continue to be surpassed at monitoring stations proximate to traffic corridors. (refer to observations by the Federal Environment Agency [15])

Given the forthcoming stricter European regulations on air pollution control and the demand from the WHO to lower the limit values for nitrogen dioxide, there will be a need for increased efforts across all sectors to ensure compliance in the future. For achieving a sustainable enhancement in air quality, ensuring the sustained efficacy of exhaust gas purification mechanisms in contemporary motor vehicles (both passenger and commercial) across their complete life span is paramount. The occurrence of damage, wear, or manipulation poses a substantial risk to the functionality of modern and intricate exhaust gas aftertreatment systems. Such impairments can result in emissions surges of up to 100-fold or more. Presently, nitrogen oxide (NO_x) emissions are not subjected to monitoring during routine exhaust emissions examinations. Consequently, elevated NO_x emissions arising from prolonged vehicle usage, such as those attributed to wear and manipulation, may evade detection.

This research program constitutes a continuation of the preceding project titled “Further Development of Exhaust Emissions Testing” [1], which was conducted under the auspices of the Federal Environment Agency. Within the framework of this antecedent project, diverse methodologies aimed at assessing nitrogen oxide (NO_x) emissions within the purview of periodic emissions testing were previously investigated.

The specific objective of the ongoing research initiative is to demonstrate the practical efficacy of the two dynamic NO_x measurement techniques devised for diesel vehicles in the antecedent project. The aim is to ascertain their conformity with the operational requisites of periodic exhaust emissions testing, both within the facilities of vehicle inspection stations operated by certified inspectors and within exhaust emissions testing workshops accredited accordingly. Furthermore, the program endeavor aims to furnish statistically validated measurement outcomes.

The research project has been structured into three distinct work packages, delineated as follows:

1. Vehicle conditioning,
2. Validation of the dynamic measurement methodologies across a cohort of 33 vehicles (M1/N1),
3. Formulation of a proposal for the revision of Directive 2014/45/EU on periodic roadworthiness tests for motor vehicles and their trailers.

Given the significant advancements in exhaust gas aftertreatment systems since the initial study in 2019 – marked notably by the introduction of dual selective catalytic reduction (SCR) converters, combinations of SCR and lean NO_x trap (LNT) systems, as well as the placement of components in close proximity to the engine – a concurrent reevaluation of stationary methodologies, such as Free acceleration and speed pumps (cf. 3.2.3), alongside dynamic measurements was undertaken in the initial phase. This initiative aimed to identify an approach that maximizes efficacy and efficiency.

Throughout the duration of the project, the European Commission's Joint Research Center (JRC) introduced a novel proposal for nitrogen oxide (NO_x) emissions measurement during periodic

testing, specifically tailored for the assessment of SCR systems. JRC was commissioned by the EU Commission as a component of the Directive 2014/45/EU revision to formulate a proposal for a potential NO_x testing procedure for periodic vehicle inspection, aligning with the context outlined in recital 9 of this directive. This proposal was integrated into the project's investigative framework and encompassed within the evaluation protocol for the remaining vehicles numbered 17 through 30 at the time of its publication in August 2023 [6] (refer to section 4.5).

Dynamic measurement procedure ASM20 and short drive

Two dynamic measurement procedures, utilizing the ASM20 and the short drive method, were devised to prepare the vehicle through multiple warm-up cycles within a brief timeframe. This preparation ensures that the NO_x systems can be tested at the mandated temperature of at least 180°C.

The initial measurement procedure, conducted on a chassis dynamometer, involved adapting the existing ASM20/50 cycle. However, it was restricted to a speed of 20 km/h since speeds up to 50 km/h yielded no further insights.

The second method, termed the “short drive,” is designed to be executed ideally in proximity to the testing facility of the vehicle inspection center or the MOT workshop. This method entails traversing a measurement segment of approximately 40 meters in length. This distance is driven 15 times in both forward and backward directions, with the vehicle accelerating to 20 km/h during forward motion, subsequently decelerating to a halt, and then reversing to the starting point.

In addition to the 30 diesel vehicles, we also assessed three petrol vehicles in terms of their NO_x emissions. We employed the ASM20 and short-distance driving measurement methods mentioned earlier for this evaluation. Unlike diesel vehicles, the primary system for reducing NO_x emissions in contemporary gasoline vehicles is the three-way catalytic converter.

Vehicle conditioning

To ascertain optimal conditioning parameters, particularly concerning On-Board Diagnostics (OBD) parameters (PIDs) stipulated within the project framework, a comprehensive tabulation of data pertaining to all vehicles was meticulously examined and continuously documented (refer to Annex A.1).

The findings indicate significant inadequacies in OBD data, which vary greatly depending on the manufacturer. Through our investigation, it became evident that recording the temperature within the exhaust system, particularly the temperature of the SCR system, is crucial. Notably, reliance solely on engine temperature indicators (e.g., cooling water or oil) proved inadequate in delineating effective conditioning protocols.

In light of these revelations, the measurement protocol underwent further refinement, incorporating a 4-minute warm-up phase characterized by a consistent velocity of 20 km/h and a steady load of 500 N on the chassis dynamometer into the ASM20 cycle. This adaptation aimed to expedite the attainment of requisite exhaust gas temperatures. Subsequently, an additional ten iterations of the ASM20 cycle were executed.

Wherever available, pertinent parameters were concurrently logged via the OBD system (refer to Annex A.1). Furthermore, an exhaustive exploration of other OBD parameters potentially indicative of NO_x behavior ensued, including dosing readiness, dosed reagent quantity, and the presence of installed NO_x probes (refer to chapter 4.10).

The validation of the dynamic measurement procedures on 30 vehicles with diesel engines (M1/N1) confirms that both conditioning methodologies are fundamentally adept at

subsequently elucidating the efficacy of exhaust gas aftertreatment systems. Clear delineations were discerned from the unconditioned state to the activation phase of the Selective Catalytic Reduction (SCR) system (see, for example, vehicle 4 - Abbildung 39, vehicle 8 - Abbildung 45 and vehicle 29 – Abbildung 58). For reliable verification of an active SCR system, the SCR temperature must be available via the standardized OBD. This is not currently the case for all of the vehicle models examined (see Annex A.1). Notably, the SCR system's effective operation typically necessitates an exhaust gas temperature at the SCR system exceeding 180 °C [9], ensuring optimal conversion rates across all vehicle categories, including passenger cars and commercial vehicles.

The measurements clearly indicate that the higher emission standards set for N1 vehicles are reflected in the actual levels of NO_x emissions observed in this study (refer to chapter 4.4). Modern vehicles meeting Euro 6d-TEMP standards exhibited remarkably low NO_x emissions (< 10 ppm) throughout the entire ASM20 cycle. However, vehicles falling below the Euro 6d-TEMP standards showed significantly higher NO_x emissions overall (20-50 ppm). This discrepancy mainly arises from the necessity of meeting emission standards under real driving conditions (known as real driving emissions) during type testing from Euro 6d-TEMP onwards.

Direct comparison of specific measurement results (refer to Annex A.4) revealed that NO_x emissions stabilize and become reproducible only after the selective catalytic reduction (SCR) system becomes effective. Before SCR activation, NO_x values were highly variable, depending on the contribution of different aftertreatment systems (such as EGR, LNT) and exhaust gas temperature. Consequently, it seems reasonable to measure NO_x emissions when the SCR system is operating reliably. The “hot idling” method, developed by the Joint Research Center (JRC) of the EU Commission concurrently with this project, also capitalizes on this understanding. To accommodate this measurement method, the remaining 14 vehicles were also tested using the hot idling method.

In 85 percent of these vehicles, the OBD system also recorded exhaust gas temperature, enabling a reliable assessment of the SCR system's usage and effectiveness. The measurement results clearly indicate that the SCR system consistently achieves the 180 °C threshold in the ASM20 cycle. However, during short trips, this threshold is only reached in 60 percent of cases and cannot be increased with additional driving.

Building on these findings, a supplementary short road drive was conducted with one vehicle, adhering to a maximum speed of 50 km/h. Encouragingly, this test yielded positive results. Even at an outside temperature of 0 °C, the required temperature for the SCR system was reached within approximately 7 minutes after a 3 km drive. Furthermore, the temperature increased to 220 °C during this conditioning drive.

In order to validate the measurement procedure, the injection of reagents was disabled in the exhaust gas aftertreatment system of four vehicles. This simulated fault installation reflects either a defective SCR system or its manipulation through readily available emulators in the market.

This approach allows for the quantification of NO_x concentration levels under both functioning and faulty SCR system conditions, enabling the derivation of a threshold value for the measurement methods.

A pivotal finding of the project is the conspicuous heterogeneity in data accessibility via the OBD interface concerning critical measured variables across the manufacturers surveyed. The variability in reagent dosing quantity (AdBlue) among the scrutinized vehicles—where available via OBD—spanned a range from 0,02 liters/hour to 0,12 liters/hour, precluding the derivation

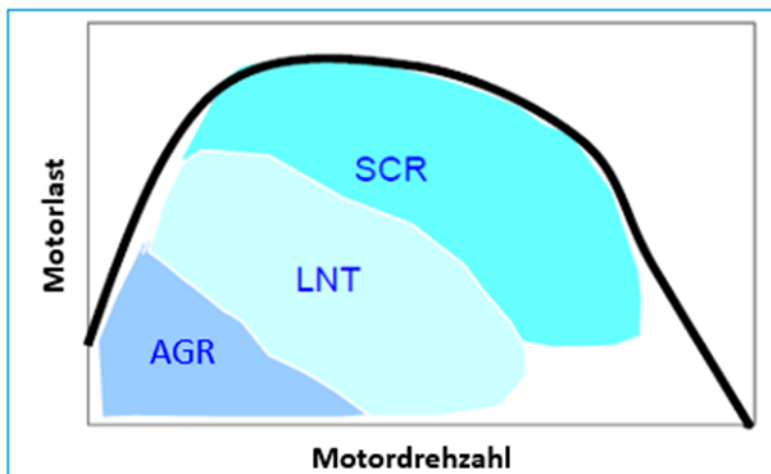
of conclusive inferences. Similarly, the utility of data from internally installed NO_x sensors is hampered by limitations in data availability via OBD diagnostics, which was approximately 67 %. Moreover, activation of sensors via the OBD interface was either unavailable during test drives or necessitated an exceedingly protracted period for activation (ca. 15 Minutes) (refer to chapter 4.10).

1 Projektanlass

Bei der Stickstoffoxidmessung im Rahmen der Abgasuntersuchung (AU) handelt es sich um in Europa bisher ausschließlich in Studien angewandte Prüfverfahren, die beginnend mit dem Prüfablauf über sinnvolle gesetzliche Grenzwerte bis hin zu geeigneten Messgeräten und Infrastruktur an die Bedarfe einer millionenfach durchzuführenden Reihenuntersuchung angepasst werden müssen.

Dabei müssen nicht nur die unterschiedlichsten Motortechnologien berücksichtigt, sondern auch die sehr komplexen und umfangreichen Abgasreinigungstechnologien (z. B. Abgasrückführung (AGR), NO_x-Speicherkatalysator (LNT), SCR-Katalysator) valide beurteilt werden. Die Effektivität der einzelnen Abgasnachbehandlungssysteme abhängig vom Motorbetriebsbereich ist in Abbildung 1 dargestellt. Die Übergänge der einzelnen Systeme sind nicht scharf abgegrenzt, sondern überlappen sich meist.

Abbildung 1: Effektivität einzelner Nachbehandlungssysteme nach Motorbetriebsbereich



Quelle: Bericht „Fortentwicklung der Abgasuntersuchung“ [1]

Dazu kommt die Anforderung, die Stickstoffoxidmessung im Rahmen der AU schnell, preisgünstig und in tausenden von Prüfstellen bzw. AU-Werkstätten mit zum Teil sehr unterschiedlichen Umweltbedingungen (Temperaturschwankungen etc.) und Platzverhältnissen durchführen zu können.

Die Aufgabe wird zusätzlich erschwert, da Stickstoffoxide vermehrt bei hohen Verbrennungstemperaturen, also unter Motorlast, entstehen. Außerdem werden im Rahmen der Typprüfung die Emissionswerte sowohl auf dem Prüfstand (Messverfahren WLTP) als auch im Realverkehr (Messverfahren RDE) über den gesamten Test summiert und dann durch die gefahrene Strecke geteilt. Somit ergibt sich ein für die Zulassung einzuhaltender Mittelwert (in mg/km), der allerdings kurzzeitig, z. B. bei bestimmten Fahrzuständen oder Umgebungsbedingungen, deutlich überschritten werden darf. Diese Funktionalitäten sind nahezu bei jedem Fahrzeugmodell und jeder Motorvariante unterschiedlich. Wann bzw. wie die Systeme genau funktionieren bzw. abgeschaltet werden, ist ausschließlich den Fahrzeugherstellern sowie in Auszügen den Typgenehmigungsbehörden bekannt. Im Rahmen der Abgastypgenehmigung von Pkw und leichten Nutzfahrzeugen gemäß Verordnung (EG) 715/2007 (Euro 5 und Euro 6) sind die Fahrzeughersteller dazu verpflichtet, gegenüber der jeweiligen Genehmigungsbehörde ihre Emissionsstrategien darzulegen. Zu diesem Zweck wird eine sogenannte AES/BES-Beschreibung (AES: Auxiliary Emission Strategies / BES: Base

Emission Strategies) bei der jeweiligen Genehmigungsbehörde vorgelegt. Diese Informationen sind jedoch nicht öffentlich zugänglich. Entsprechende Regeln zu Abschaltvorrichtungen wurden im Zusammenhang mit der Einführung von RDE durch die Verordnung (EU) 2016/646 definiert. Diese Tatsache stellt die Überwachung dieser Systeme vor eine besondere Herausforderung, da ein Fahrzeug im Rahmen der Abgasuntersuchung [2] nur deshalb erhöhte NO_x-Emissionen verursachen könnte, weil es sich gerade in einem temporären Modus befindet, in dem die Abgasreinigungssysteme aufgrund von Umgebungsparametern einen geringen Reinigungsgrad aufweisen.

Hinzu kommt, dass der Wert der Typprüfung (mg/km) nicht unmittelbar als Grenzwert herangezogen werden kann, sondern, ähnlich wie bei der bisherigen AU (Benzin, Diesel Opazität), ein geeigneter Grenzwert für eine periodische Überwachung festgelegt werden muss. Hierbei muss sichergestellt sein, dass defekte Komponenten erkannt werden, und unter keinen Umständen ein intaktes „Gutsystem“ als defekt detektiert wird.

Insbesondere die Erprobung und Validierung der Messmethoden unter Berücksichtigung der oben genannten Problemstellungen sowie aller Variablen (z. B. Antriebsart, Abgasreinigungstechnologie, Umweltbedingungen) erfordert eine Vielzahl an Messungen, die zum heutigen Zeitpunkt nicht konkret abgeschätzt und im Rahmen dieses Forschungsvorhabens nicht geleistet werden konnte.

Die zum Projektstart ermittelte Grundgesamtheit für Euro 6 d und Euro 6dtemp Dieselfahrzeuge betrug laut KBA-Statistik (Stand 1. Januar 2020) 1.090.218 Fahrzeuge [3]. Bei der vorgenannten Grundgesamtheit, einem Konfidenzniveau von 95 % ergibt sich bei der gewählten Stichprobengröße von 33 Fahrzeugen eine Fehlerspanne von 17 %. Die Fehlerspanne ist der Unterschied zwischen dem geschätzten statistischen und den einzelnen gemessenen Werten.

Es sei an dieser Stelle auch auf die bei dem International Motor Vehicle Inspection Committee (CITA) durchgeführte SET II Studie [4] verwiesen, die sich mit einer ähnlichen Fragestellung befasst hat. An dieser Studie beteiligten sich mehrere Prüforganisationen aus verschiedenen europäischen Ländern, um die angestrebte Anzahl von ca. 1.000 NO_x-Emissionstests, die für dieses sehr komplexe Thema als mindestens erforderlich gehalten werden, realisieren zu können. Ein wesentliches Ergebnis dieser Studie ist, dass auch bei den 735 untersuchten Fahrzeugen sehr große Varianzen aufgetreten sind.

Ziel dieses Forschungsvorhabens ist es, die im Teil 1 der UBA-Studie „Fortschreibung der Abgasuntersuchung“ [1] gewonnenen Erkenntnisse, dass NO_x zuverlässig nur unter Lastbedingungen gemessen werden kann, an 33 Fahrzeugen mit den Methoden ASM20 (Rolle 500 N, 20 km/h) und Kurzfahrt mit Beschleunigung auf 20 km/h mit anschließender Abbremsung zu untersuchen.

Nachdem mittlerweile auch NO_x-Sensoren mit CLD Technologie [5] bei der Messtechnik verfügbar sind, die 50 Messwerte und mehr pro Sekunde liefern können (anstatt 1 Messwert pro Sekunde), wurde mit dieser Messtechnik nochmals das Verfahren „Freie Beschleunigung“ aufgegriffen und untersucht (CLD-Detektion siehe Kapitel 2.4. Mit dieser schnellen Messtechnik lässt sich der Peak in der Beschleunigungsphase sehr detailliert auswerten.

Das Projekt gliedert sich in drei Arbeitspakete:

- ▶ Arbeitspaket 1: Fahrzeugkonditionierung
- ▶ Arbeitspaket 2: Erprobung und Weiterentwicklung der NO_x-Messverfahren im Feld
- ▶ Arbeitspaket 3: Revisionsvorschlag für RL 2014/45/EU über die regelmäßige technische Überwachung von Kraftfahrzeugen

2 Mess- und Diagnosetechnik / Fahrzeugauswahl

Für die Durchführung der Messungen wurden verschiedene Messgeräte eingesetzt, die im folgenden Kapitel beschrieben werden. Die wesentlichen Daten der eingesetzten PEMS bzw. mobilen Geräte wurden in Tabelle 1 zusammengefasst, auf eine ausführliche Beschreibung wurde verzichtet. Für die bei den Projektteilnehmern eingesetzten Rollenprüfstände für die ASM20 Messungen, wurde stellvertretend der Rollenprüfstand der Firma Horiba in Kapitel 2.2 beschrieben.

2.1 AVL-DSS Recorder

Zur Aufnahme der in diesem Projekt definierten Daten (PID's) über die OBD-Schnittstelle wurde das für allgemeine EOBD-Anwendungen bestehende Diagnosetool der Firma AVL DiTEST speziell um diese Datensätze (PID's) erweitert. Die im Projekt definierten PID's wurden aus der SAE J1979 DA nach NO_x-relevanten Attributen ausgewählt, um zusätzliche Informationen bzw. Hilfen zum Zustand eines Fahrzeuges hinsichtlich seines NO_x-Verhaltens zu bekommen.

Das Tool besteht aus einer Hardware (VCI – Vehicle Communication Interface), die in die OBD-Schnittstelle des Fahrzeuges gesteckt und mit einem handelsüblichen PC/Laptop verbunden wird. Die Daten werden via Bluetooth vom VCI zum PC übertragen und dort ausgewertet und dargestellt. In Abbildung 2 sind beispielhaft ein AVL VCI 1000 und die Benutzeroberfläche der zugehörigen DSS-Software abgebildet.

Abbildung 2: AVL VCI 1000 und Benutzeroberfläche der zugehörigen DSS-Software



Quelle: AVL DiTEST

2.2 Horiba Rollenprüfstand

Der verwendete Fahrzeug-Rollenprüfstand ist mit HORIBA Abgasmesstechnik ausgestattet, erfüllt die Anforderungen der VO (EU) 2017/1151 (WLTP) und kommt bei Typprüfungen, CoP- und ISC-Prüfungen zum Einsatz. Für den regelgerechten Betrieb des Rollenprüfstands ist eine Akkreditierung nach DIN EN ISO 17025:2018 vorhanden. Die Ausrüstung ermöglicht Abgasmessungen im verdünnten, wie auch im unverdünnten Abgas, unter anderem der Komponenten NO und NO₂. In Abbildung 3 ist ein Prüffahrzeug auf dem Horiba Rollenprüfstand inklusive Fixierung und Abgasadaption dargestellt.

Abbildung 3: Prüffahrzeug auf Horiba Rollenprüfstand



Quelle: TÜV Rheinland

2.3 Mobile Messtechnik

Tabelle 1 zeigt eine Auflistung der eingesetzten mobilen Messtechnik mit den wesentlichen Merkmalen.

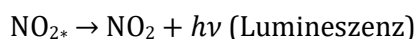
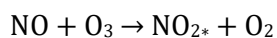
Tabelle 1: Übersicht Messtechnik

Messgerät	AIP PEMS	AVL PEMS	Sensors PEMS	Knestel CLD mini	3DATX parsync
Messbereich NO [ppm]	0 – 2500	0 – 5000	0 – 3000	0-2500	0 – 5000
Messbereich NO ₂ [ppm]	0 – 5000	0 – 2500	0 – 1000	(NO _x)	0 – 300
Messgenauigkeit	2% v. M. oder 0,3% v. E.	±2% v. M. oder ±0,2% v. E.	2% v. M. oder 0,3% v. E.	±10 ppm	2% v. M.
Messumfang	PN, CO, CO ₂ , NO, NO ₂	PN, CO, CO ₂ , O ₂ , NO, NO ₂	PN, CO, CO ₂ , NO, NO ₂	NO, NO _x	CO ₂ , CO, HC, O ₂ , NO, NO ₂ , PN
Messverfahren NO [ppm]	CLD	NDUV	NDUV	CLD	Elektrochemisch
Messverfahren NO ₂ [ppm]	PAS	NDUV	NDUV		
Zulassung	EU RDE-LDV	EU RDE-LDV	EU RDE-LDV	-	-

2.4 Chemilumineszenz Detektion (CLD)

Der zugrundeliegende Chemilumineszenz-Effekt basiert auf der Reaktion von Stickstoffmonoxid (NO) mit Ozon (O₃) [5].

Bei der Reaktion von Stickstoffmonoxid mit Ozon entstehen Sauerstoff und angeregte Stickstoffdioxid-Moleküle (NO₂*). Beim Übergang des Moleküls in den energetischen Grundzustand wird Licht einer bestimmten Energie und Wellenlänge ausgestrahlt ($E = h\nu$).



Die Konzentration der Stickstoffdioxid-Moleküle ist proportional zur emittierten Strahlung. Die Reaktion findet sehr schnell statt und kann mit sehr geringem Probevolumen realisiert werden, was eine Analyse mit Ansprechzeiten im Bereich von Millisekunden ermöglicht.

2.5 Fahrzeugauswahl – Methodischer Ablauf

Bei den insgesamt 33 untersuchten Testfahrzeugen handelt es sich um serienmäßige Fahrzeuge unterschiedlicher Hersteller bzw. Typen, die zufällig ausgewählt wurden. Es erfolgte keine über den im Rahmen einer AU hinausgehende Untersuchung hinsichtlich evtl. vorhandener abgasrelevanter Mängel. Die Testfahrzeuge wiesen Laufleistungen von rund 10.000 km bis 150.000 km auf. Der Großteil der Fahrzeuge wies Kilometerstände von 60.000 km bis 90.000 km aus. Die Fahrzeuge wurden entweder aus den Fuhrparks der Projektbeteiligten bereitgestellt oder gezielt hinsichtlich Hersteller und Motorisierung angemietet. Aufgrund zeitlicher und rechtlicher Beschränkungen konnten keine Kundenfahrzeuge, die im Rahmen von § 29 StVZO Untersuchungen bei den Projektbeteiligten vorgestellt wurden, in dieses Untersuchungsprogramm einbezogen werden. Vier der 33 Testfahrzeuge wurden bereits im Arbeitspaket 1

„Fahrzeugkonditionierung“ mit den beiden Messmethoden untersucht. Alle Testfahrzeuge wurden im Messprogramm über die Arbeitspakete 1 und 2 fortlaufend durchnummeriert (Fahrzeugnummer 1 bis 33). Zur Ermittlung der für die jeweiligen Messmethoden relevanten Einflussgrößen wurde im Arbeitspaket 2 jeweils flankierende Untersuchungen hinsichtlich Konditionierungszeit und Intensität gemacht.

Zur Absicherung der Fehlererkennung wurden im Arbeitspaket 2 an insgesamt vier Fahrzeugen in ihren Abgasnachbehandlungssystemen Fehler verbaut, um die NO_x-Detektion in beiden betrachteten Methoden abzusichern.

An 14 Testfahrzeugen wurde neben den Messmethoden ASM20 und Kurzfahrt auch die zwischenzeitlich von der EU-Kommission entwickelte Methode „Hot Idling“ [6] ergänzend betrachtet.

Unter Kurzfahrt oder auch Kurzfahrt Straße wird in diesem Dokument eine Strecke mit ca. 30 Metern definiert auf der das Fahrzeug vorwärts und rückwärts bewegt wird. Eine Stadtfahrt wird in diesem Dokument als Fahrt mit wechselnden Geschwindigkeiten innerorts definiert, mit Anhalten und Beschleunigen an Verkehrszeichen je nach Verkehrslage.

In den folgenden Beschreibungen der einzelnen Messungen werden zur einfacheren Zuordnung bei mehr als 2 Grafiken je Messvorgang die Grafiken mit den Buchstaben a bis c gekennzeichnet. Bei den Messungen mit nur zwei Grafiken wird die obere bzw. linke Grafik mit einem Textverweis „Abbildung a“, die direkt darunter liegende bzw. rechte Grafik als „Abbildung b“ beschrieben. Alle Grafiken im nachfolgenden Bericht, die Messergebnisse zu Fahrzeugemissionen, Geschwindigkeiten, Temperaturen, etc. enthalten, basieren auf eigenen Messungen der Auftragnehmer.

Durch die Aufnahme der Daten über zwei oder mehr komplett getrennten Systeme (OBD-Tool und NO_x-Messgeräte), die nicht synchronisiert werden können und zudem unterschiedliche Taktraten haben, kann es in der Darstellung auf der Zeitachse zu unterschiedlichen Skalierungen kommen.

3 Arbeitspaket 1: Fahrzeugkonditionierung

Im Arbeitspaket 1 wurden die Bedingungen untersucht, um das Fahrzeug für eine stabile und reproduzierbare NO_x Messung vorzubereiten (Konditionierung). Um die Konditionierungsbedingungen nicht nur theoretisch abzuhandeln, wurden bereits in diesem Arbeitspaket 1 vier verfügbare Fahrzeuge untersucht. Anhand dieser 4 Fahrzeuge und der Messverfahren ASM20, Kurzfahrt und „Freie Beschleunigung“ wurde versucht, Kriterien für eine Fahrzeugkonditionierung festzulegen und die Konditionierungsprozedur zu validieren.

Die in der Ausschreibung definierten PID's wurden um die PID's 05 (Motordrehzahl), 0C (Kühlmitteltemperatur) und 0D (Fahrzeuggeschwindigkeit) erweitert. Diese PID's liefern weitere wertvolle Hinweise beim Ablauf der Testprozeduren, sowie bei der Auswertung der Ergebnisse. Aus diesen Ergebnissen wird ein Vorschlag erarbeitet, welche Informationen für eine Konditionierung verlässlich herangezogen werden sollten. Es werden jeweils mehrere Konditionierungszyklen mit den definierten Messmethoden durchgeführt und die Abhängigkeit der unten aufgelisteten PID's untersucht. Ergebnis des Arbeitspaketes 1 ist neben dem Vorschlag zu einer Konditionierungsprozedur, auch ein Vorschlag an den Verordnungsgeber die Fahrzeughersteller dazu zu verpflichten, NO_x-relevante PIDs über die OBD-Schnittstelle zur Verfügung zu stellen, um eine valide Beurteilung der Abgasreinigungssysteme zu gewährleisten.

Um diese PIDs aus den Fahrzeugen auslesen zu können, wurde wie in Kapitel 2.1 beschrieben ein Standard-EOBD Tool um diese PIDs erweitert. Die Kommunikation des EOBD-Tools zum Fahrzeug funktioniert dabei so, dass das Tool das Fahrzeug abfragt, welche PIDs unterstützt werden. Anschließend werden nur die vom Fahrzeug unterstützten PIDs ausgelesen und dargestellt. Die Datenrate über die OBD-Schnittstelle beträgt dabei ca. 300 ms pro PID.

Liste der PIDs, die untersucht wurden:

PID 01 Readinesscodes (continuous and noncontinuous) – Bereitschaftscodes (kontinuierlich und nichtkontinuierlich)

- ▶ bit 1 (NO_x),
- ▶ bit 5 (Exhaust gas sensor monitoring),
- ▶ bit 6 (PM filter monitoring),
- ▶ bit 7 (EGR system monitoring)

PID 05 Engine Speed – Motordrehzahl

PID 0C Coolant Temperature – Kühlmitteltemperatur

PID 0D Vehicle Speed – Fahrgeschwindigkeit

PID 2C/69 Commanded EGR – AGR Rate

PID 2D EGR Error – AGR Fehler

PID 78/79 Exhaust Gas Temperature (EGT) Bank 1/2 – Abgastemperaturen Bank 1/2

PID 7A/7B Particulate Filter Pressure (DPF) Bank 1/2 – Partikelfilter Differenzdruck Bank 1/2

PID 7C Particulate Filter Temperature (DPF) – Temperatur Partikelfilter

PID 7D NO_x NTE control area status

PID 7E PM NTE control area status

PID 83 NO_x Sensor (supported and concentration) – NO_x-Sensoren unterstützt und Wert

PID 85 NO_x Control System – NO_x Kontrollsystem – Info zu Reagenz

PID 86 Particulate Matter Sensor (PM) – Partikelsensor

PID 88 SCR inducement system actual state – SCR Anreizsystem aktueller Status

PID 8B Aftertreatment System – Abgasnachbehandlungssystem

PID 8F Particulate Matter Sensor Output – Partikelmasse Sensor

In Abbildung 4 ist beispielhaft die vollständige Bedatung aller PIDs mit fiktiven physikalischen Werten abgebildet. Hierbei fällt auf, dass für manche PIDs mehrere Werte ausgegeben werden. Unter der PID 78 werden beispielsweise die Werte von bis zu vier Temperatursonden pro Zylinderbank ausgegeben, die an unterschiedlichen Stellen im Abgasstrang positioniert sind (vergleiche Abbildung 6). Die in diesem Projekt definierten 17 PIDs sind allerdings nicht immer an allen Fahrzeugen verfügbar wie man der Abbildung 5 Fahrzeug 1 (Volkswagen Passat) entnehmen kann.

Abbildung 4: Beispiel einer vollständigen Bedatung aller PID mit fiktiven physikalischen Werten

OBD Daten werden gelesen		
PID	Beschreibung	Wert
01	Unterstützt	0100 1100 0000
01	Durchgeführt	0000 0000 0000
05	Kühlmitteltemperatur	40 °C
0C	Motordrehzahl	0 1/min
0D	Fahrzeuggeschwindigkeit	20 km/h
78	Temperatur Auspuffgas B1 S1	123.2 °C
78	Temperatur Auspuffgas B1 S2	-25.6 °C
78	Temperatur Auspuffgas B1 S3	-14.0 °C
78	Temperatur Auspuffgas B1 S4	12.0 °C
79	Temperatur Auspuffgas B2 S2	-27.2 °C
79	Temperatur Auspuffgas B2 S3	11.5 °C
79	Temperatur Auspuffgas B2 S4	-13.5 °C
7A	Partikelfilter Deltadruck B1	-311.36 kPA
7A	Partikelfilter Einlassdruck B1	16.32 kPA
7A	Partikelfilter Auslassdruck B1	16.32 kPA
7B	Partikelfilter Einlassdruck B2	13.60 kPA
7B	Partikelfilter Auslassdruck B2	13.60 kPA
7C	Partikelfilter Einlasstemperatur Sensor B1	784.0 °C
7C	Partikelfilter Auslasstemperatur Sensor B1	1606.4 °C
7C	Partikelfilter Einlasstemperatur Sensor B2	398.6 °C
7C	Partikelfilter Auslasstemperatur Sensor B2	1272.4 °C
7D	Status NO _x NTE Kontrollbereich	IN
7E	Status PMNTE Kontrollbereich	CAA
83	NO _x Sensor Konzentration B1 S1	4386 ppm
83	NO _x Sensor Konzentration B2 S2	30600 ppm
85	Durchschnittlicher Verbrauch Reagent	21.930 l/h
85	Angeforderter Verbrauch Reagent	65.620 l/h
85	Reagent Tankfüllstand	33.3 %
85	Laufzeit mit aktiver NO _x Warnung	1719109785 s
86	PM Sensor Massenkonzentration B1 S1	54.825 mg/m ³
86	PM Sensor Massenkonzentration B2 S1	164.050 mg/m ³
88	SCR Anreizsystem Aktiv	True
88	SCR Anreizsystem aktueller Status	LevelTooLow
88	SCR Anreizsystem Status (0-10.000 km)	IncorrectReagent
88	SCR Anreizsystem Status (10-20.000 km)	15
88	SCR Anreizsystem Status (20-30.000 km)	OK
88	SCR Anreizsystem Status (30-40.000 km)	OK
88	Zurückgelegte Distanz mit aktivem SCR Anreizsystem im aktuell...	259 km
88	Zurückgelegte Distanz im aktuellen 10.000er Block	784 km
88	Zurückgelegte Distanz mit aktivem SCR Anreizsystem im 10 - 20...	4096 km
8B	Partikelfilter Status Regenerierung	YES
8B	Partikelfilter Typ	ACTIVE
8B	NO _x Adsorber Status Regenerierung	YES
8B	NO _x Adsorber Status Entschwefelung	YES
8F	PM Sensor B1 S1 Messung aktiv	YES
8F	PM Sensor B1 S1 Regenerierung aktiv	YES
8F	PM Sensor Ausgangswert B1 S1	68.10 %

Quelle: AVL DiTEST

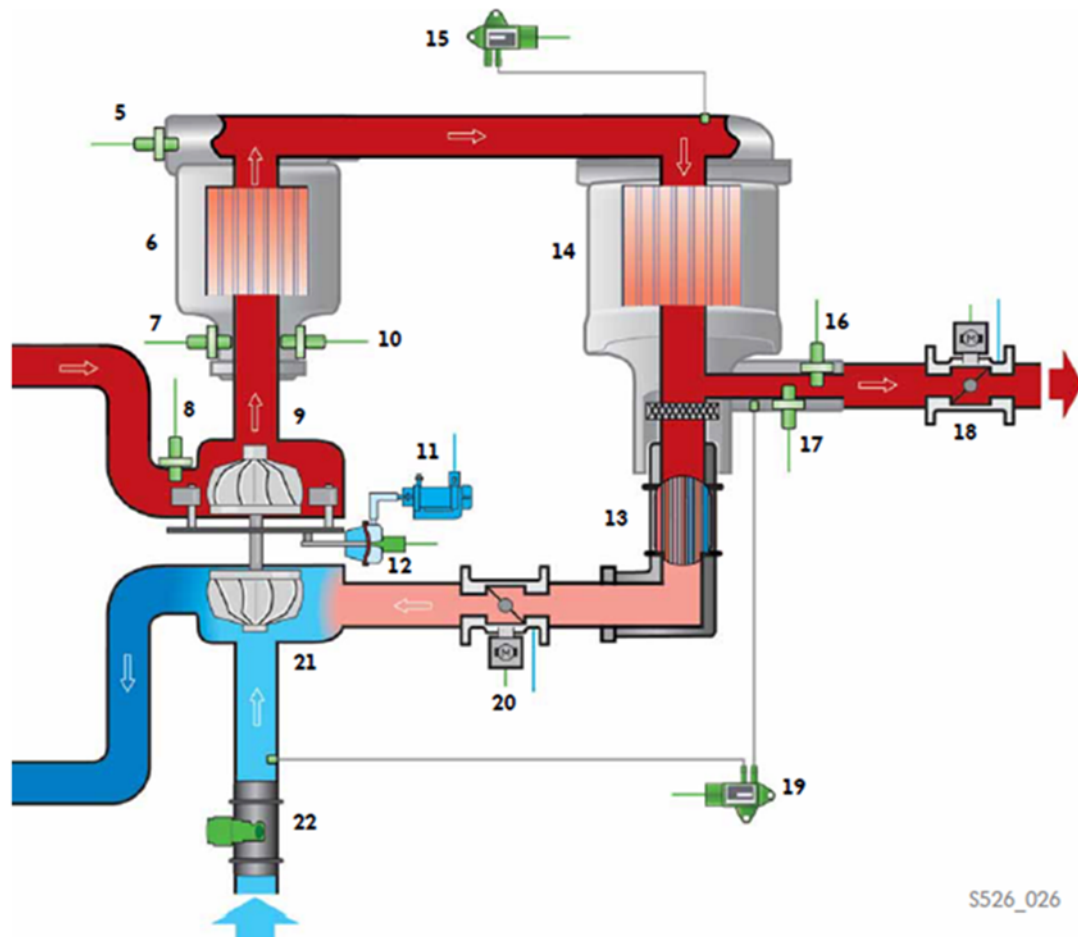
Abbildung 5 zeigt die Bedatung eines VW Passat, bei dem zehn PIDs bedatet sind.

Abbildung 5: Real gemessene Messwerte (PIDs) an einem Volkswagen Passat

OBID Data	ECU Adresse	J1979_DA	Istdaten
01 / 01 MIL-Status			
Unterstützt	0x7E8	SUP	1110 1110 1011
Durchgeführt	0x7E8	RDY	0000 0000 0000
01 / 05 Kühlmitteltemperatur			
Kühlmitteltemperatur	0x7E8	ECT	61 °C
01 / 0C Motordrehzahl			
Motordrehzahl	0x7E8	RPM	1036 1/min
01 / 0D Fahrzeuggeschwindigkeit			
Fahrzeuggeschwindigkeit	0x7E8	VSS	0 km/h
01 / 69 EGR			
Commanded EGR A Duty Cycle/Position	0x7E8	COMMANDA	24 %
Actual EGR A Duty Cycle/Position	0x7E8	ACTUALA	24 %
EGR A Error	0x7E8	ERRORA	2 %
Commanded EGR B Duty Cycle/Position	0x7E8	COMMANDB	24 %
Actual EGR B Duty Cycle/Position	0x7E8	ACTUALB	24 %
EGR B Error	0x7E8	ERRORB	-2 %
01 / 78 Temperatur Auspuffgas Bank 1			
Temperatur Auspuffgas B1 S1	0x7E8	EGT11	180.1 °C
Temperatur Auspuffgas B1 S2	0x7E8	EGT12	178.2 °C
Temperatur Auspuffgas B1 S3	0x7E8	EGT13	188.9 °C
Temperatur Auspuffgas B1 S4	0x7E8	EGT14	233.3 °C
01 / 83 NOx Sensor			
NOx Sensor Konzentration B1 S1	0x7E8	NOX11	51 ppm
NOx Sensor Konzentration B1 S2	0x7E8	NOX12	65535 ppm
01 / 85 NOx Kontrollsystem			
Durchschnittlicher Verbrauch Reagent	0x7E8	REAG_RATE	0.060 l/h
Angeforderter Verbrauch Reagent	0x7E8	REAG_DEMD	0.060 l/h
Reagent Tankfüllstand	0x7E8	REAG_LVL	100.0 %
01 / 88 SCR Anreizsystem			
SCR Anreizsystem Aktiv	0x7E8	ACTIVE	False
SCR Anreizsystem aktueller Status	0x7E8	SCR_INDUCE_S YSTEM	OK
SCR Anreizsystem Status (0-10.000 km)	0x7E8	SCR_INDUCE_S YSTEM_HIST1	OK
SCR Anreizsystem Status (10-20.000 km)	0x7E8	SCR_INDUCE_S YSTEM_HIST2	OK
SCR Anreizsystem Status (20-30.000 km)	0x7E8	SCR_INDUCE_S YSTEM_HIST3	OK
SCR Anreizsystem Status (30-40.000 km)	0x7E8	SCR_INDUCE_S YSTEM_HIST4	OK
Zurückgelegte Distanz mit aktivem SCR Anreizsystem im aktuellen 10.000er Block	0x7E8	SCR_IND_DIST_ 1N	0 km
Zurückgelegte Distanz im aktuellen 10.000er Block	0x7E8	SCR_IND_DIST_ 1D	8194 km
01 / 8B Nachbehandlungsstatus			
Partikelfilter Status Regenerierung	0x7E8	PF_REGEN_STA T	NO
Partikelfilter Typ	0x7E8	PF_REGEN_TYP E	PASSIVE
Ergebnis			
Ergebnis des OBID Prüfablaufs	Durchgeführt		

Quelle: AVL DiTEST

Abbildung 6: Motortyp EA288 mit den Positionen der vier Temperatursonden S1 bis S4 (Positionen 8;10;5;16)



S526_026

Legende

- | | | | |
|----|--|----|---|
| 1 | Ansauglufttemperaturgeber G42 | 14 | Dieselpartikelfilter |
| 2 | Ladeluftkühler | 15 | Differenzdruckgeber G505 |
| 3 | Ladelufttemperaturgeber nach Ladeluftkühler G811 | 16 | Abgastemperaturgeber 4 G648 |
| 4 | Hallgeber G40 | 17 | Lambdasonde nach Katalysator G130 |
| 5 | Abgastemperaturgeber 3 G495 | 18 | Abgasklappensteuereinheit J883 |
| 6 | Oxidationskatalysator | 19 | Drucksensor 1 für Abgas G450 |
| 7 | Lambdasonde G39 | 20 | Stellmotor 2 für Abgasrückführung V339 |
| 8 | Abgastemperaturgeber 1 G235 | 21 | Verdichter des Abgasturboladers |
| 9 | Abgasturbine mit Leitschaufelverstellung | 22 | Luftmassenmesser G70 |
| 10 | Abgastemperaturgeber 2 G448 | 23 | Ventil 1 für Nockenwellenverstellung N205 |
| 11 | Magnetventil für Ladedruckbegrenzung N75 | 24 | Stellmotor für Abgasrückführung V338 |
| 12 | Positionsgeber für Ladedrucksteller G581 | 25 | Drosselklappensteuereinheit J338 |
| 13 | Kühler für Abgasrückführung | 26 | Ladedruckgeber G31 |

Quelle: Selbststudienprogramm 526 von Volkswagen [7]

3.1 Fahrzeugauswahl Arbeitspaket 1

Bei der Fahrzeugauswahl stand zum einen die Fahrzeug-Population im Vordergrund, aber auch die Verfügbarkeit der Fahrzeuge für diese Testreihen und mögliche Wiederholungsmessungen zu einem späteren Zeitpunkt. Für das erste Arbeitspaket wurden Fahrzeuge aus dem Fuhrpark der Projektteilnehmer herangezogen, in diesem Fall ein VW Passat, eine Mercedes C-Klasse, ein Skoda Kodiaq und ein VW Tiguan. Die Auswahl von drei Fahrzeugen aus dem Volkswagenkonzern mit gleichem Motortyp (2 l Hubraum) aber unterschiedlicher Motorisierung (110 KW, 140 KW und 172 KW) sollte zudem auch noch Unterschiede in der Bedatung über die Konzernmarken hinweg aufzeigen. Die Daten der Fahrzeuge sind in der folgenden Tabelle 2 aufgeführt. Weitere Informationen zu den Fahrzeugen sind in Abbildung 91 im Anhang zu finden.

Tabelle 2: Fahrzeugübersicht Arbeitspaket 1

Fahrzeug	Marke/Modell	Hubraum	Leistung	Kategorie	Emissionscode
1	Volkswagen Passat	2,0	140	M1	36DG
2	Mercedes C220d	2,0	143	M1	36AG
3	Skoda Kodiaq	2,0	176	M1	36DG
4	Volkswagen Tiguan	2,0	110	M1	36AG

3.2 Beschreibung der Messprozeduren und Messgeräte

3.2.1 ASM20

Bei der ASM20-Prozedur handelt es sich um eine vereinfachte Version der in einigen Ländern außerhalb Europas zur Anwendung kommenden ASM20/50 Testprozedur. Im Teil 1 der Studie „Fortschreibung der Abgasuntersuchung“ [1] war unter anderem eine Erkenntnis, dass es ausreicht mit 20 km/h auf einem Rollenprüfstand bei 500 N Last zu fahren, um signifikante Erhöhungen der NO_x-Emissionen bei vorhandenen Fehlern im Abgasreinigungssystem zu generieren, sowie gleichzeitig ausreichende Temperaturbedingungen zu erreichen und diese auch während der Messung zu halten. Des Weiteren ist bei dieser relativ geringen Geschwindigkeit das Gefahrenpotential wesentlich vermindert und je nach Ausführung des Prüfstandes kann eine mechanische Fixierung¹ des Fahrzeuges entfallen. Dies würde die Rüstzeiten für die Abgasprüfung deutlich reduzieren. Um Erkenntnisse über die Stabilität der Messung zu gewinnen, wurden mind. 5 Zyklen hintereinander durchgeführt, bzw. mit anderen Randbedingungen (z. B. zusätzliche Warmfahrt) die Zyklen wiederholt. Der Geschwindigkeits-Zeit-Verlauf eines ASM20 ist schematisch in Abbildung 7 dargestellt.

Die verwendete Messtechnik zur Erfassung der NO_x-Messwerte war zum einen immer die Messtechnik des Laborprüfstandes (Typprüfung) sowie, abhängig von der Verfügbarkeit, das auf Basis der CLD-Technologie arbeitende NO_x-Messgerät der Firma Knestel electronic als portables NO_x-Messgerät mit den Modi schnell (50 Messwerte pro Sekunde) und langsam (1 Messwert pro Sekunde).

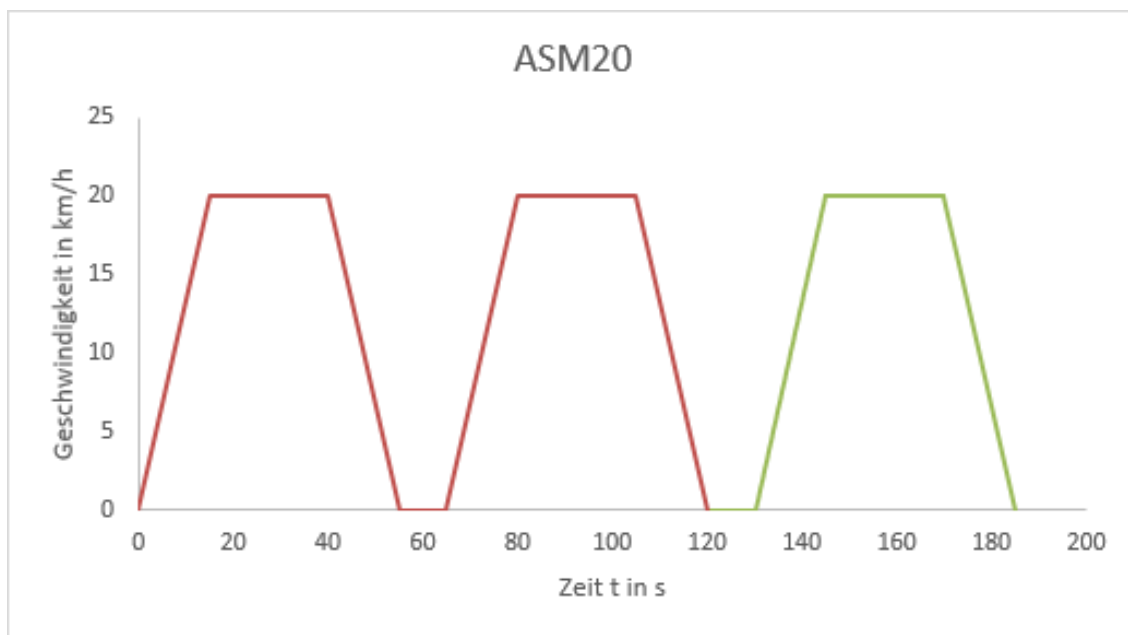
¹ Unabhängig davon sind die technischen Regeln für Arbeitsstätten/Arbeitsschutzrichtlinien einzuhalten.

Des Weiteren wurde im Rahmen der Messungen ein sog. Mini-PEMS der Firma 3DATX, sowie ein PEMS der Firma AVL eingesetzt. Das CLD-Messgerät wurde parallel dazu eingesetzt.

Prüfzyklus ASM20:

- ▶ Fahrzeug von 0 km/h auf 20 km/h beschleunigen (innerhalb 15 s)
- ▶ 20 km/h für 25 s konstant halten
- ▶ Danach verzögern von 20 km/h auf 0 km/h innerhalb 15 s
- ▶ 5 s abwarten
- ▶ Weitere Zyklen durchführen

Abbildung 7: Schematische Abfolge der ASM20 Prozedur



Quelle: Eigene Darstellung TÜV SÜD

3.2.2 Kurzfahrt Straße

Bei dieser Methode wird das Fahrzeug von 0 km/h auf 20 km/h beschleunigt und anschließend sofort bis zum Stillstand abgebremst. Hierbei ist eine Beschleunigung von 1,01 m/s² vorgegeben.

Der Geschwindigkeits-Zeit-Verlauf ist schematisch in Abbildung 8 dargestellt. Die zurückgelegte Wegstrecke beträgt dabei ca. 30 Meter. Nach Abbremsung bis zum Stillstand wird anschließend rückwärts bis zum Ausgangspunkt gefahren und die Kurzfahrt zehn Mal wiederholt.

Die Rückwärtsfahrt sorgt zum einen für eine möglichst kurze Strecke, zum anderen wird das Abgassystem durch die andere Getriebeübersetzung zusätzlich aufgeheizt bzw. kühlt nicht aus (höhere Motordrehzahl).

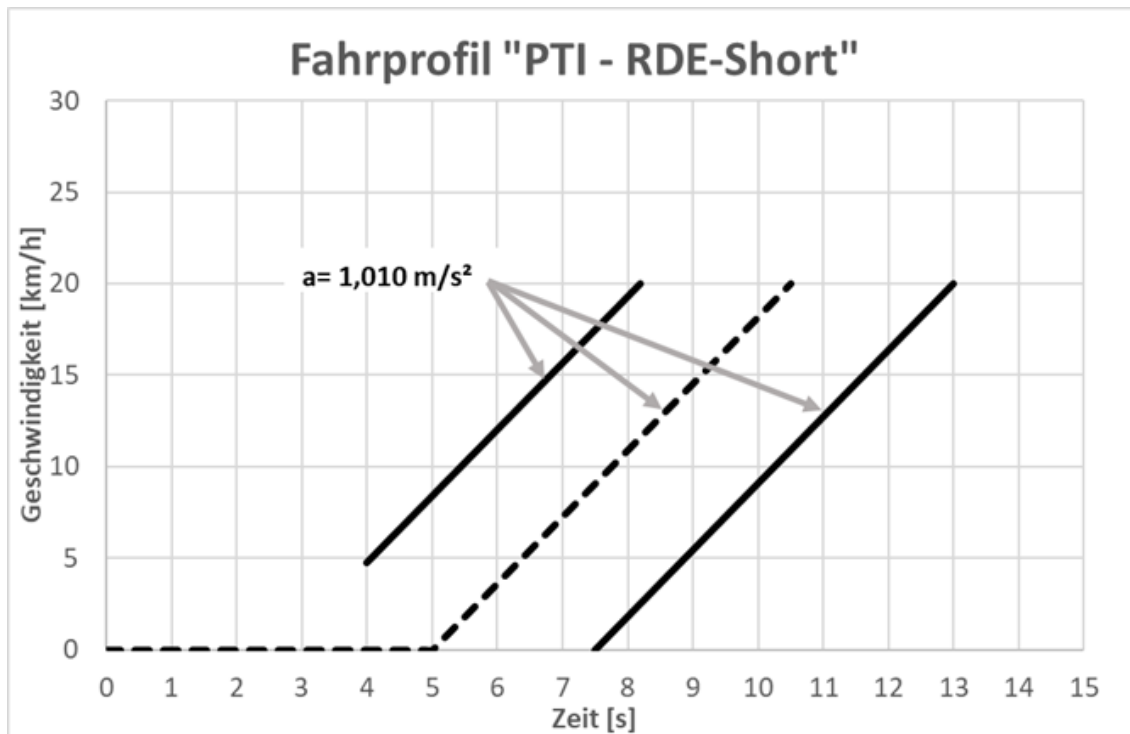
Die NO_x-Werte wurden dabei entweder mit dem Gerät von 3DATX und dem CLD-Gerät (parallel betrieben), oder mit einem PEMS-Gerät und dem CLD-Gerät parallel aufgenommen.

Des Weiteren wurde dieser Test z. B. auf einem befestigten (Park-) Platz mit ausreichender Größe durchgeführt. Der Platz muss „eben“, oder leicht ansteigend sein (max. 2 % Steigung). In

keinem Fall darf der Platz abfallend sein (negative Steigung). Für die Fahrt wird eine gerade Strecke benötigt (Theoretische Messstrecke: ca. 16 Meter, praktische Messstrecke ca. 20 bis 30 Meter plus Sicherheitsstrecke).

Die komplette Fahrt fand in der 1. Gangstufe statt (kein Schalten!). Um bei automatischen Getrieben das Wechseln der Gangstufe zu verhindern, ist bei solchen Getrieben vor der Fahrt, soweit möglich, in den manuellen Modus zu wechseln.

Abbildung 8: Schematische Darstellung der Straßenkurzfahrt



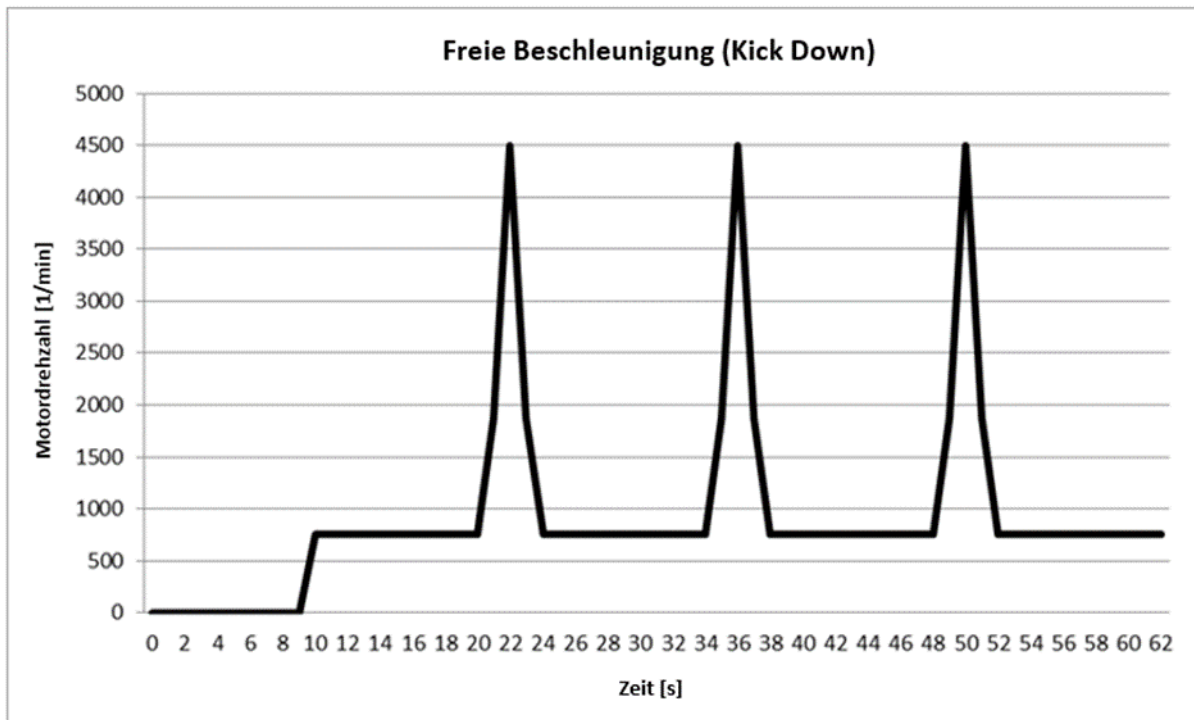
Quelle: Eigene Darstellung DEKRA

3.2.3 Stationäre Verfahren

3.2.3.1 Freie Beschleunigung (Kick-Down)

Dieser Test wird bei stehendem Fahrzeug durchgeführt und könnte somit analog zur bestehenden AU in den Abgasuntersuchungsablauf in der Prüfhalle integriert werden. Nach dem Einführen der Abgas-Messsonde in das Endrohr steigt die NO_x-Konzentration an (NO_x Ausstoß im Leerlauf). Anschließend folgt die Durchführung von drei aufeinanderfolgenden Kick-Downs (Freie Beschleunigung) bis zur Abregeldrehzahl. Zwischen den Kick-Downs erstreckt sich eine Beruhigungspause von 10 Sekunden. Die Pause sollte nicht länger sein, da dies eine zu starke Auskühlung des Abgasnachbehandlungssystems zur Folge hätte. Das Gaspedal ist möglichst schnell bis zum Anschlag durchzudrücken, um die größte mögliche Last zu generieren. Direkt im Anschluss eines Kick-Downs, der einen signifikanten Peak des NO_x-Wertes erzeugt, sollte ein deutliches Absinken der NO_x-Konzentration erkennbar werden. Die schematische Darstellung der freien Beschleunigung ist Abbildung 9 dargestellt.

Abbildung 9: Schematische Darstellung der freien Beschleunigung (Kick Down)

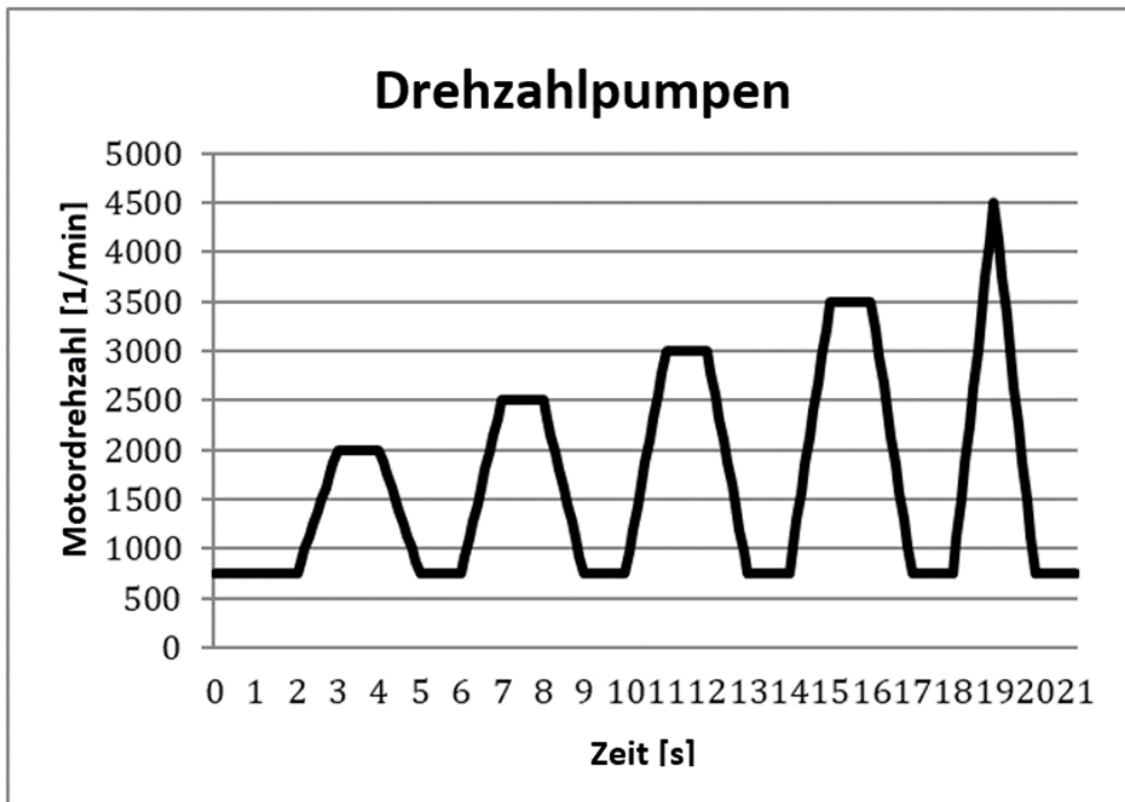


Quelle: Eigene Darstellung DEKRA

3.2.3.2 Drehzahlpumpen

Auch dieser Test wird bei stehendem Fahrzeug durchgeführt. Es handelt sich hierbei jedoch um keine Kick-Downs, sondern um eine sauber dosierte konstante Steigerung der Drehzahl bis zur Abregeldrehzahl ohne direkte Pausen. Die Plateaus resultieren aus den Trägheiten im Motor und den Reaktionszeiten des Bedieners. Die Drehzahlsteigerung erfolgt in vier bzw. fünf Stufen, beginnend bei 2.000 min⁻¹ und Steigerung um jeweils 500 min⁻¹. Nach der Stufe mit 3.500 min⁻¹ (vierte Stufe) erfolgt eine „freie Beschleunigung“ („Kick-Down“) bis die Abregeldrehzahl erreicht wird (siehe Abbildung 10). Der Toleranzbereich bei den Drehzahlstufen beträgt jeweils ±200 min⁻¹. Bei Fahrzeugen, welche im Stand bei 2.500 min⁻¹ begrenzt sind und diese Sperre nicht abschaltbar ist, können nur zwei bzw. drei Stufen durchgeführt werden. Die Stufe mit 2.500 min⁻¹ wird dann zweimal durchgeführt.

Abbildung 10: Schematische Darstellung des Drehzahlpumpens (Rotation Speed Pump)



Quelle: Eigene Darstellung DEKRA

3.3 Vorbereitung der Messungen an einzelnen Fahrzeugen

3.3.1 Durchführung der OBD-Messungen

Das Auslesen der Daten über die OBD-Schnittstelle wurde, wie unter Kapitel **Fehler!** **Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** beschrieben, mit einem speziell auf diesen Bedarf erweiterten OBD-Tool der Fa. AVL DiTEST durchgeführt. Dieses Tool ermöglicht, neben einem Snap Shot der erfassten PIDs, auch einen Aufzeichnungsmodus über einen längeren Zeitraum und die Abspeicherung der Daten in einer CSV-Datei zur späteren Analyse. Die Aufzeichnungsdauer ist nahezu unbegrenzt, die Datenrate beträgt aufgrund der Datenkommunikation zum Fahrzeug ca. 300 Millisekunden pro Datensatz (PID). Ein Zeitstempel in Echt-Uhrzeit wird miterfasst.

Als erstes Fahrzeug wurde ein VW Passat zur Messung verwendet (2-Liter-Motor/140 KW). Das Fahrzeug liefert unter der PID 78 Messwerte von vier Temperatursonden (siehe Abbildung 11), sowie unter der PID 83 Messwerte von zwei NO_x-Sonden (siehe Abbildung 12). Dieses Fahrzeug wurde ebenfalls zu Validierung bei der SW-Erweiterung der EOBD-Daten herangezogen und dabei mehrfach Messungen im stationären Zustand bzw. Messwerte (EOBD) im fahrenden Betrieb aufgezeichnet.

Bei der Aufzeichnung der Messwerte der fahrzeuginternen NO_x-Sonden (Abbildung 12) fiel auf, dass bei den Validierungsfahrten die erste NO_x-Sonde nach relativ kurzer Zeit von ca. 140 s bis 150 s (18 °C Außentemperatur, 18 °C Kühlmitteltemperatur) von einem zunächst konstanten Wert von 65.535 auf reale und plausible Messwerte springt (abhängig vom Fahrzustand Werte zwischen 0 ppm und ca. 300 ppm).

Des Weiteren wurde festgestellt, dass die zweite NO_x-Sonde vom Fahrzeug unterstützt wird. Unter den bei der Validierung des EOBD-Programmes gefahrenen Fahrten, auch über längere Strecken von 5 km, zeigte die Sonde jedoch immer einen Wert von 65.535 ppm (konstanter Zustand) und sprang nie in einen aktiven Bereich. Es lag also erst einmal die Vermutung nahe, dass diese Sonde nicht bedatet ist und deshalb keine Werte liefert. Bei weiterführenden Messungen zeigte die Sonde jedoch nach einer Fahrt auf der Rolle mit 80 km/h und anschließendem ASM20 Test beim zweiten von drei ASM20 Zyklen ebenfalls reale NO_x-Werte von unter 50 ppm.

Die Konvertierungsrate von Abgasnachbehandlungssystemen hängt entscheidend von der Temperatur des SCR-Systems ab und sollte mindestens 180 °C betragen [9], um Konvertierungsraten von mindestens 80 % zu erreichen. Soweit bedatet, wurden die Abgastemperaturen über OBD aufgenommen.

Abbildung 11: Beispielmessung zur OBD-Datenaufzeichnung – Temperaturen und Fahrzeuggeschwindigkeit

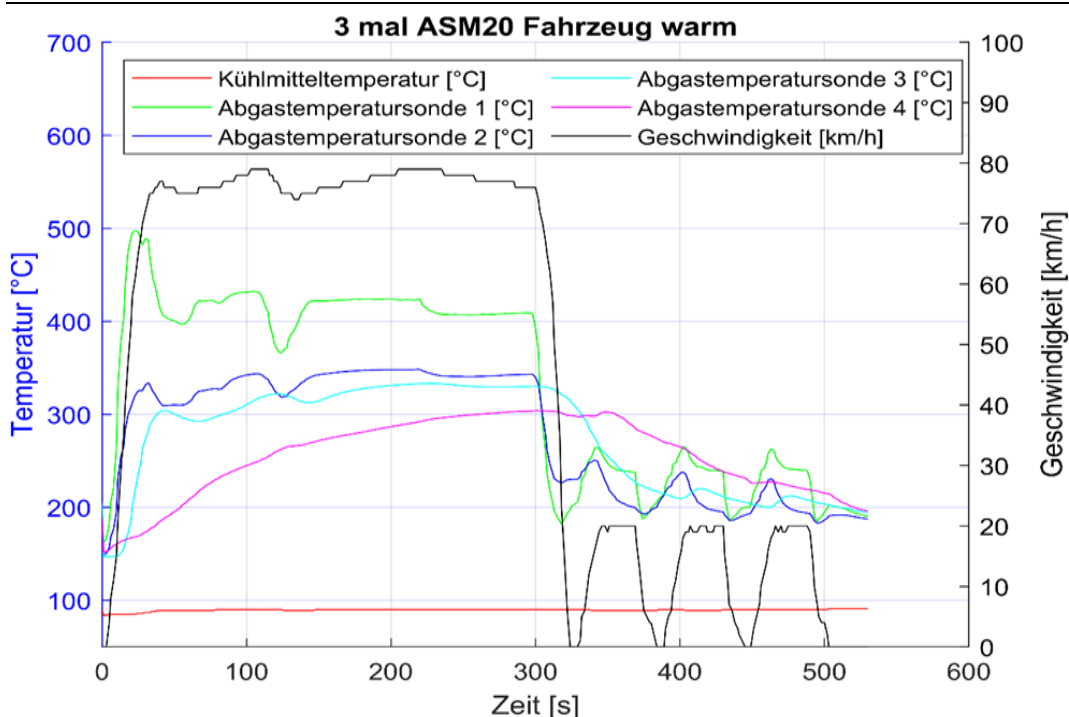
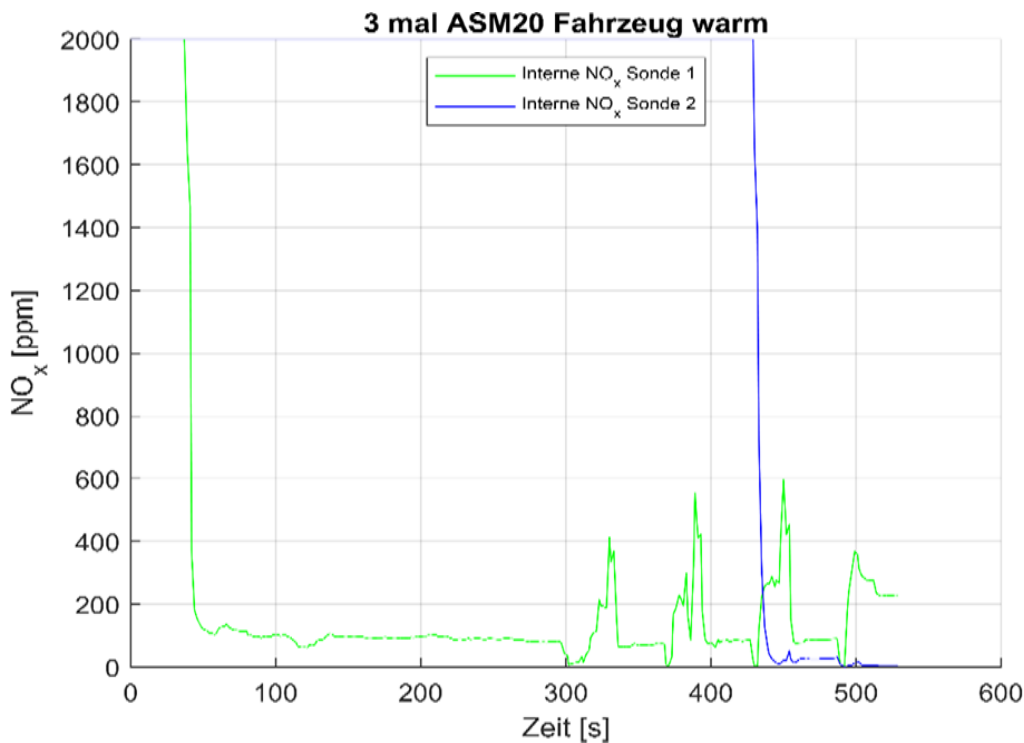


Abbildung 12: Beispielmessung zur OBD-Datenaufzeichnung – NO_x-Werte der fahrzeuginternen Sonden



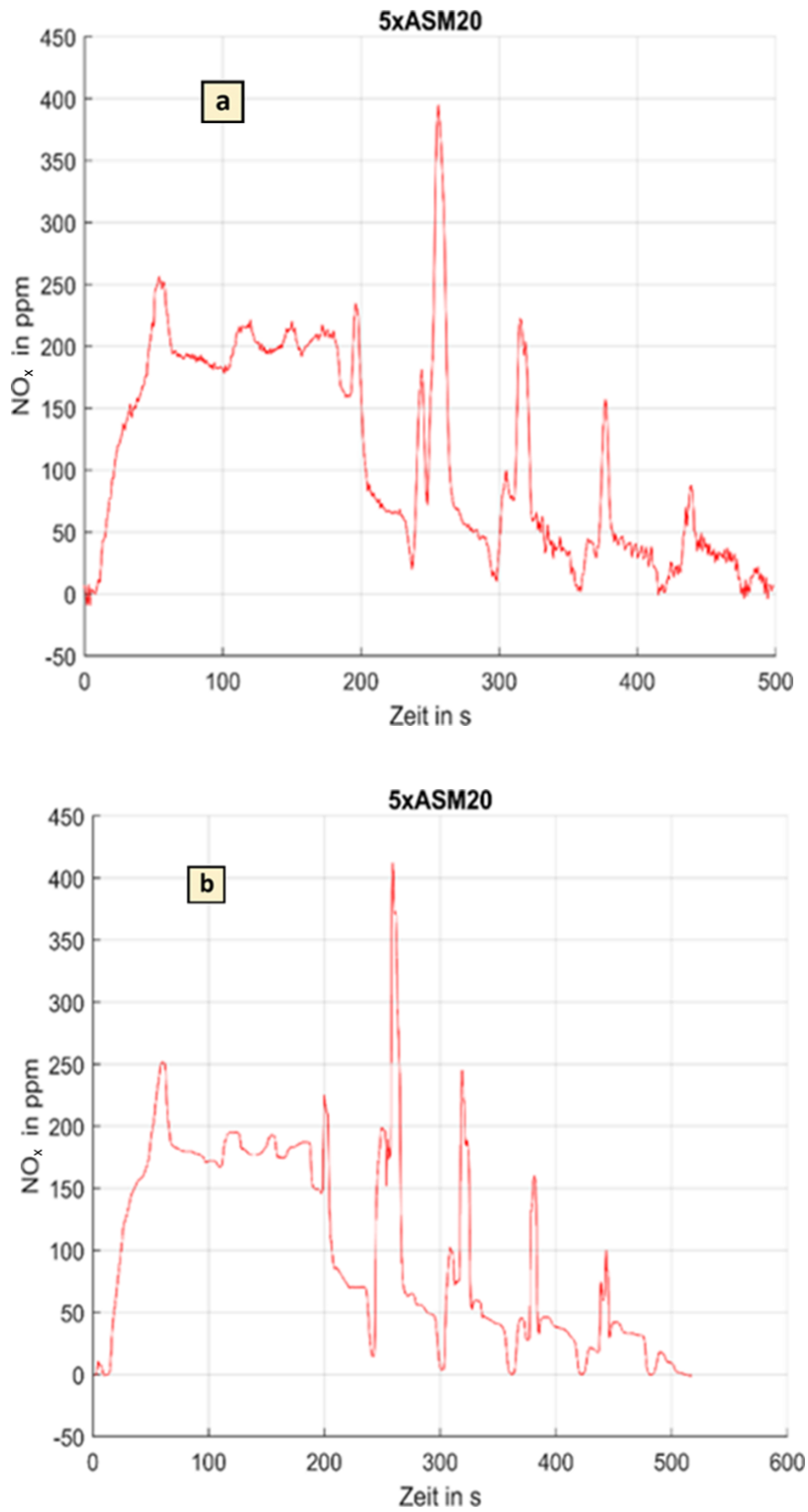
In Abbildung 11 ist der Temperaturverlauf der vier Abgastemperatursonden, sowie der Kühlmitteltemperatur und der Fahrzeuggeschwindigkeit dargestellt. In Abbildung 12 sieht man die zwei im Fahrzeug verbauten NO_x-Sonden, ebenfalls aufgezeichnet über OBD. Nicht aktive Werte zeigen im OBD-System in der Regel einen „eingefrorenen“ maximalen Wert (in diesem Fall 65.535), der dann im aktiven Zustand auf reale Werte zurückgeht. In Abbildung 12 sieht man sehr deutlich, dass die zweite NO_x-Sonde während der Warmfahrt mit 80 km/h noch nicht aktiv ist und erst am Ende des anschließenden zweiten ASM-Zyklus aktiv wird. In Abbildung 12 werden nur Werte dargestellt, die unterhalb 2.000 ppm liegen, da reale Werte oberhalb dieser Grenze nicht vorkommen, sondern im nicht aktiven Zustand systembedingt über OBD ein eingefrorener konstanter Wert von 65.535 geliefert wird.

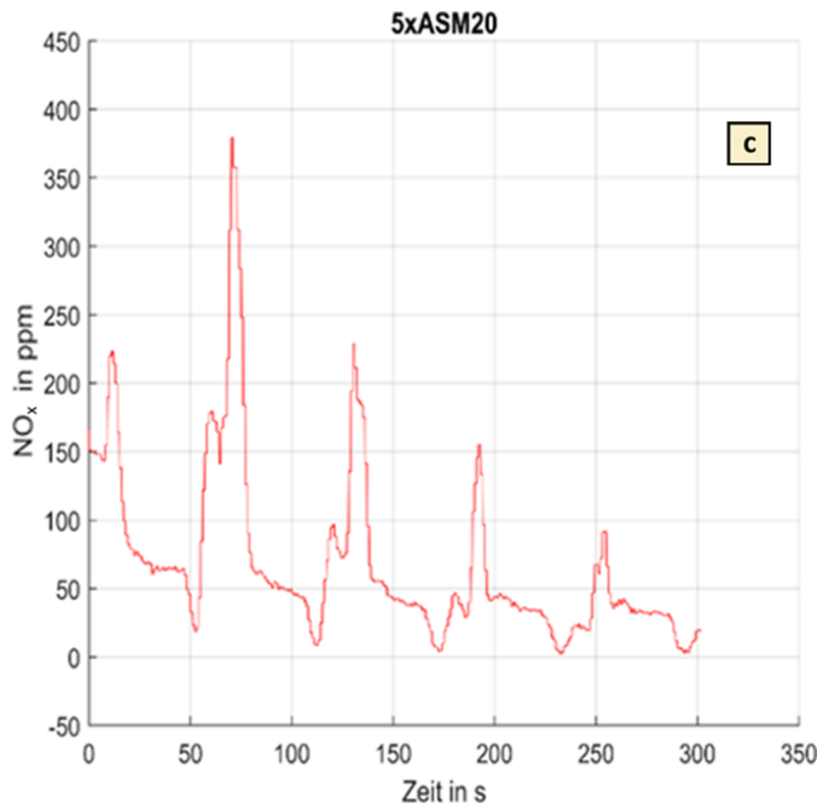
3.3.2 Validierung der verwendeten NO_x-Messgeräte

Zur Sicherstellung der Messergebnisse wurden die Messgeräte von 3DATX und das CLD - Messgerät der Fa. Knestel im Rahmen der ersten Messkampagne gegen die Abgasanalyseanlage des Rollenprüfstandes validiert. Alle drei Messgeräte (Messverfahren) zeigten dabei sowohl beim Kurvenverlauf als auch bei den Werten (siehe Abbildung 13 a bis c) eine sehr gute Übereinstimmung der Messergebnisse (Peakwert 3DATX: 390 ppm – CLD-Gerät: 405 ppm – Prüfstand: 380 ppm, Differenz 25 ppm bzw. 6 %). In Abbildung 13 a und b sind die NO_x-Werte der Warmfahrt mit aufgezeichnet, in Abbildung 13 c sind nur die fünf ASM20-Zyklen ohne Konstantphase davor aufgezeichnet.

Die Datenrate bei dem CLD-Messgerät von Knestel wurde bei allen Messungen auf 10 Hz (niedrigste Datenrate) und nur bei den „Freien Beschleunigungen“ auf die hohe Datenrate von 50 Hz eingestellt. Die genutzten Prüfstände, sowie das PEMS-Gerät von AVL und das Gerät von 3DATX arbeiten mit Datenraten von 1 Hz.

Abbildung 13: Vergleich der Messergebnisse von 3DATX, Knestel CLD und Rollenprüfstand (Horiba)

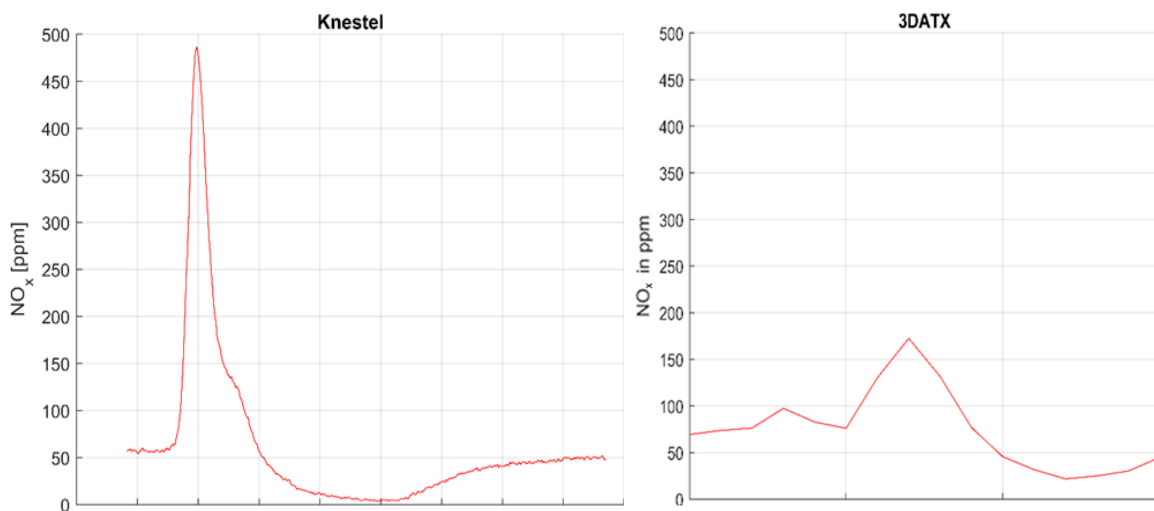




Vergleich unterschiedlicher Messfrequenzen in Bezug auf NO_x-Spitzenwerte

Für die dynamische Erfassung der NO_x-Spitzenwerte während der Beschleunigung sind hohe Messfrequenzen erforderlich. Hierfür steht ein NO_x-Messgerät von Knestel zur Verfügung. Mithilfe der CLD-Technologie (Chemilumineszenz Detektor) sind Abtastraten von bis zu 100Hz möglich, wodurch eine sehr präzise Erfassung der Spitzenwerte erreicht wird. Dadurch ist eine detaillierte Erfassung der NO_x-Werte während des Hochlaufes beim Gasstoß gewährleistet. Bei einem Aufzeichnungsmodus von nur 1 Messwert pro Sekunde kann die Spitze beim Hochlauf nicht ausreichend erfasst werden, was zu signifikant unterschiedlichen Werten führt. Wie man dem Beispiel in Abbildung 14 a entnehmen kann, ist der reale Spitzenwert bei dem hochauflösenden CLD-Sensor ca. 480 ppm. Im Vergleich dazu beträgt der maximale NO_x-Wert bei einer Auflösung von einem Messwert pro Sekunde nur 170 ppm (siehe Abbildung 14 b). Deutlich erkennbar ist außerdem, dass sich im stationären Zustand nach dem Gasstoß die Werte bei beiden Messgeräten wieder bei ca. 50 ppm einpendeln.

Abbildung 14: Vergleich unterschiedlicher Messfrequenzen



3.4 Messprogramm Arbeitspaket 1

Im Arbeitspaket 1 wurden Messungen mit unterschiedlichen Randbedingungen zur Fahrzeugkonditionierung untersucht.

Übersicht OBD-Bedatung

In einer EXCEL-Tabelle wurden alle in diesem Projekt vermessenen Fahrzeuge erfasst und hinsichtlich der für dieses Projekt verfügbaren Datensätze (PID's) dokumentiert. Erfasst wurden der Hersteller, Fahrzeugtyp, Motorisierung, Emissionscode und die Erstzulassung und die Typklasse M1/N1. Neben der fortlaufenden Nummerierung der Fahrzeuge wurde auch eine Nummerierung bezogen auf die Arbeitspakete vergeben. So bedeutet z. B. AP 2.1_5, dass das Fahrzeug Nr. 5 im zweiten Arbeitspaket im ersten Teil vermessen wurde. Die Nummern 1 bis 30 sind Fahrzeuge mit Dieselmotor, Nummern 31 bis 33 stellen die 3 Pkw mit Benzinmotor dar, die in der Studie hinsichtlich NO_x vermessen wurden. Die Fahrzeuge mit den Nummern 34 bis 40 sind wiederum Dieselfahrzeuge, bei denen jedoch ausschließlich die OBD-Bedatung untersucht wurde; weitere Messungen fanden nicht statt.

Abbildung 15 liefert eine Zusammenfassung über alle 40 Fahrzeuge mit Abdeckungsgrad zum jeweiligen Datensatz (PID). Man sieht sehr deutlich, dass einige sehr wichtige Datensätze, wie z. B. die Abgastemperaturen, nur zu ca. 67 % bedatet sind.

Selbst die AGR-Rate hat nur einen Bedatungsgrad von ca. 85 %. Um sicherzustellen, dass eine durchgängige Bedatung über alle Fahrzeughersteller und Fahrzeugtypen erfolgt, sind eindeutige Vorgaben vom Verordnungsgeber notwendig, um für die Typprüfung entsprechende Anforderungen verbindlich festzulegen. Die vollständige Tabelle ist in Abbildung 91 im Anhang zu finden.

Abbildung 15: Übersicht OBD-Bedeutung der Fahrzeuge

PID Nr.	PID Bezeichnung	Abdeckung (Summe)
01	Readinesscode	37
04	Berechneter Lastwert 1)	
05	Kühlmitteltemperatur	37
0C	Motordrehzahl	37
0D	Fahrgeschwindigkeit	37
2C	AGR Rate	12
2D	AGR Fehler	12
69	AGR Rate	25
78/79	Abgastemperatur	25
7A/7B	Differenzdruck Partikelfilter	18
7C	Partikelfilter Temperatur	2
7D	NO _x NTE Kontrollsystem Status	0
7E	PM NTE Kontrollsystem Status	0
83	NO _x Sensor Unterstützung und Wert	25
85	NO _x Kontroll System (Info zu Reagenz)	30
86	Partikelsensor	0
88	SCR-Anreizsystem (aktueller Status)	33
8B	Diesel Abgasnachbehandlungssystem	28
8F	Partikelmasse Sensor	11

Anmerkung:

(n) bedeutet n Sensoren verfügbar

(0) bedeutet supportet aber kein Wert

1) erst später mit einem SW-Update hinzugefügt, deshalb nicht bewertet

3.4.1 Ergebnisse Fahrzeug 1

Die erste Messkampagne wurde mit dem VW Passat (Fahrzeug 1) durchgeführt. Nach einer Vorbereitungszeit von circa einer Stunde nach der Anfahrt wurden die Messreihen gestartet. Das Fahrzeug war noch betriebswarm mit ca. 70 °C.

An dem Fahrzeug wurden nachfolgende Messreihen durchgeführt:

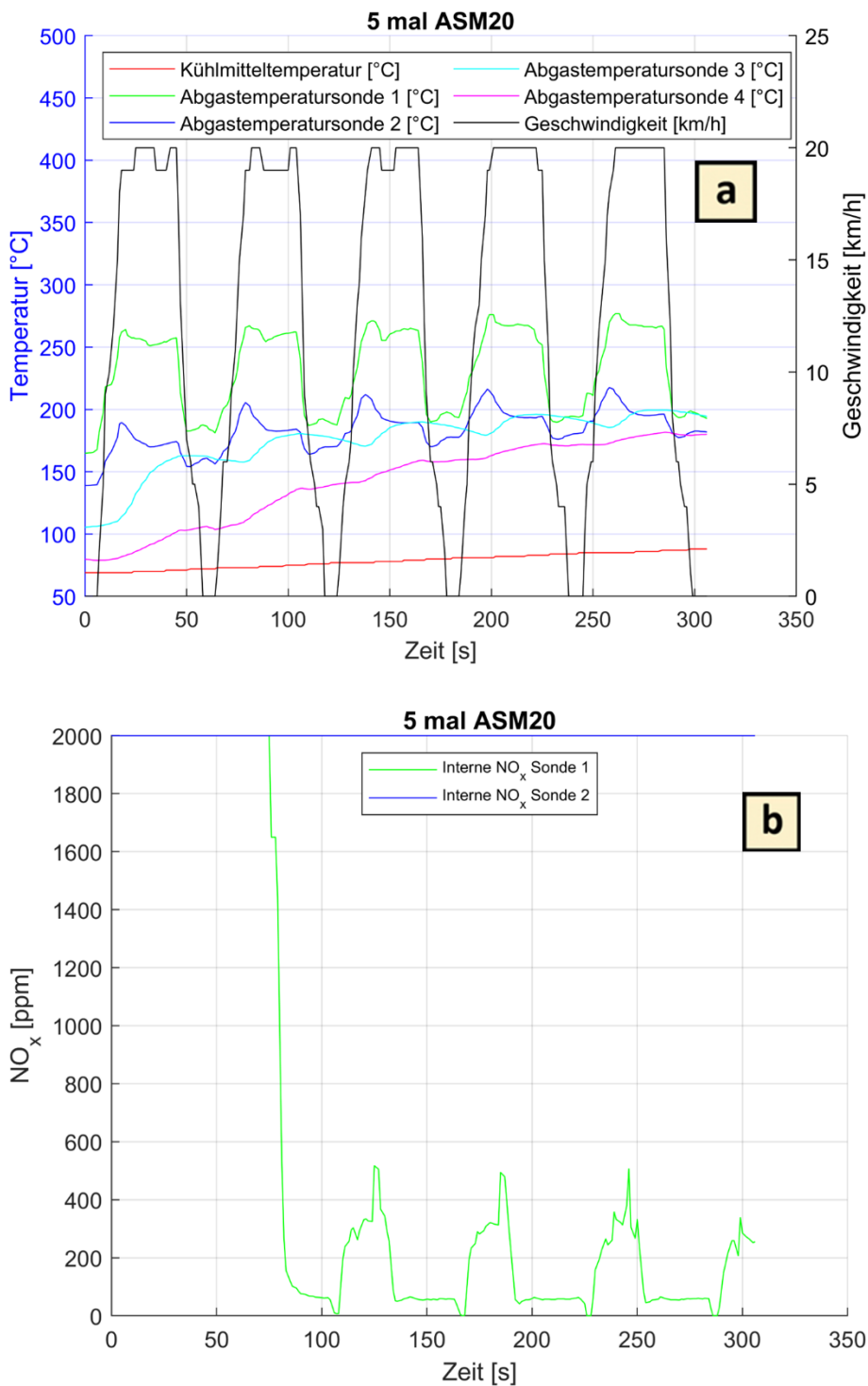
- ▶ Messung 1: ASM20 (5x) – 500 N – Fahrzeug bereits auf Betriebstemperatur
- ▶ Messung 2: Gasstoß 6x unmittelbar nach Messung 1
- ▶ Messung 3: 3x Drehzahlpumpen, unmittelbar nach Messung 2
- ▶ Messung 4: Nach einer Pause von 1,5 h weiterer ASM20 (10 x) – 500 N
- ▶ Messung 5: Warmfahrt Rolle 5 min mit 80 km/h – 500 N, danach 3x ASM20
- ▶ Messung 6: Gasstoß 6x unmittelbar nach Messung 5
- ▶ Messung 7: Gasstoß 6x nach einer Pause von ca. 15 min
- ▶ Messung 8: 10x Kurzfahrt auf Teststrecke (vorwärts-rückwärts)
- ▶ Messung 9: Erneut 10x Kurzfahrt nach einer Warmfahrt

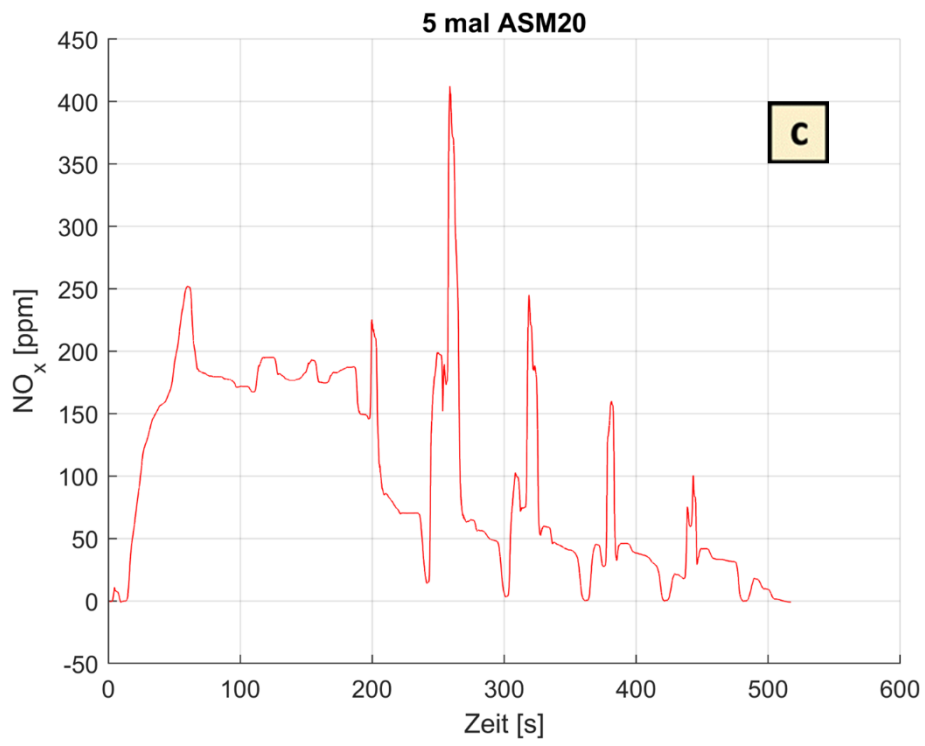
Messung 1, Fahrzeug 1: ASM20 (5x) – 500 N – bereits auf Betriebstemperatur

Bei Messung 1 wurden fünf ASM20-Fahrzyklen mit einer konstanten Last von 500 N durchgeführt. Die hierbei aufgezeichneten OBD-Daten sind in Abbildung 16 zu sehen. Neben dem Geschwindigkeitsverlauf wurden außerdem die Kühlmitteltemperatur und vier verschiedene Abgastemperaturen aufgezeichnet. Da die Kühlmitteltemperatur bereits zu Beginn der Messung ca. 70 °C betrug, ist nur ein leichter Anstieg zu erkennen. Die Kühlmitteltemperatur steigt über den gesamten Verlauf kontinuierlich an und endet bei rund 90 °C.

Obwohl das Fahrzeug betriebswarm war, kam die interne zweite NO_x-Sonde während des gesamten Messzyklus nicht in den aktiven Bereich (siehe Abbildung 16 b). Man kann auch sehr gut erkennen, dass beim Beschleunigen die NO_x-Peakwerte kontinuierlich zurückgehen, die Werte im Bereich des Zyklus bei 20 km/h sich jedoch bereits nach dem dritten Zyklus bei knapp unter 50 ppm einpendeln (siehe Abbildung 16 c). Die Abgastemperatur der Sonde 4 erreicht hier knapp die 180 °C (siehe Abbildung 16 a).

Abbildung 16: Fahrzeug 1 – Messung 1 – OBD-Daten und NO_x-Verlauf

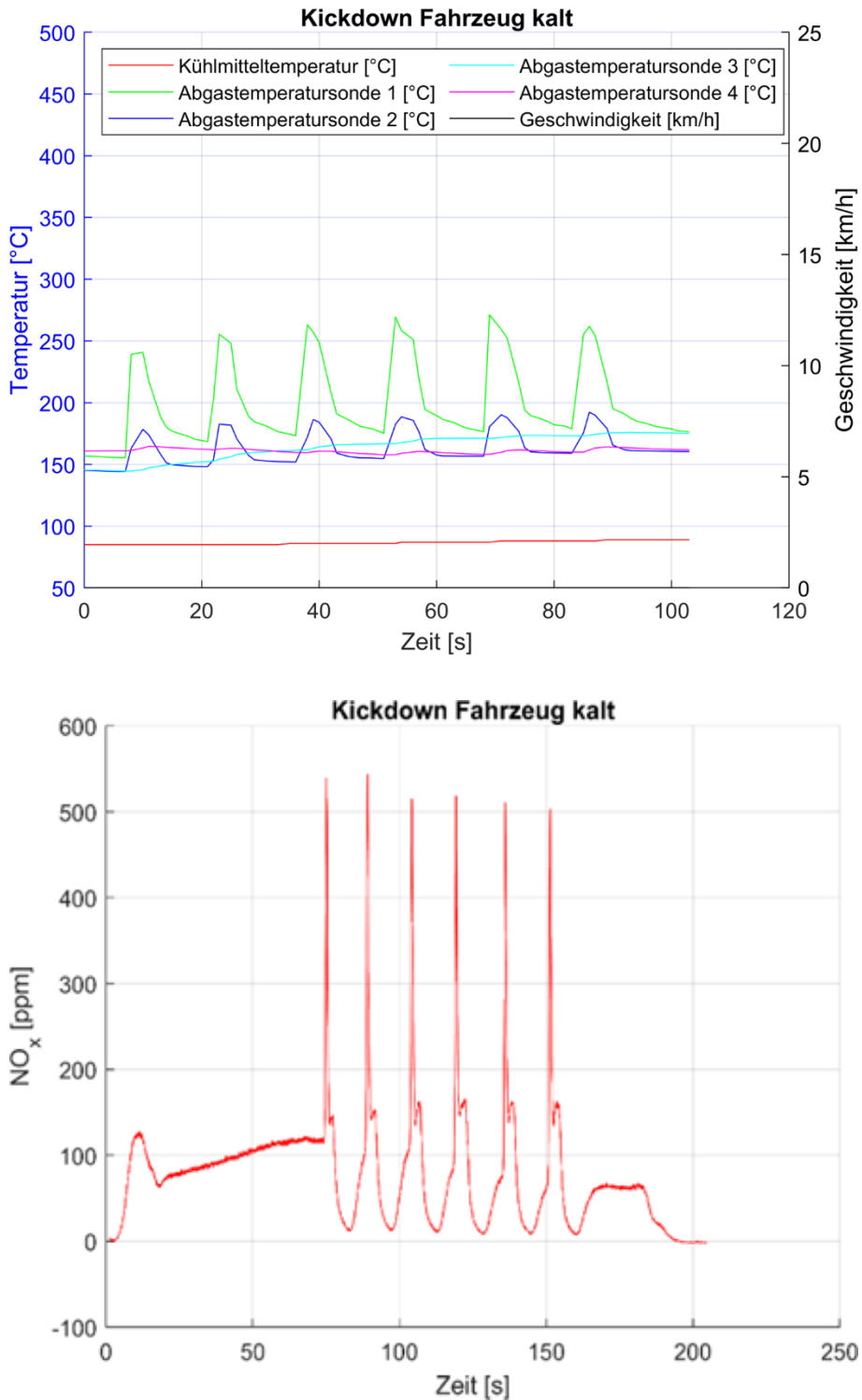




Messung 2, Fahrzeug 1: Gasstoß 6x unmittelbar nach Messung 1

Messung 2 erfolgt unmittelbar im Anschluss an Messung 1 mit 6 Gasstößen. Die NO_x-Messwerte (Abbildung 17 b), sowohl während der Beschleunigung (Peak-Werte), als auch nach der Beschleunigung (Werte nach dem Peak), sind über alle sechs Gasstöße relativ konstant. Die Temperatur, insbesondere von Sonde 4 verändert sich nicht signifikant während der Gasstöße (Abbildung 17 a) und bleibt bei ca. 160 °C.

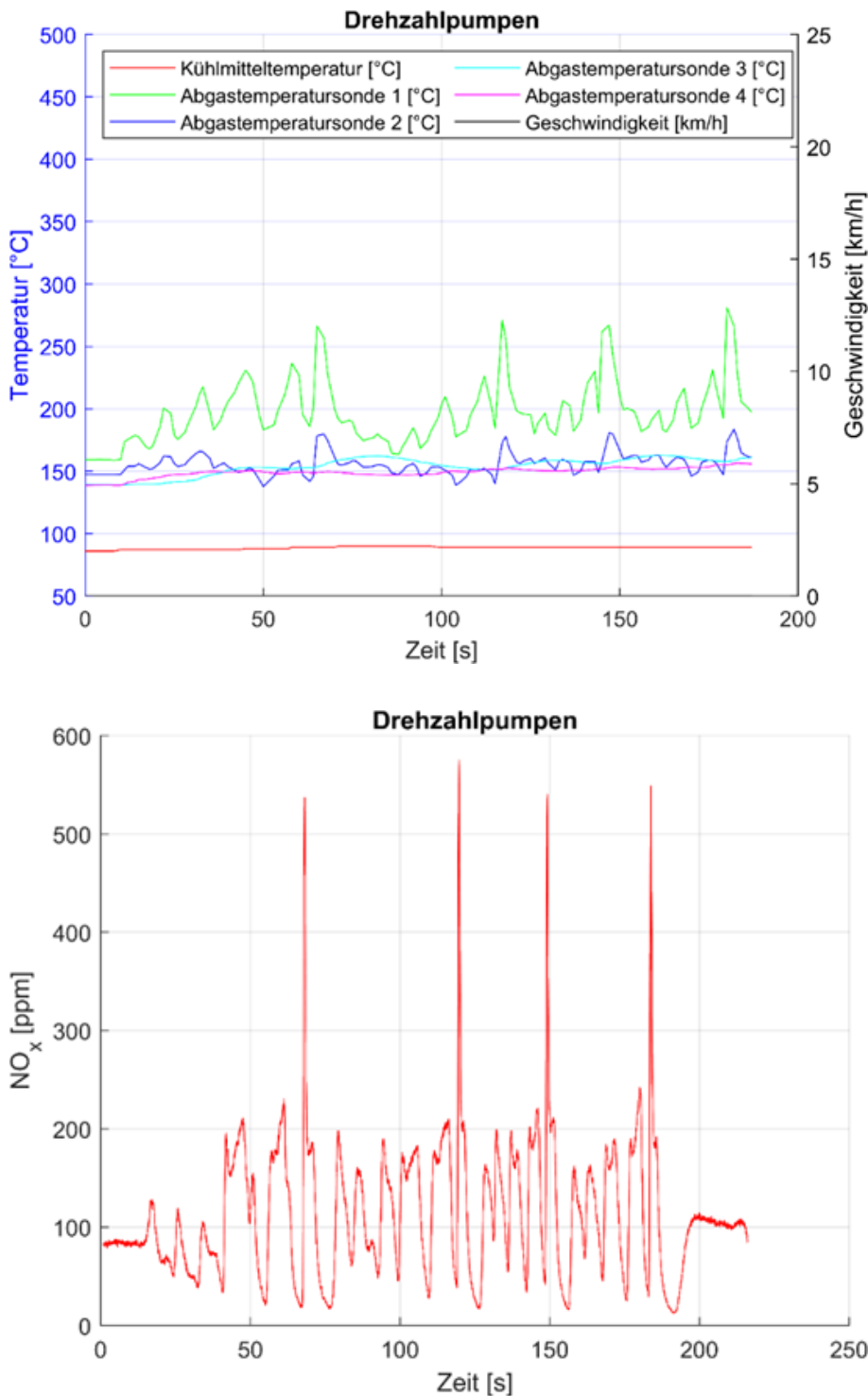
Abbildung 17: Fahrzeug 1 – Messung 2 – OBD-Daten und NO_x-Verlauf



Messung 3, Fahrzeug 1: 3x Drehzahlpumpen, unmittelbar nach Messung 2

Auch beim Drehzahlpumpen zeigen sich bei allen drei durchgeführten Zyklen relativ konstante NO_x-Werte (Abbildung 18 b). Hier ändert sich die Temperatur der Sonde 4 nicht signifikant und bleibt bei ca. 150 °C (Abbildung 18 a).

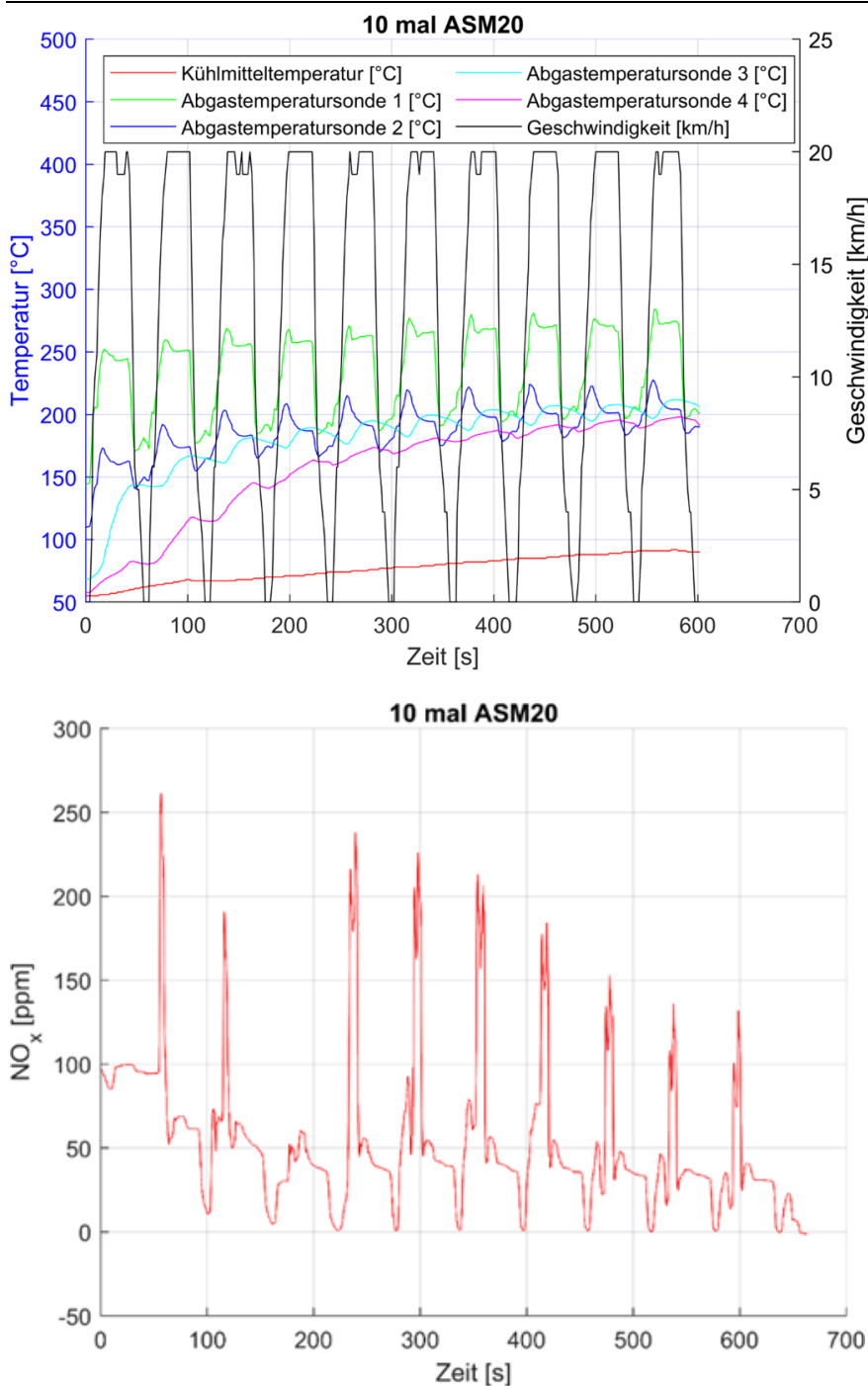
Abbildung 18: Fahrzeug 1 – Messung 3 – OBD-Daten und NO_x-Verlauf



Messung 4, Fahrzeug 1: Nach einer Pause von 1,5 h weitere ASM20 (10 x) – 500 N

Bei diesen zehn ASM20-Zyklen wurde das Fahrzeug mit einem Gebläse abgekühlt und hatte eine Starttemperatur von ca. 55 °C. Man sieht an der violetten Kurve in Abbildung 19 a sehr gut, wie die Temperatur der Sonde 4 (nach Partikelfilter) von ca. 55 °C nach dem zehnten Zyklus auf knapp 200 °C ansteigt. Die NO_x-Spitzenwerte in Abbildung 19 b sinken kontinuierlich im Verlauf der ASM20-Zyklen. Der NO_x-Wert bei konstanten 20 km/h (nach dem Peak) pegelt sich relativ schnell auf unter 50 ppm ein und bewegt sich nicht in gleichem Maße nach unten wie der Wert bei den Beschleunigungsspitzen. Der Wert bleibt bereits nach dem vierten Zyklus auf unter 50 ppm. Der ausbleibende NO_x-Peak-Wert beim dritten ASM20-Zyklus ist bei allen drei Messgeräten vorhanden.

Abbildung 19: Fahrzeug 1 – Messung 4 – OBD-Daten und NO_x-Verlauf

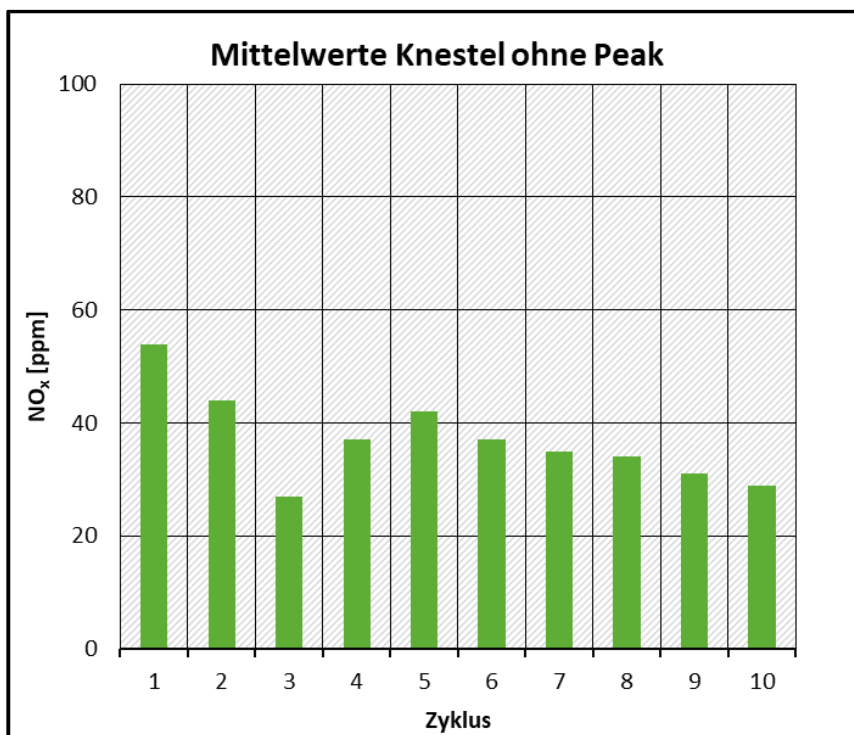
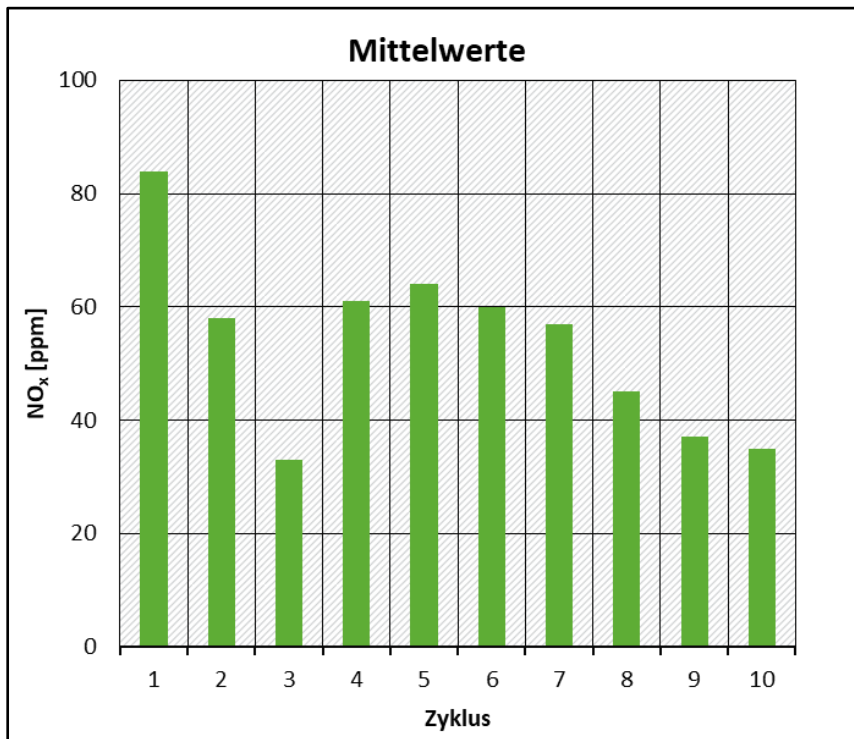


Mittelwertbildung zu Messung 4

Bei der Messung der zehn ASM20 Zyklen wurden die Ergebnisse der NO_x-Werte einer Mittelwertbildung unterworfen (Säulendiagramm in Abbildung 20 a mit Peakwerten und Abbildung 20 b ohne Einbeziehung der Peakwerte)

Bei den Mittelwerten ist in beiden Säulengrafiken tendenziell ein sehr ähnlicher Verlauf erkennbar. Die Peakwerte haben nur einen geringen Einfluss auf den Mittelwert.

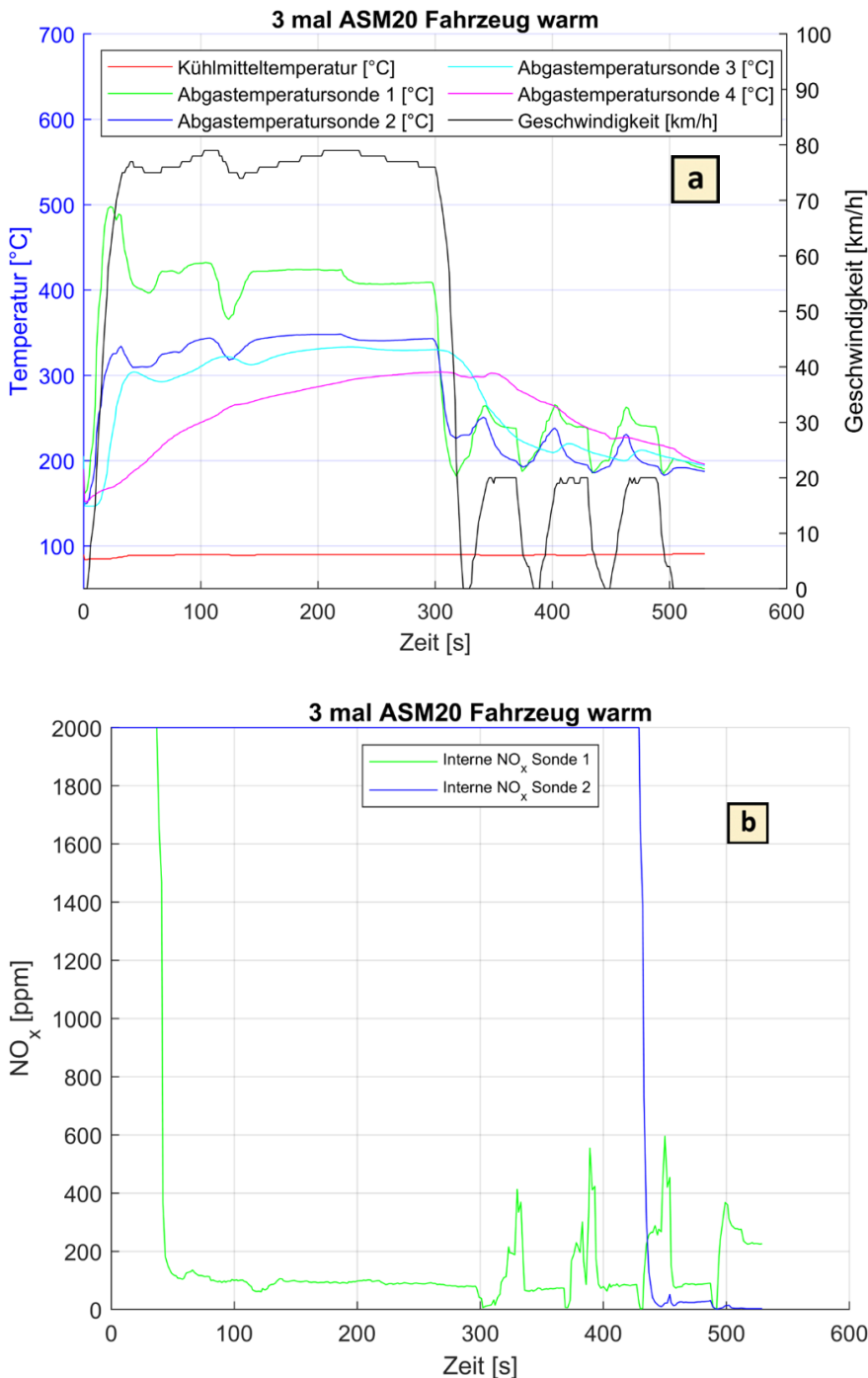
Abbildung 20: Mittelwertbildung zu Fahrzeug 1 – Messung 4

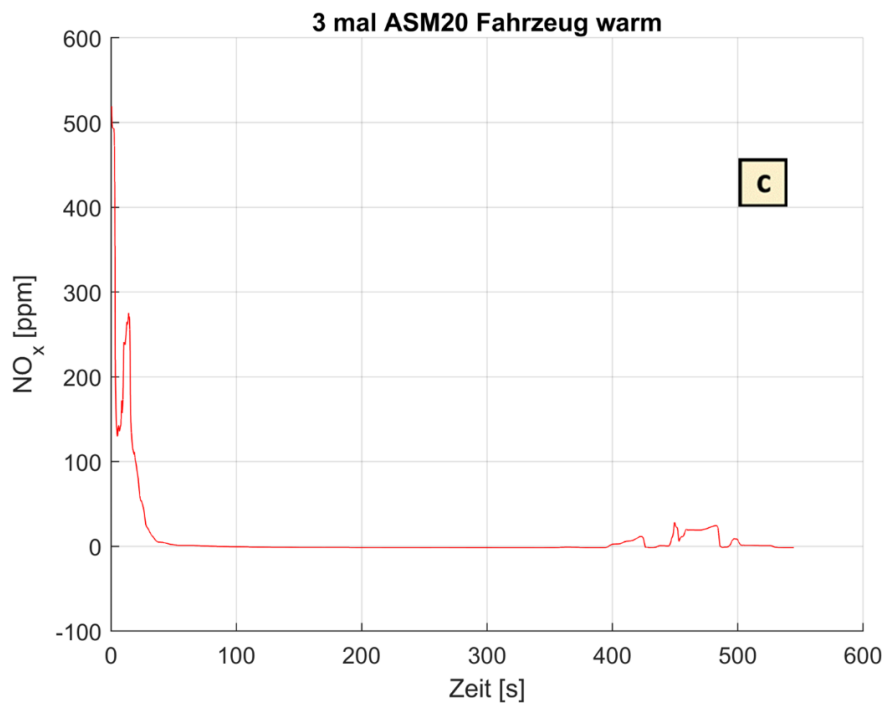


Messung 5, Fahrzeug 1: Warmfahrt Rolle 5 min mit 80 km/h und 500 N, danach 3xASM20

Bei dem in Abbildung 21 a dargestellten Messzyklus wurde vor dem ASM20 Zyklus eine Warmfahrt auf dem Rollenprüfstand über 5 min bei 80 km/h durchgeführt. Während des zweiten ASM20-Zyklus wurde erstmals die zweite intern verbaute NO_x-Sonde aktiv (siehe Abbildung 21 b). In Abbildung 21 c ist ersichtlich, dass sich die NO_x-Werte zunächst bei 200 ppm einpegeln und nach rund 20 s auf nahezu 0 ppm sinken und bis zum Ende der drei ASM20-Zyklen bei 0 ppm bleiben. Die Temperatur der Sonde 4 erreicht nach der Starttemperatur (Fahrzeug noch warm) nach einer Zeit von ca. 50 s die 200 °C-Marke (Abbildung 21 a) und steigt während der weiteren Fahrt auf der Rolle mit 80 km/h auf ca. 300 °C. In den anschließenden drei ASM20-Zyklen kühlt die Temperatur der Sonde 4 relativ rasch auf ca. 200 °C ab.

Abbildung 21: Fahrzeug 1 – Messung 5 – OBD-Daten und NO_x-Verlauf

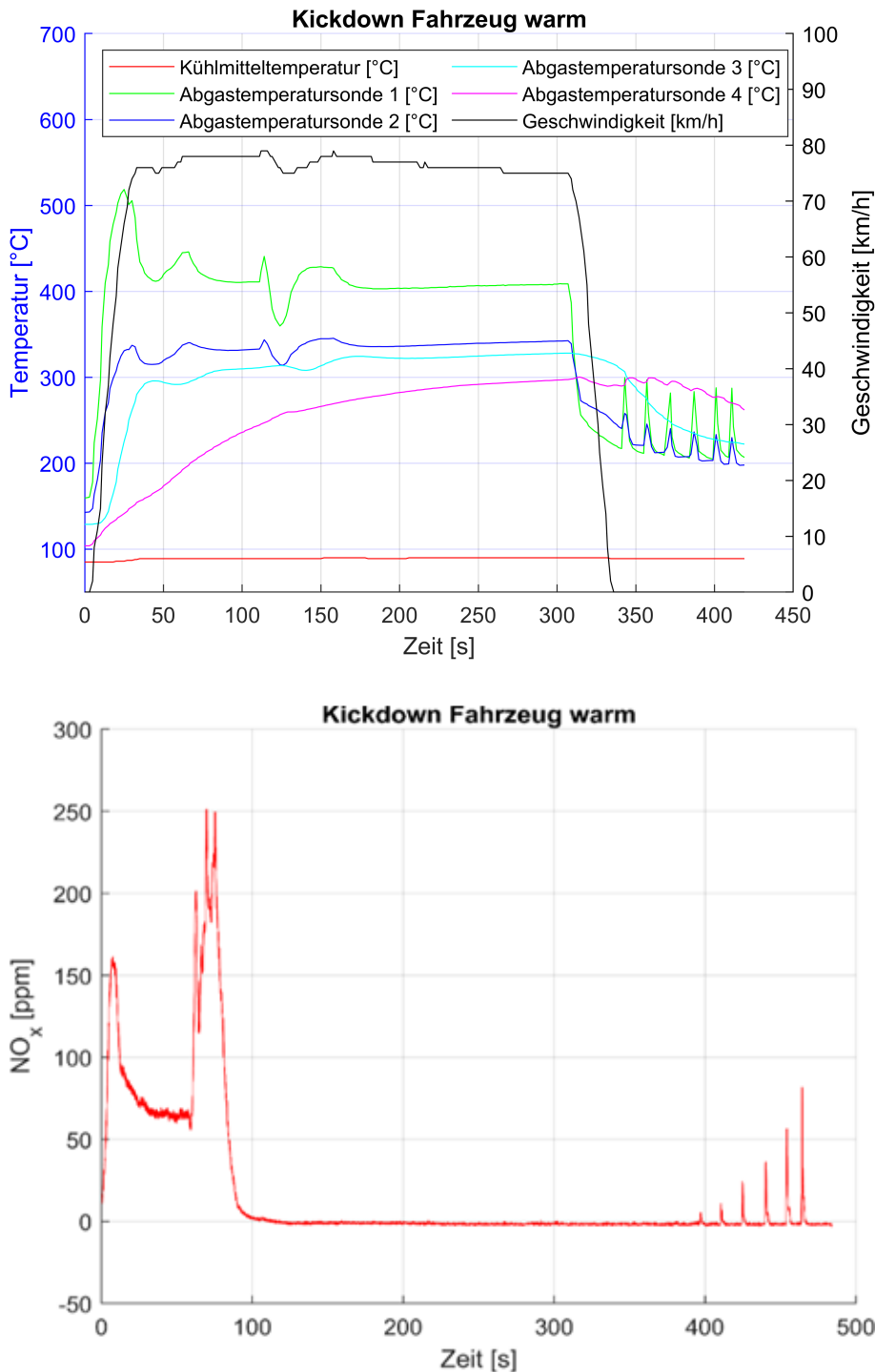




Messung 6, Fahrzeug 1: Gasstoß 6x (unmittelbar nach Messung 5)

Bei einem weiteren Messzyklus wurden nach einer Warmfahrt auf der Rolle von 5 min bei 80 km/h sechs Gasstöße (Freie Beschleunigung) durchgeführt. Anhand der Abbildung 22 a mit den Temperaturwerten über OBD sieht man, wie nach der Fahrt mit 80 km/h mit jedem Gasstoß die Temperatur der Sonde 4 von 300 °C auf ca. 270 °C abnimmt mit Tendenz zur weiteren Abkühlung. Die NO_x-Werte in Abbildung 22 b steigen mit jedem Gasstoß von unter 10 ppm auf Werte von 80 ppm (Peakwert) an.

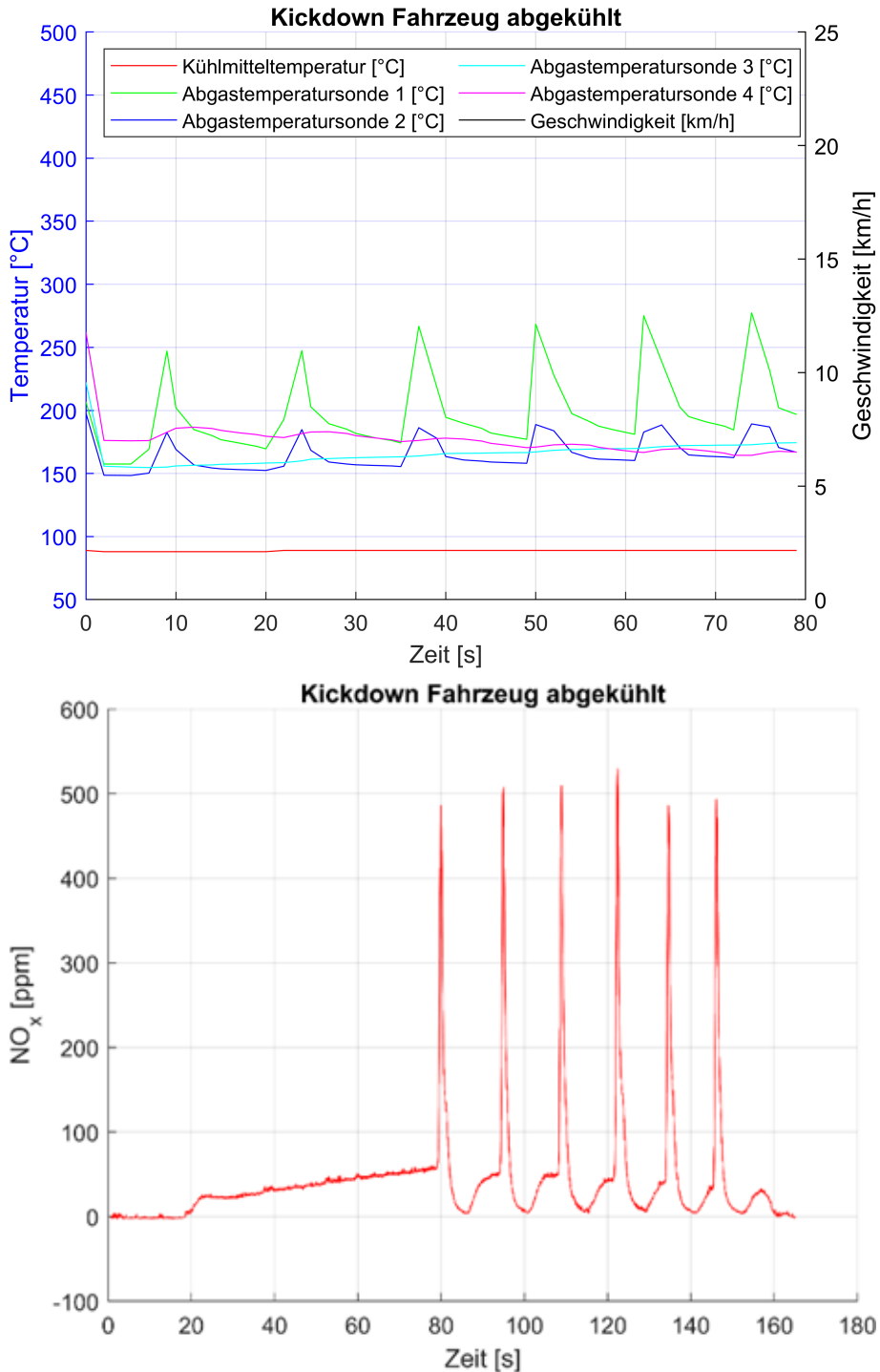
Abbildung 22: Fahrzeug 1 – Messung 6 – OBD-Daten und NO_x-Verlauf



Messung 7, Fahrzeug 1: Gasstoß 6x nach einer Pause von ca. 15 min

Bei diesem Messzyklus wurden zum Vergleich 6 Gasstöße ohne eine vorherige Warmfahrt von 80 km/h durchgeführt. Die NO_x-Werte in Abbildung 23 b (Peakwert) sind über die 6 Gasstöße relativ konstant und gleich hoch mit ca. 500 ppm. Die Temperatur der Sonde 4 in Abbildung 23 a fällt mit jedem Gasstoß kontinuierlich und leicht ab und bleibt unter 180 °C.

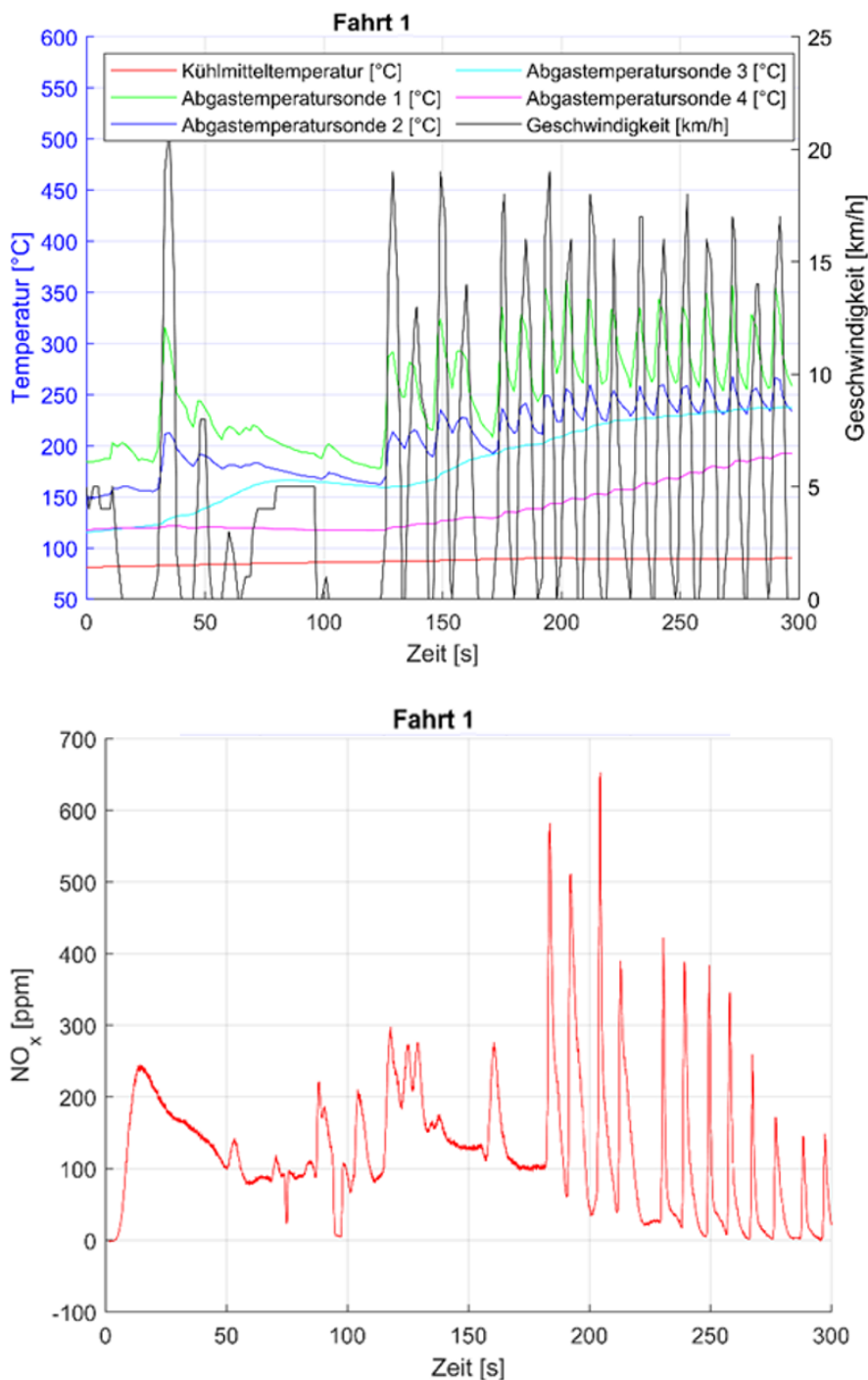
Abbildung 23: Fahrzeug 1 – Messung 7 – OBD-Daten und NO_x-Verlauf



Messung 8, Fahrzeug 1: 10x Kurzfahrt auf Teststrecke (vorwärts-rückwärts)

Bei der Kurzfahrt in Messung 8 wird das Fahrzeug ohne Warmfahrt 10-mal vorwärts beschleunigt und anschließend wieder rückwärts zum Ausgangspunkt bewegt (siehe hierzu Kapitel 3.2.2). Die Temperatur der Sonde 4 steigt wie Abbildung 24 a zeigt kontinuierlich an und erreicht kurz vor Ende der 10 Zyklen knapp 200 °C. Die NO_x-Werte in Abbildung 24 b nehmen kontinuierlich ab von ca. 600 ppm (Peakwert) auf ca. 150 ppm (Peakwert). Betrachtet man in Abbildung 24 b nicht die Peakwerte, sondern die NO_x-Werte nach dem Peak, dann sieht man sehr deutlich, dass die NO_x-Werte zu Beginn der Messung bei ca. 200 ppm liegen und dann kontinuierlich abnehmen auf 0 ppm.

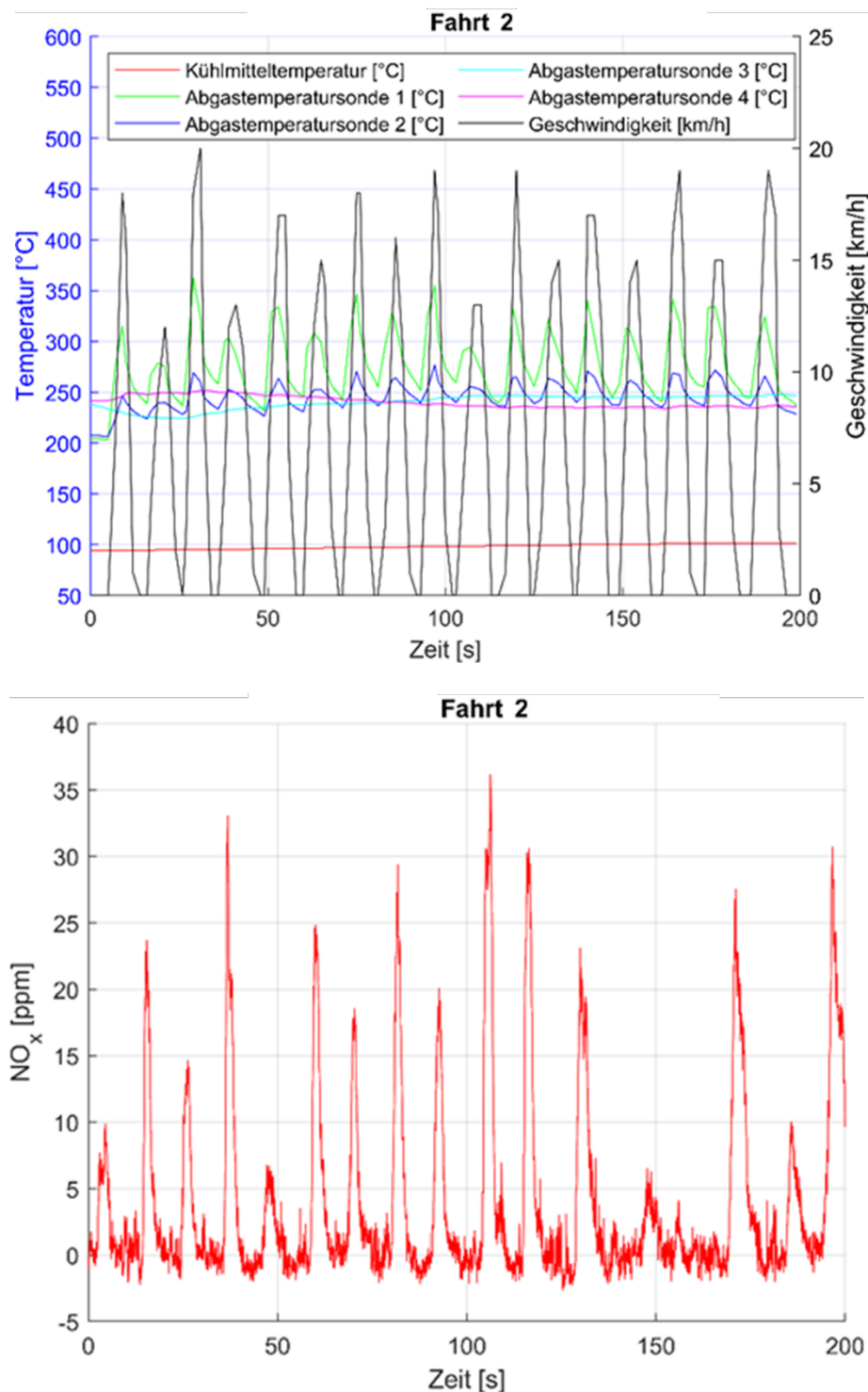
Abbildung 24: Fahrzeug 1 – Messung 8 – OBD-Daten und NO_x-Verlauf



Messung 9, Fahrzeug 1: Erneut 10x Kurzfahrt nach einer Warmfahrt

Bei dieser Kurzfahrt sieht man in Abbildung 25 b sehr deutlich, dass erst nach einer Warmfahrt auf der Straße die NO_x-Werte stabil um 30 ppm liegen (Peakwerte). Bei der Messung vor der Warmfahrt in Abbildung 24 b beginnen die NO_x-Werte bei ca. 600 ppm (Peak) und fallen mit jedem Kurzfahrt-Zyklus kontinuierlich bis auf 150 ppm ab. Die Temperatur der Sonde 4 steigt bei der Kurzfahrt ohne vorherige Warmfahrt in Abbildung 24 a beim letzten der zehn Kurzfahrtzyklen auf 230°C, Nach der Warmfahrt zeigt die Sonde 4 ca. 250 °C und fällt bei den zehn Zyklen nur leicht auf 235 °C ab (Abbildung 25 a).

Abbildung 25: Fahrzeug 1 – Messung 9 – OBD-Daten und NO_x-Verlauf



3.4.2 Ergebnisse Fahrzeug 2

Die zweite Messreihe wurde an einer Mercedes C-Klasse (Fahrzeug 2) durchgeführt. Das Fahrzeug war gegenüber dem Volkswagen Passat (Abbildung 5) nur mäßig bedatet. Wie in Abbildung 26 zu erkennen ist, standen bei diesem Fahrzeug keine Daten zu Temperatursonden im Abgasstrang oder NO_x-Sonden zur Verfügung. Von den definierten 17 PID's sind nur 6 verfügbar, der Rest ist nicht bedatet.

Abbildung 26: OBD-Bedatung Fahrzeug 2

OBD Data	ECU Adresse	J1979_DA	Istdaten
01 / 01 MIL-Status			
Unterstützt	0x18DAF158	SUP	111111101011
Durchgeführt	0x18DAF158	RDY	000000000000
01 / 05 Kühlmitteltemperatur			
Kühlmitteltemperatur	0x18DAF158	ECT	61 °C
01 / 0C Motordrehzahl			
Motordrehzahl	0x18DAF158	RPM	772 1/min
01 / 0D Fahrzeuggeschwindigkeit			
Fahrzeuggeschwindigkeit	0x18DAF158	VSS	0 km/h
01 / 85 NOx Kontrollsystem			
Durchschnittlicher Verbrauch Reagent	0x18DAF15D	REAG_RATE	0.045 l/h
Angeforderter Verbrauch Reagent	0x18DAF15D	REAG_DEMD	0.045 l/h
Reagent Tankfüllstand M1P85_REAG_LVL	0x18DAF15D	REAG_LVL	67.1 %
01 / 88 SCR Anreizsystem			
SCR Anreizsystem	0x18DAF158	ACTIVE	False
SCR Anreizsystem	0x18DAF158	SCR_INDUCE_S YSTEM	OK
SCR Anreizsystem	0x18DAF158	SCR_INDUCE_S YSTEM_HIST1	OK
SCR Anreizsystem	0x18DAF158	SCR_INDUCE_S YSTEM_HIST1	LevelTooLow
SCR Anreizsystem	0x18DAF158	SCR_INDUCE_S YSTEM_HIST3	OK
SCR Anreizsystem	0x18DAF158	SCR_INDUCE_S YSTEM_HIST4	OK
SCR Anreizsystem	0x18DAF158	SCR_IND_DIST_ 1N	0 km
SCR Anreizsystem	0x18DAF158	SCR_IND_DIST_ 1D	9302 km
SCR Anreizsystem	0x18DAF158	SCR_IND_DIST_ 2N	232 km
SCR Anreizsystem	0x18DAF158	SCR_IND_DIST_ 3N	0 km
SCR Anreizsystem	0x18DAF158	SCR_IND_DIST_ 4N	0 km
Ergebnis			
Ergebnis des OBD Prüfablaufs		Durchgeführt	

An dem Fahrzeug wurden nachfolgende Messreihen durchgeführt:

- ▶ Messung 1: Fahrzeug betriebswarm 85 °C – 5 Gasstöße
- ▶ Messung 2: Fahrzeug 5 min auf Rolle (500 N) bei 20 km/h – danach 5 Gasstöße
- ▶ Messung 3: Warmfahrt 3 min bei 20 km/h – danach ASM20 (500 N) 10x
- ▶ Messung 4: 10 ASM20 Zyklen, danach 5 Gasstöße
- ▶ Messung 5: Rolle Eigenlast 5xASM20 mit V=0/20 km/h und t=17s/60 s, danach 10 mal ASM20 mit V=0/20 km/h und t=3 s/15 s, danach 5 Gasstöße
- ▶ Messung 6: Kurzfahrt im Freien

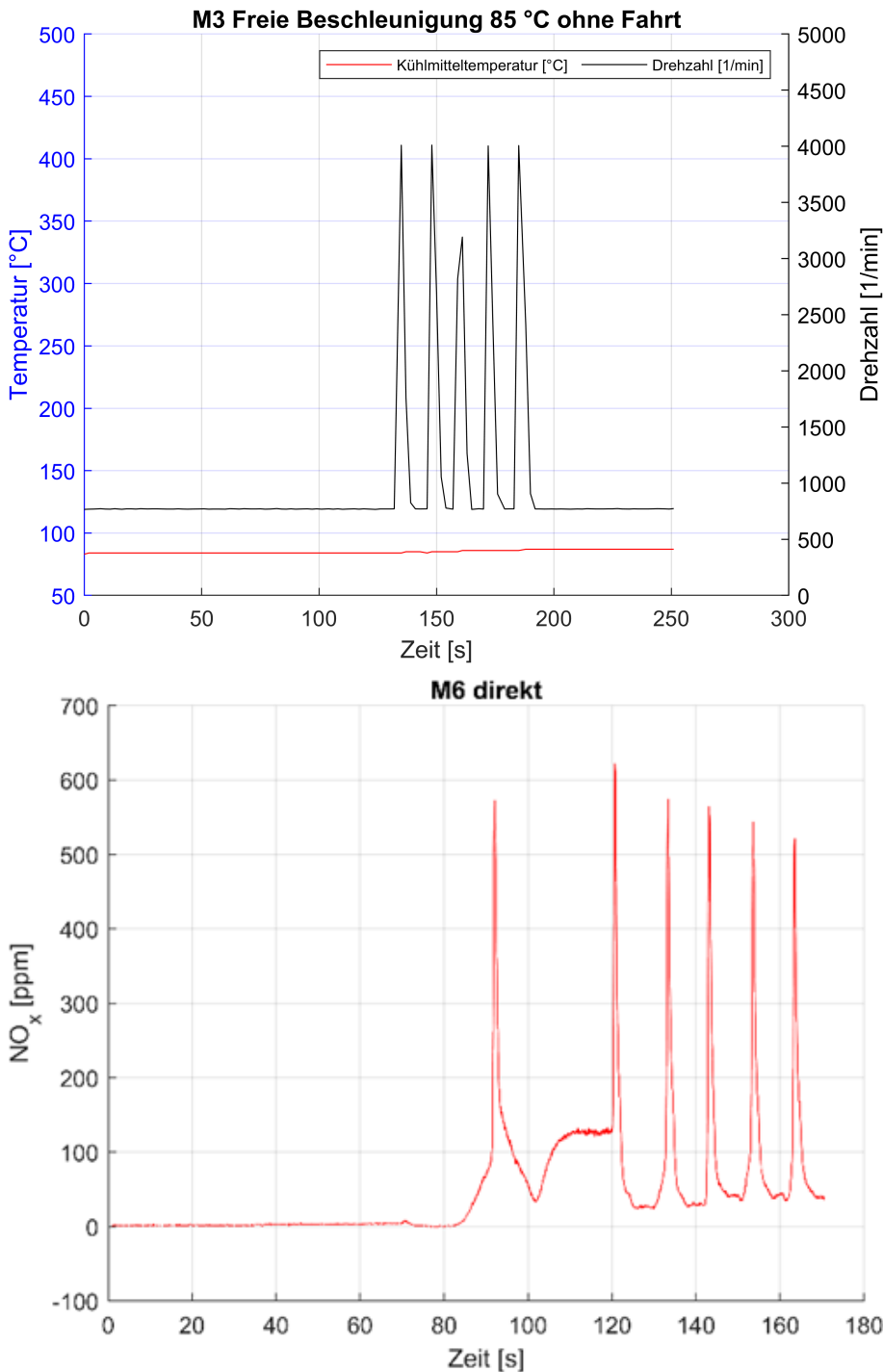
Da an dem Fahrzeug über die OBD-Schnittstelle keine Informationen über die Abgas-Temperatur und die NO_x-Sonden verfügbar waren, beschränkt sich die Darstellung der

Messergebnisse im Wesentlichen auf die NO_x-Messergebnisse, sowie Drehzahl und Kühlmitteltemperatur über OBD.

Messung 1, Fahrzeug 2: Fahrzeug betriebswarm 85 °C – 5 Gasstöße

Die NO_x-Werte fallen mit jedem Gasstoß wie in Abbildung 27 b erkennbar leicht ab und erreichen keinen stabilen Wert. In Abbildung 27 a ist die Drehzahl der Gasstöße und die Kühlmitteltemperatur über OBD dargestellt. Die scheinbar negativen Skalenwerte in der Abbildung 27 b kommen vom NO_x-Messgerät, das durch die Drift zeitweise negative Werte von 1 oder 2 ppm liefern kann.

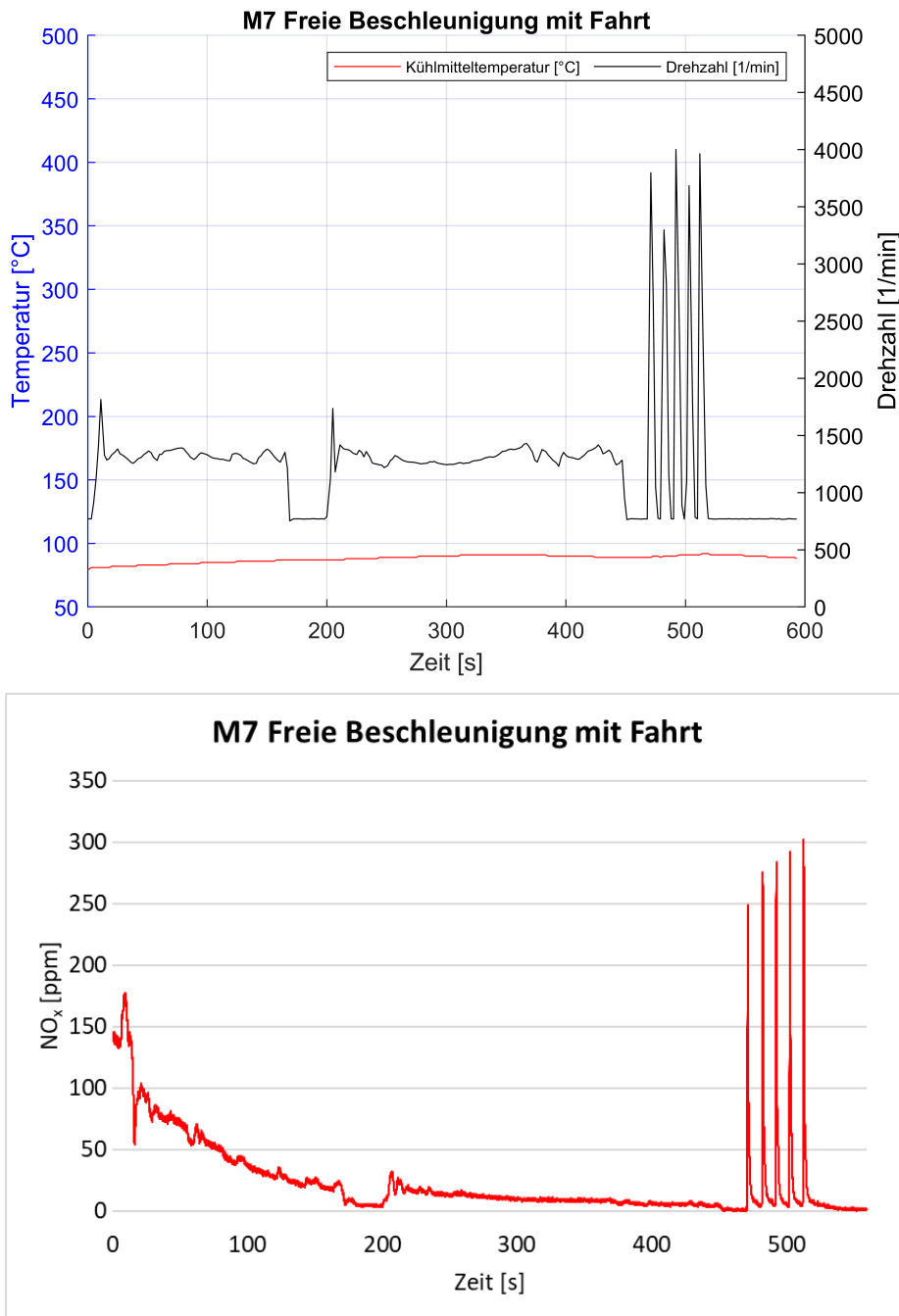
Abbildung 27: Fahrzeug 2 – Messung 1 – OBD-Daten und NO_x-Verlauf



Messung 2, Fahrzeug 2: Fahrzeug 5 min auf Rolle (500 N) bei 20 km/h – danach 5 Gasstöße

Bei Messung 2 steigen nach der Warmfahrt auf der Rolle (Abbildung 28 a) die NO_x-Werte bei den Gasstößen wie Abbildung 28 b zeigt kontinuierlich an, was auf eine Abkühlung des Abgasstranges hindeutet und keine stabilen NO_x-Werte gewährleistet sind.

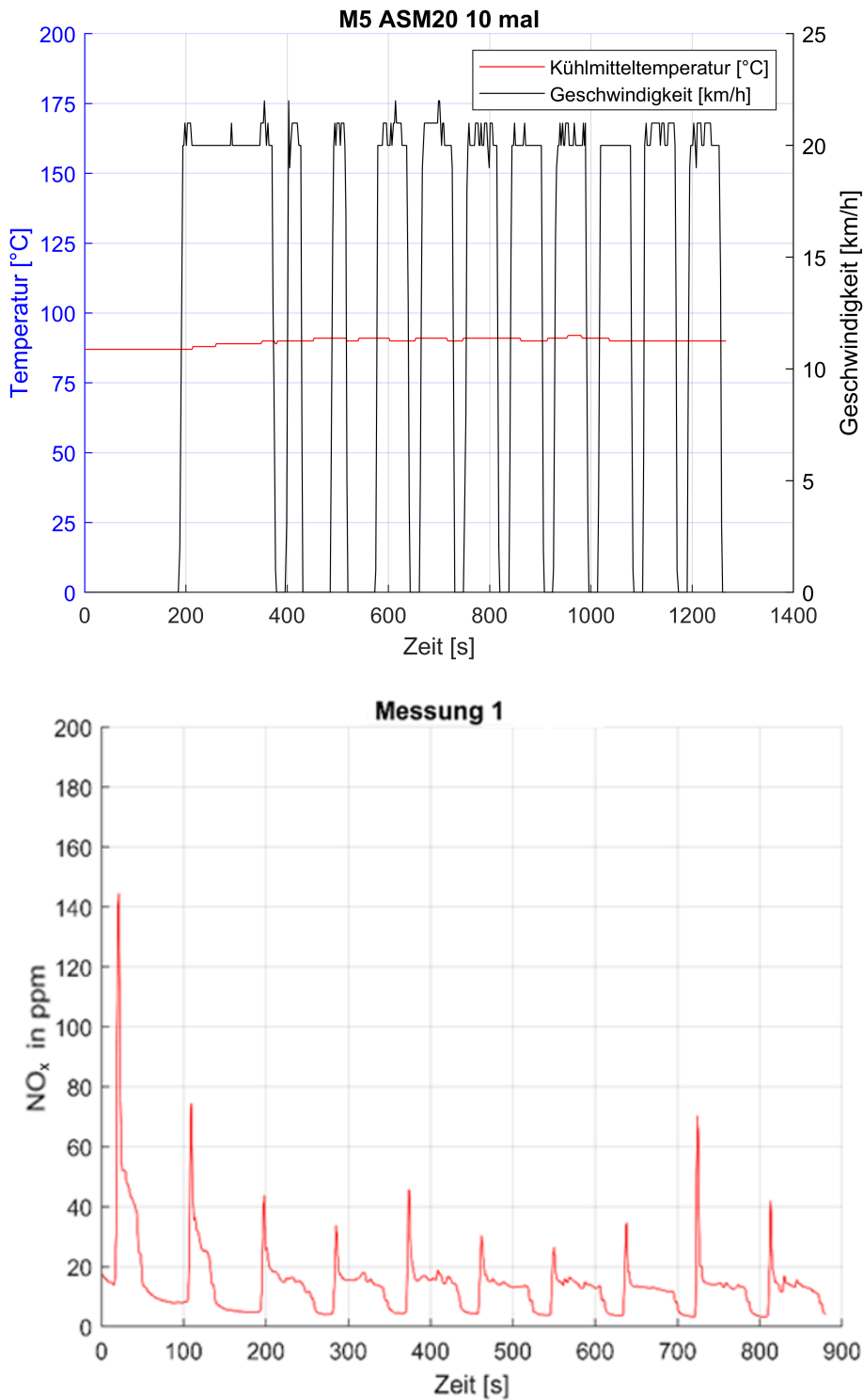
Abbildung 28: Fahrzeug 2 – Messung 2 – OBD-Daten und NO_x-Verlauf



Messung 3, Fahrzeug 2: Warmfahrt 3 min bei 20 km/h – danach ASM20 (500 N) 10x

Messung 3 zeigt in Abbildung 29 a den Ablauf der Warmphase und der 10 ASM20-Zyklen über OBD. Die NO_x-Werte in Abbildung 29 b sinken bereits nach dem zweiten ASM-Zyklus unter 20 ppm (Wert nach dem Peak bei 20 km/h) und bleiben bis zum zehnten ASM20-Zyklus konstant.

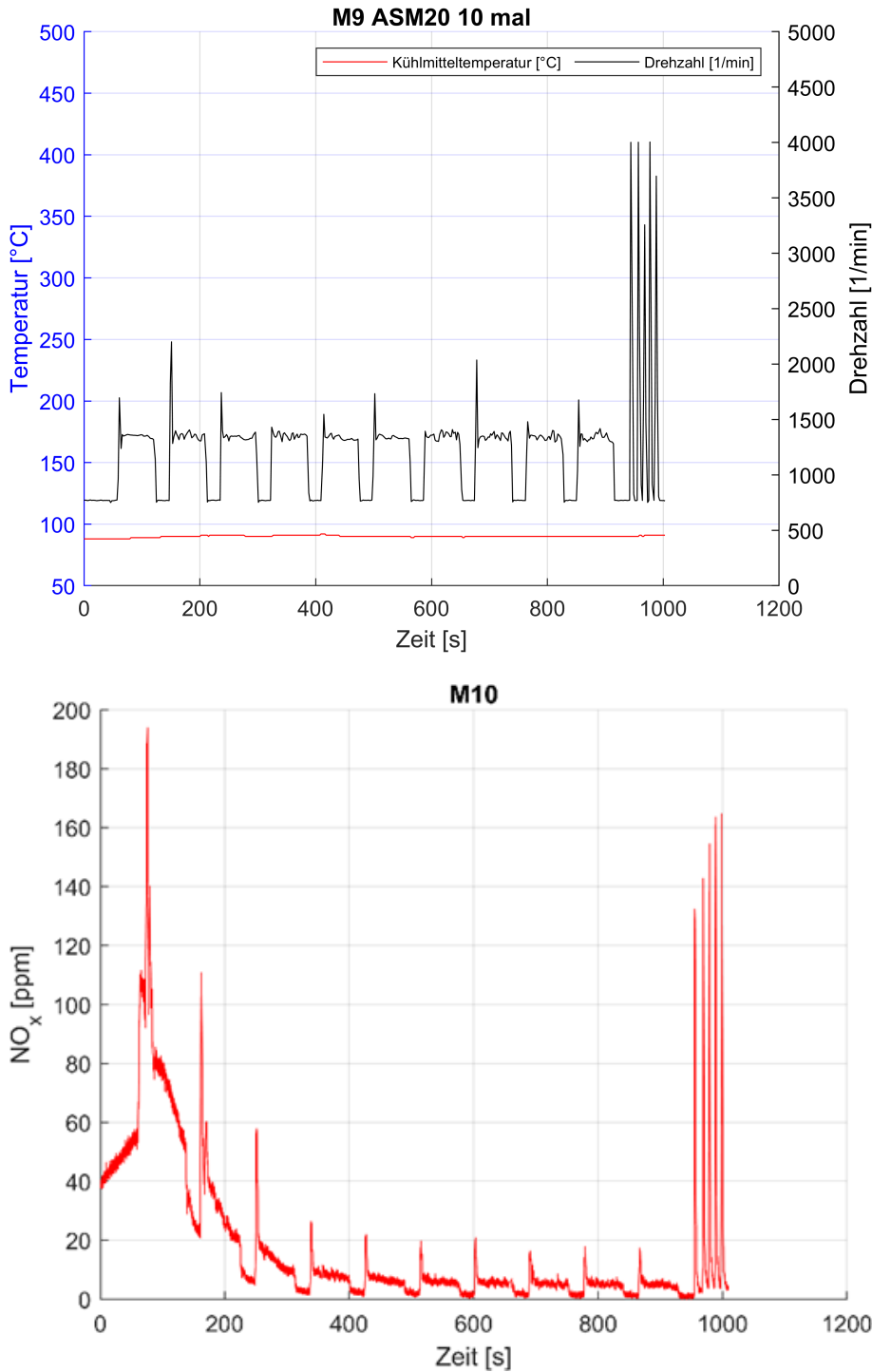
Abbildung 29: Fahrzeug 2 – Messung 3 – OBD-Daten und NO_x-Verlauf



Messung 4, Fahrzeug 2: 10 ASM20 Zyklen, danach 5 Gasstöße jedoch Adaption angepasst

Abbildung 30 a zeigt 10 ASM20-Zyklen auf der Rolle mit anschließenden 5 Gasstößen. Auch hier sieht man in Abbildung 30 b sehr deutlich, dass die NO_x-Werte nach dem dritten ASM20-Zyklus unter 10 ppm (Wert nach dem Peak) sinken und auf diesem niedrigen Niveau verbleiben. Bei den anschließenden Gasstößen steigen die Werte wieder kontinuierlich an.

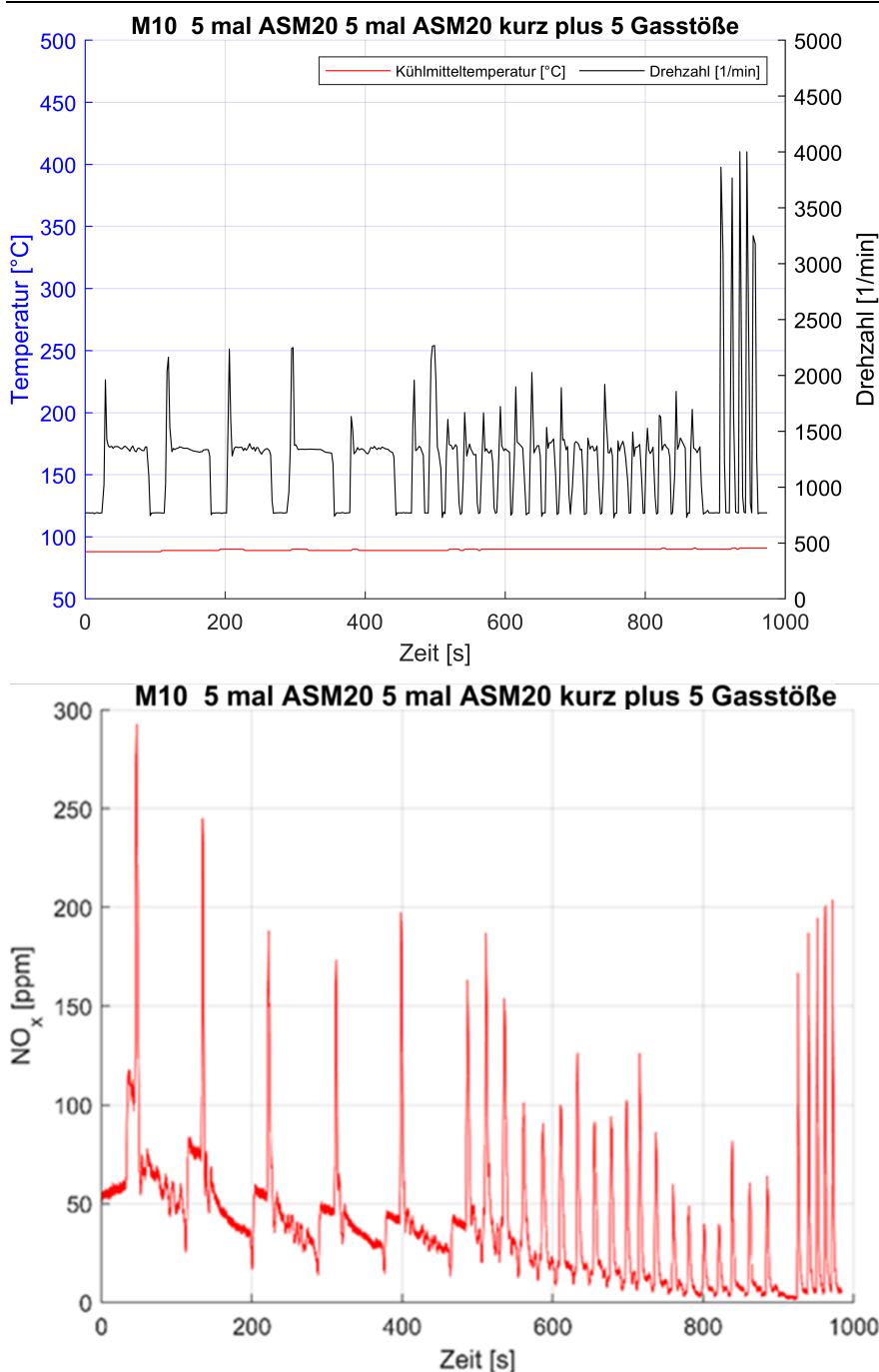
Abbildung 30: Fahrzeug 2 – Messung 4 – OBD-Daten und NO_x-Verlauf



Messung 5, Fahrzeug 2: Rolle Eigenlast 5xASM20 mit v=0/20 km/h und t=17s/60 s, danach 10xASM20 mit v=0/20 km/h und t=3s/15s, danach 5 Gasstöße

Bei diesem Messzyklus sollte der Einfluss der ASM20 Zyklen bei unterschiedlicher Dauer der Pausenzeit zur Fahrzeit untersucht werden. Hierzu wurden wie in Abbildung 31 a ersichtlich fünf ASM20-Zyklen mit einer Pausen- zu Fahrzeit von 17 Sekunden zu 60 Sekunden und anschließend von 3 Sekunden zu 15 Sekunden gefahren. Danach wurden 5 Gasstöße angehängt. Abbildung 31 b zeigt sehr deutlich, wie insbesondere beim Zyklus mit der kurzen Pausen- zu Fahrzeit von 3 zu 15 Sekunden die NO_x-Werte sehr rasch von 50 ppm (Wert nach dem Peak) auf Werte kleiner 10 ppm fallen und stabil bleiben. Bei den Gasstößen ist wie bei der Messung 4 Abbildung 30 b bei jedem Gasstoß ein Anstieg des Peakwertes feststellbar (Auskühlen).

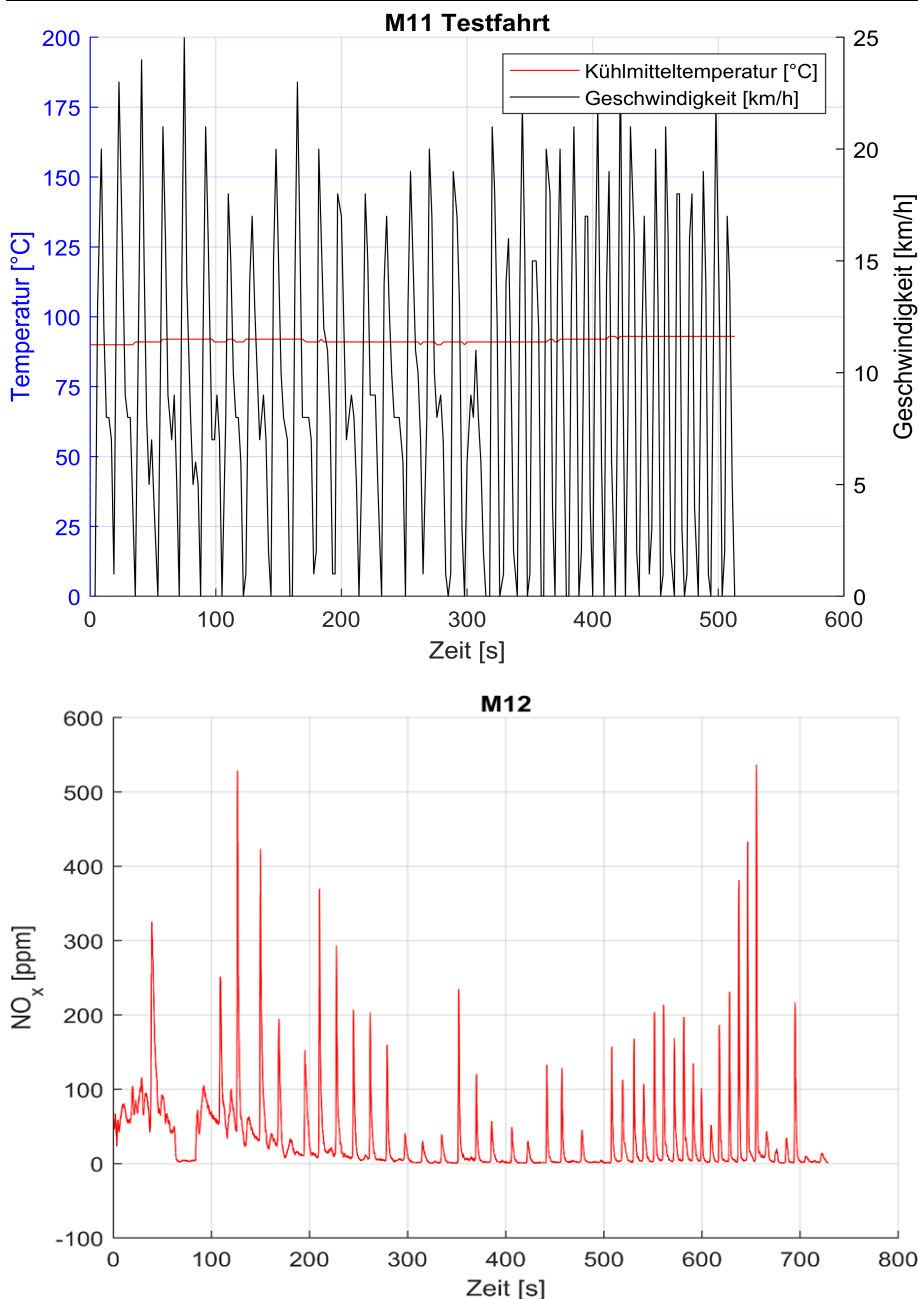
Abbildung 31: Fahrzeug 2 – Messung 5 – OBD-Daten und NO_x-Verlauf



Messung 6, Fahrzeug 2: Kurzfahrt im Freien

Bei dieser Kurzfahrt auf dem Gelände der Prüfstelle wurden bis zur Zeitmarke 300 Sekunden ca. 17 Kurzfahrten durchgeführt (Abbildung 32 a mit der über OBD erfassten Fahrgeschwindigkeit) ohne rückwärts zu fahren sondern gewendet und im Vorwärtsgang zur Ausgangsposition zurück gefahren. Ab der Zeitmarke 300 Sekunden wurden 10 Kurzfahrten mit anschließender Rückwärtsfahrt zum Ausgangspunkt durchgeführt. In Abbildung 32 b sieht man, wie beim ersten Zyklus der Kurzfahrten (vorwärts und umkehren) der NO_x-Wert kontinuierlich von ca. 80 ppm abfällt auf nahezu 0 ppm (Sattelwert nach dem Peak). Zum Ende der Kurzstreckenfahrt mit der Vorwärts-/Rückwärtsfahrt steigt NO_x wieder an, das Abgassystem kühlt wieder aus, sodass die kritische Temperaturgrenze der SCR-Umsetzung erreicht wird und NO_x weiter ansteigt.

Abbildung 32: Fahrzeug 2 – Messung 6 – OBD-Daten und NO_x-Verlauf



3.4.3 Ergebnisse Fahrzeug 3

Die dritte Messreihe wurde an einem Skoda Kodiaq (Fahrzeug 3) durchgeführt. Das Fahrzeug ist gleich bedatet wie der Volkswagen Passat (Fahrzeug 1).

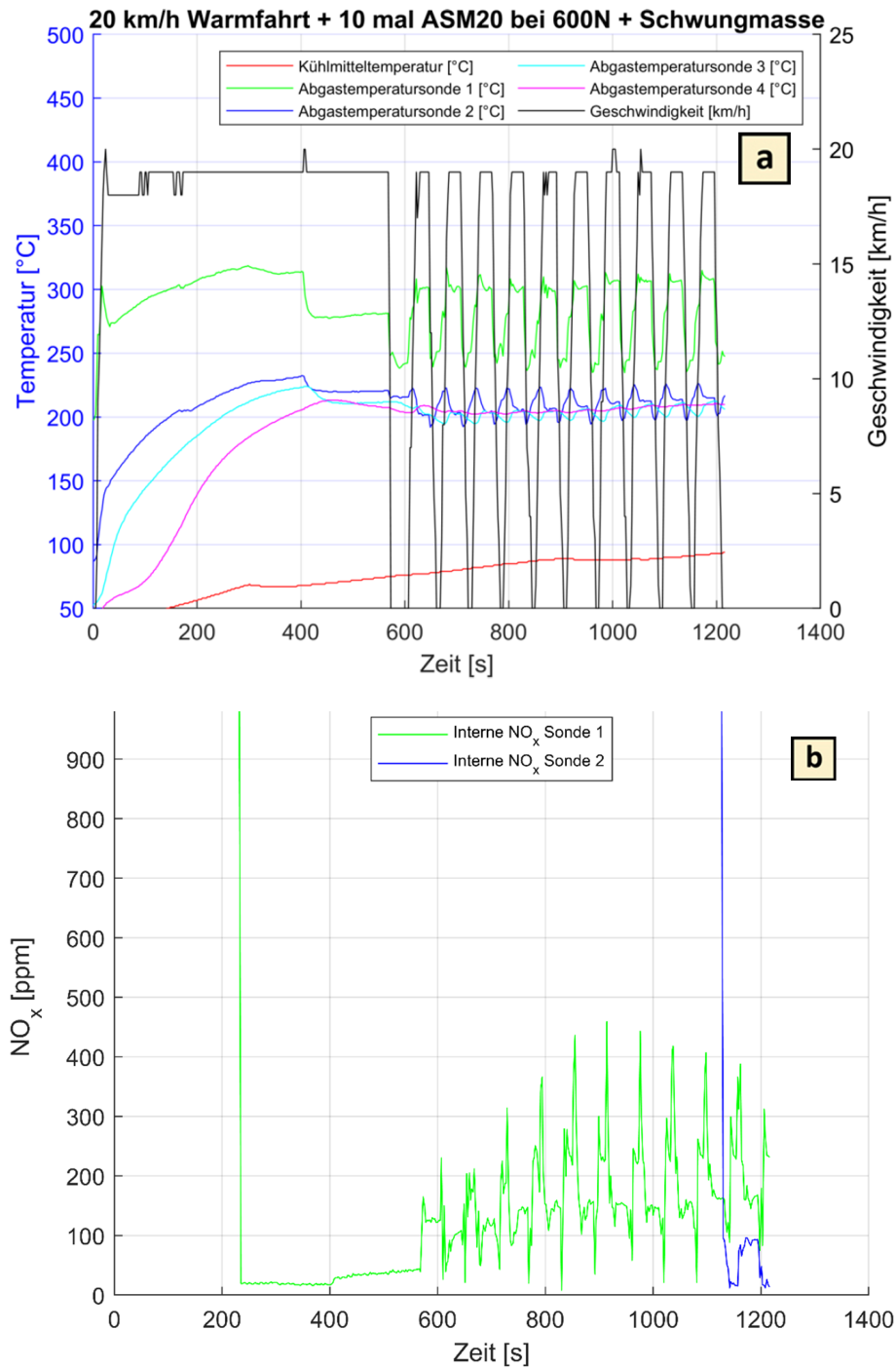
An dem Fahrzeug wurden nachfolgende Messreihen durchgeführt:

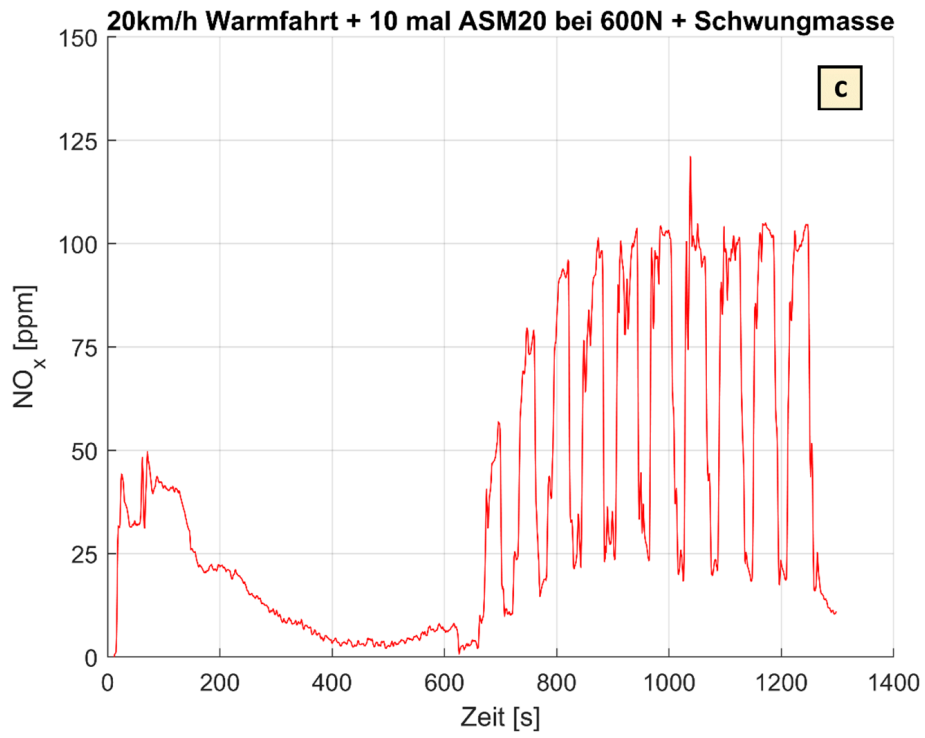
- ▶ Messung 1: Rolle 500 N plus 600 N Schwungmasse – Warmfahrt 20 km/h ca. 600 s, danach ASM20 (10x)
- ▶ Messung 2: Warmfahrt Rolle 500 N ca. 40 s bei 20 km/h, danach 5 Gasstöße
- ▶ Messung 3: 6x Gasstoß kalt – Warmfahrt 20 km/h 50s 500 N – 6x Gasstoß warm
- ▶ Messung 4: 10x ASM20 500 N (mit Regeneration)
- ▶ Messung 5: 15x Kurzfahrt im Freien (Fahrzeug kalt)
- ▶ Messung 6: 10x Kurzfahrt im Freien (Fahrzeug warm)

Messung 1, Fahrzeug 3: Rolle 500 N und 600 N Schwungmasse – Warmfahrt 20 km/h ca. 600 s, danach 10xASM20

Bei nicht konditioniertem Fahrzeug wird auf dem Rollenprüfstand nach ca. 400 Sekunden bei 20 km/h und 1.100 N eine Temperatur der Sonde 4 von 200 °C erreicht (Abbildung 33 a Temperaturen und Geschwindigkeit über OBD). In der Abbildung 33 c erkennt man, dass bei 400 Sekunden der NO_x-Wert auf nahezu 0 ppm sinkt. Bei den anschließenden ASM20-Zyklen stagniert die Temperatur auf ca. 200 °C (Abbildung 33 a) und die NO_x-Werte bleiben stabil bei ca. 25 ppm (Wert nach 20 km/h) bzw. 100 ppm bei 20 km/h (Abbildung 33 c). In Abbildung 33 b sind über OBD die beiden Fahrzeug internen NO_x-Sonden dargestellt. Man sieht sehr deutlich, dass die Sonde 1 (vor SCR-System) nach ca. 230 Sekunden aktiv wird, die Sonde 2 (nach SCR-System) aber erst nach ca. 15 Minuten (ca. 900 s) aktiv geschaltet wird. Von daher sind die internen NO_x-Sonden, insbesondere die Sonde 2 für eine AU nicht verwendbar, da das „aktiv“ schalten über die OBD-Schnittstelle nicht unmittelbar erfolgt, sondern erst nach einer sehr langen Zeit von ca. 15 min, wie Fahrzeug 3 zeigt.

Abbildung 33: Fahrzeug 3 – Messung 1 – OBD-Daten und NO_x-Verlauf

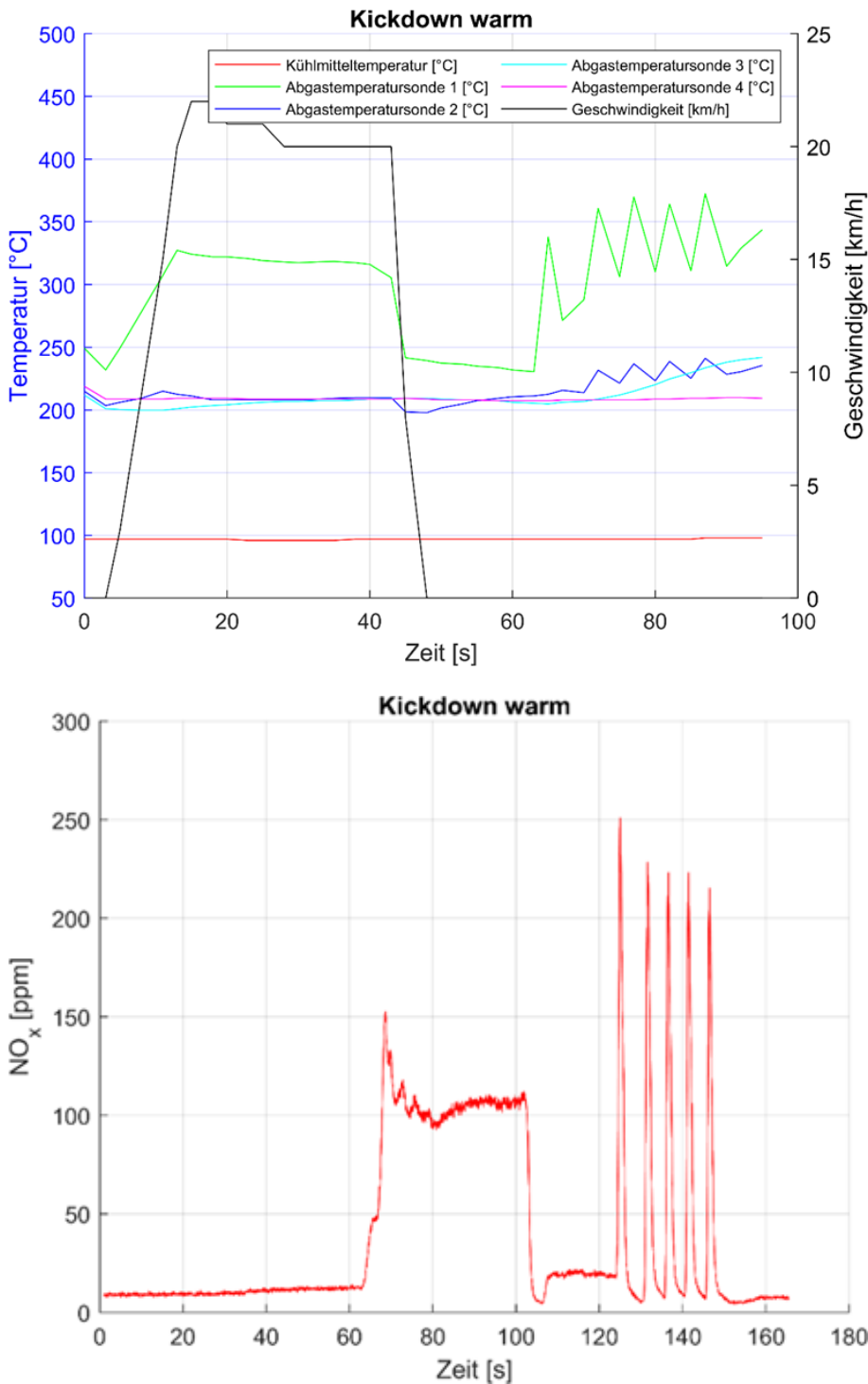




Messung 2, Fahrzeug 3: Warmfahrt Rolle 500 N ca. 40 s bei 20 km/h, danach 5 Gasstöße

Nach einer kurzen Aufwärmphase auf der Rolle mit 20 km/h für ca. 40 Sekunden wurden fünf Gasstöße durchgeführt. Abbildung 34 a zeigt die Abgastemperaturen und Geschwindigkeit über OBD, die Temperatur der Sonde 4 bleibt konstant während der gesamten Messung bei ca. 200 °C. Die NO_x-Werte in Abbildung 34 b zeigen während der kurzen Warmphase stabil ca. 100 ppm. In der anschließenden kurzen Leerlaufphase fallen die NO_x-Werte auf ca. 20 ppm. Die Peakwerte bei den anschließenden Gasstößen fallen von anfangs 250 ppm auf 200 ppm.

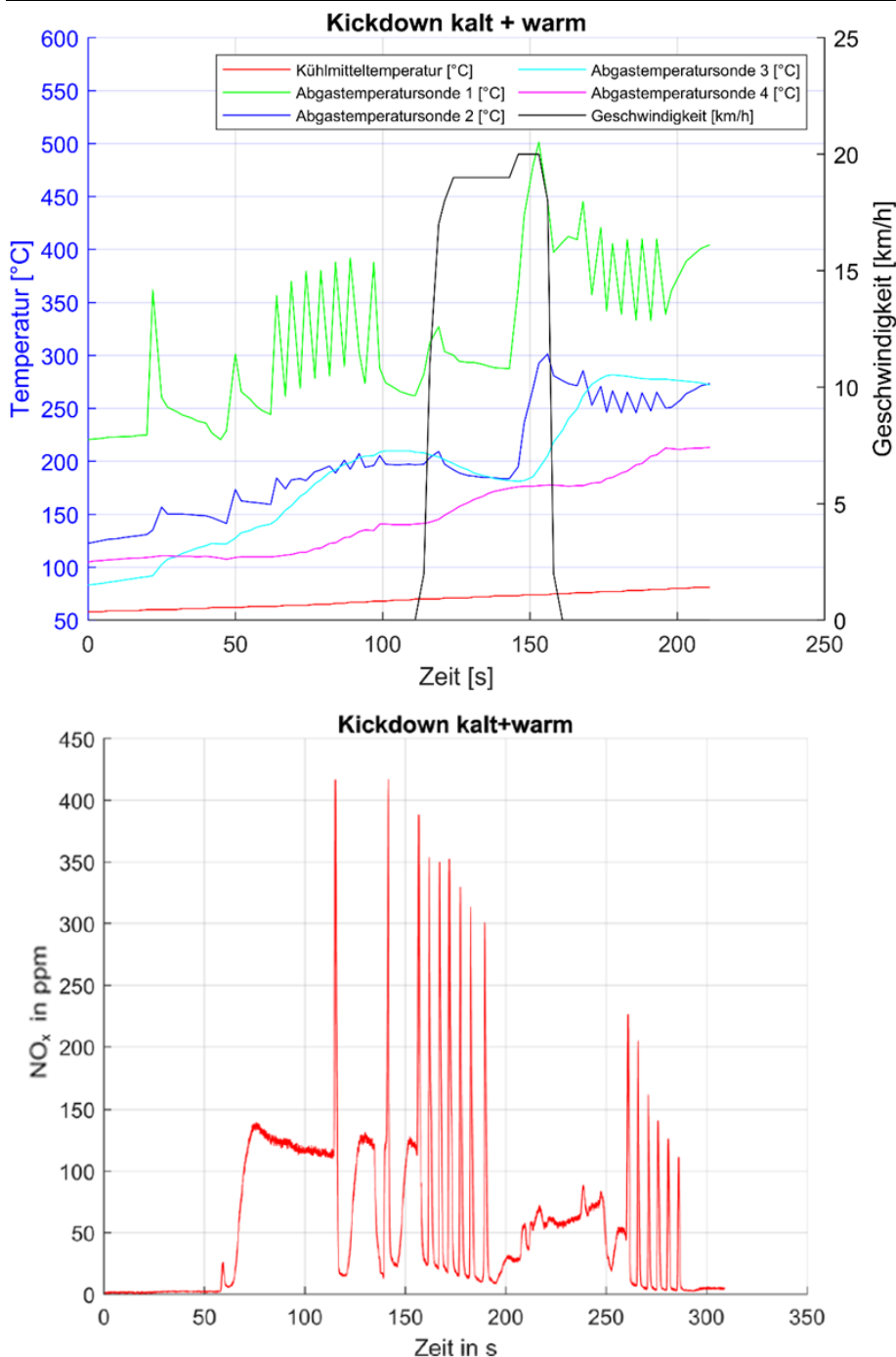
Abbildung 34: Fahrzeug 3 – Messung 2 – OBD-Daten und NO_x-Verlauf



Messung 3, Fahrzeug 3: 6x Gasstoß kalt – Warmfahrt 20 km/h 50s 500 N – 6x Gasstoß warm

Diese Messung bestand aus sechs Gasstößen aus dem kalten Zustand des Fahrzeuges heraus, danach erfolgte eine kurze Fahrt auf der Rolle bei 20 km/h zum Aufwärmen, danach wurden nochmals sechs Gasstöße durchgeführt. In Abbildung 35 a sieht man sehr deutlich, dass die Abgastemperatur der Sonde 4 (aufgenommen über OBD) bei den ersten sechs Gasstößen nur leicht von 100 auf ca. 150 °C ansteigt. Während der Aufwärmphase steigt die Temperatur der Sonde 4 weiter auf ca. 180 °C an. Die anschließenden sechs Gasstöße bringen die Temperatur der Sonde 4 dann auf über 200 °C. Die NO_x-Werte (Peak) in Abbildung 35 b liegen bei ca. 350 ppm bei den ersten sechs Gasstößen im kalten Zustand und fallen dann im zweiten Gasstoßpaket nach der Aufwärmphase von 200 auf 100 ppm (Peak) ab.

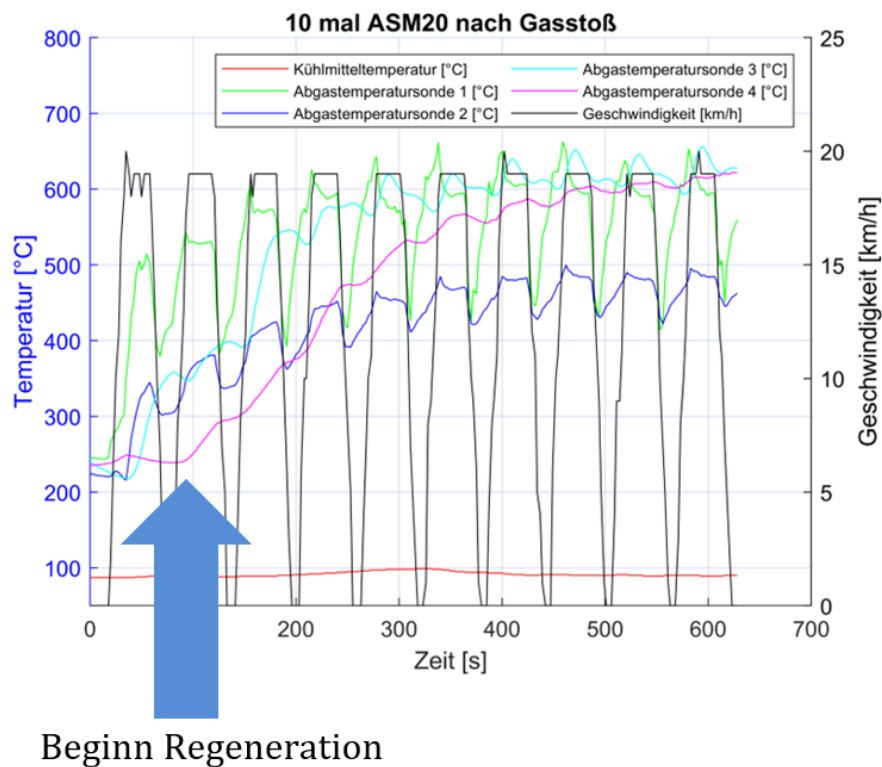
Abbildung 35: Fahrzeug 3 – Messung 3 – OBD-Daten und NO_x-Verlauf

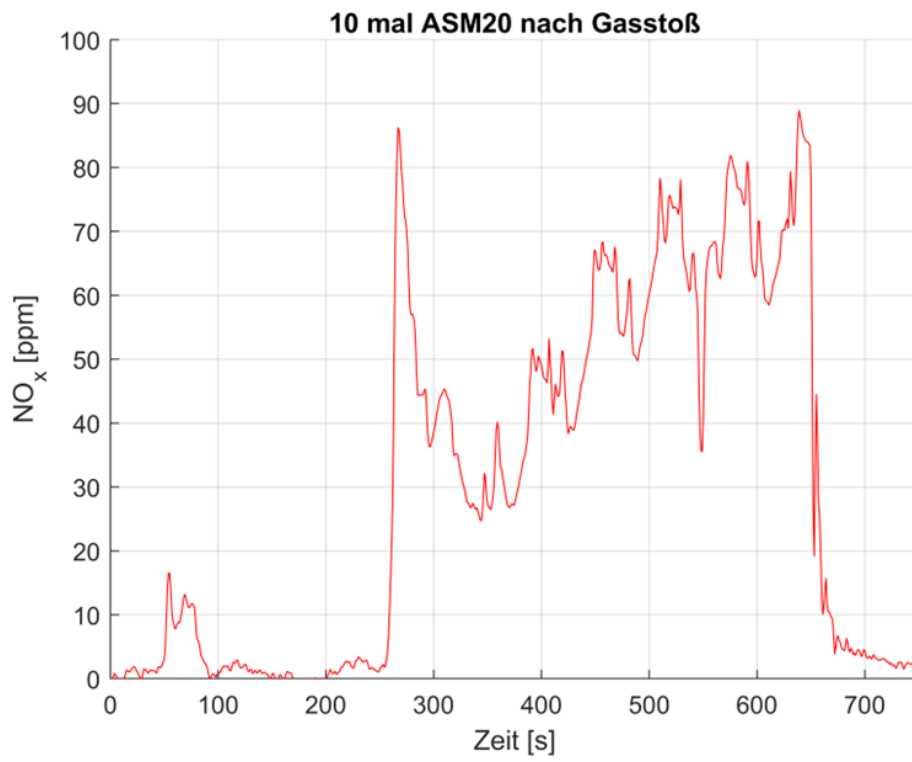


Messung 4, Fahrzeug 3: 10x ASM20 500 N (mit Regeneration)

Unmittelbar nach Messung 3 erfolgte eine ASM20 Sequenz mit zehn Zyklen. Während des zweiten ASM20-Zyklus leitete das Fahrzeug eine Partikelfilterregeneration ein, sodass sich die Gelegenheit bot, diese Regenerationsphase komplett aufzunehmen. In Abbildung 36 a sieht man den Start der Regeneration sehr deutlich an der starken Zunahme der Temperatur der Sonde 4, die mit jedem ASM20-Zyklus bis auf 600 °C steigt und dort verbleibt. Die NO_x-Werte in Abbildung 36 b während der Regeneration bleiben trotzdem auf einem sehr niedrigen Niveau von 30 ppm bis 80 ppm. Vor dem Einleiten der Regeneration liegen die NO_x-Werte bedingt durch die optimale Temperatur des SCR-Systems von über 180 °C auf einem sehr niedrigen Niveau von nahezu 0 ppm.

Abbildung 36: Fahrzeug 3 – Messung 4 – OBD-Daten und NO_x-Verlauf

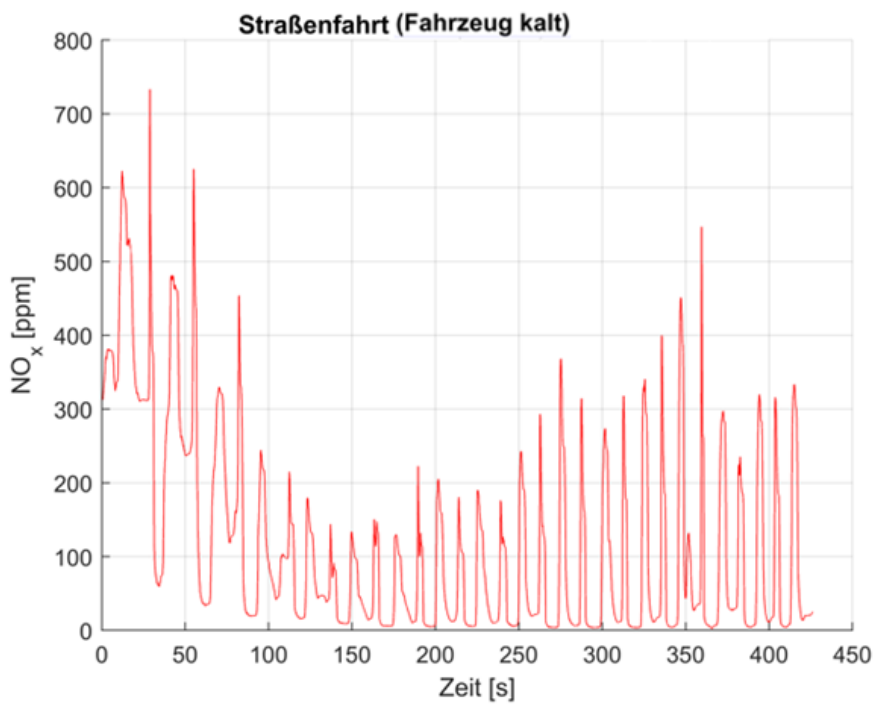
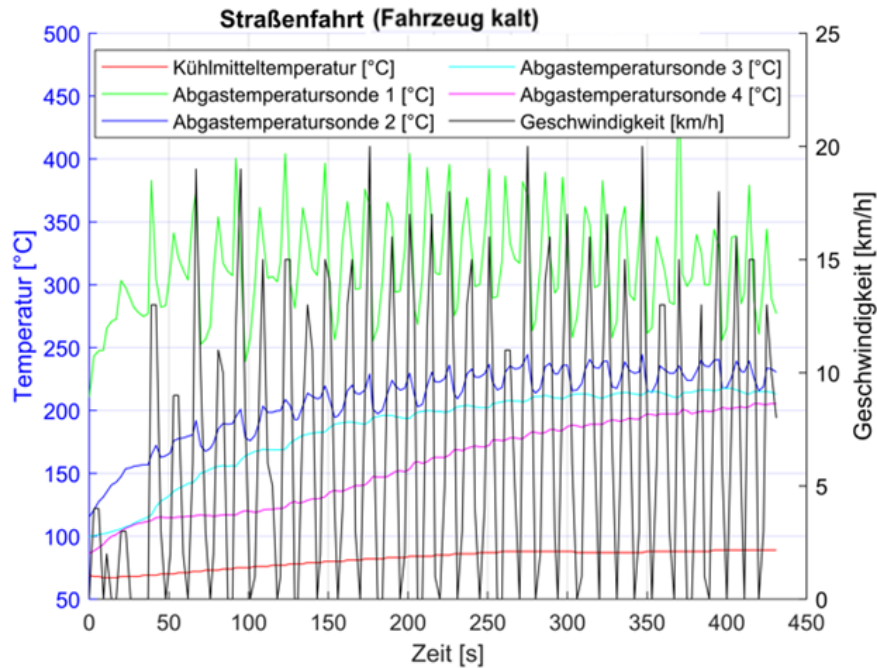




Messung 5, Fahrzeug 3: 15x Kurzfahrt im Freien (Fahrzeug kalt)

Bei den 15 Kurzfahrten ab Kaltstart wird die Abgastemperatur von 200 °C wie in Abbildung 37 a dargestellt erst zum Ende der 15 Kurzfahrten erreicht. Die NO_x-Werte pendelten sich wie in Abbildung 37 b ersichtlich auch erst bei den letzten Kurzfahrtzyklen auf 300 ppm (Peak) ein.

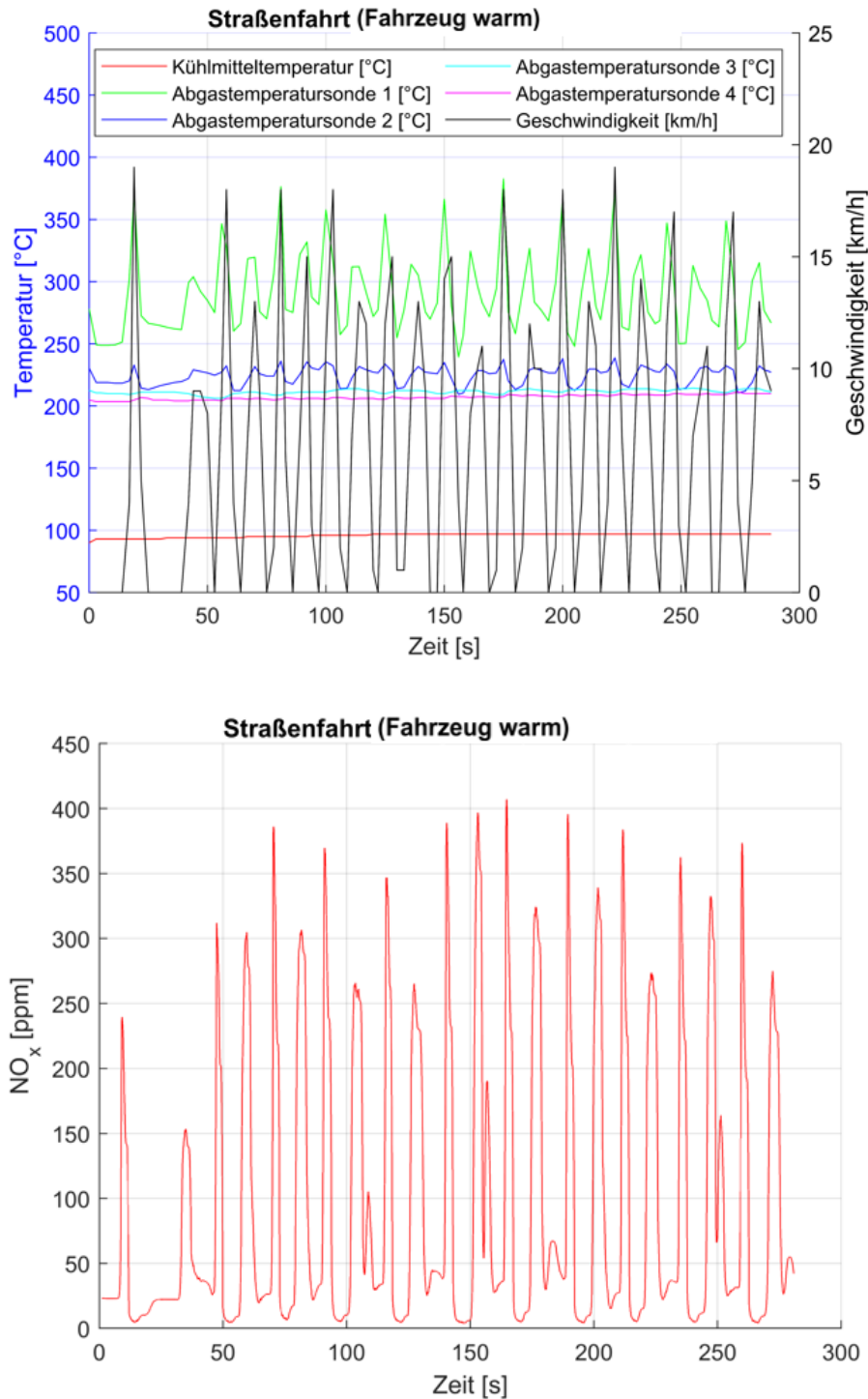
Abbildung 37: Fahrzeug 3 – Messung 5 – OBD-Daten und NO_x-Verlauf



Messung 6, Fahrzeug 3: 10x Kurzfahrt im Freien (Fahrzeug warm)

Vor dieser Messung wurde das Fahrzeug warm gefahren und danach 10 Vorwärts-/Rückwärtsfahrten durchgeführt. Die Abgastemperatur der Sonde 4 bleibt bei knapp 200 °C (Abbildung 38 a), die NO_x-Werte (Peak) liegen, wie in Abbildung 38 b ersichtlich bei den Vorwärtsfahrten in einem Bereich von 300 ppm bis ca. 400 ppm (Peak).

Abbildung 38: Fahrzeug 3 – Messung 5 – OBD-Daten und NO_x-Verlauf



3.4.4 Ergebnisse Fahrzeug 4

Die vierte Messreihe wurde an einem VW Tiguan (Fahrzeug 4) durchgeführt. Das Fahrzeug ist gleich bedatet wie der Volkswagen Passat (Fahrzeug 1).

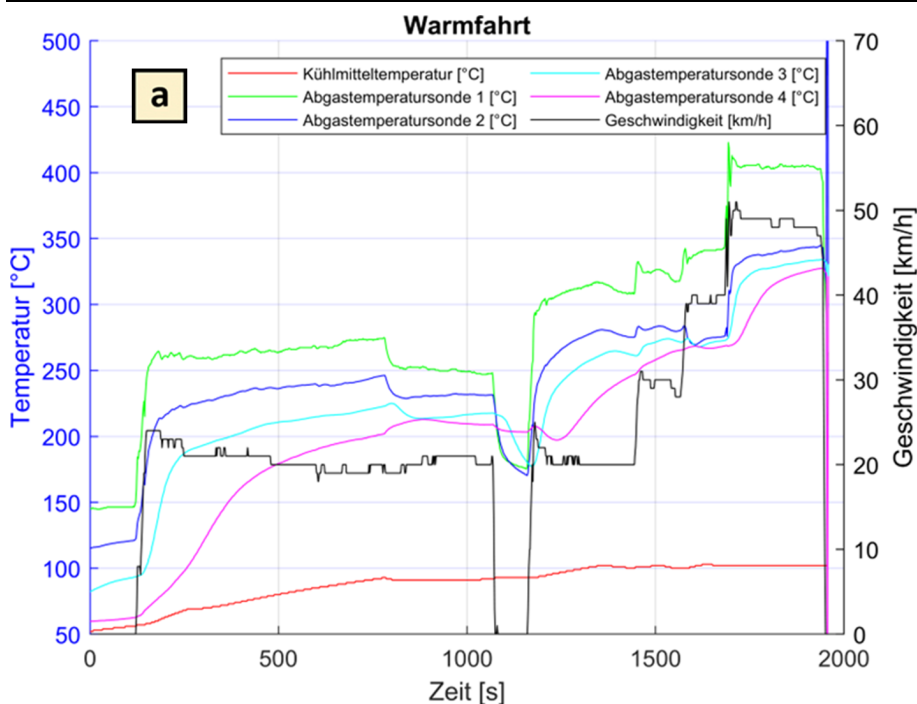
An dem Fahrzeug wurden nachfolgende Messreihen durchgeführt:

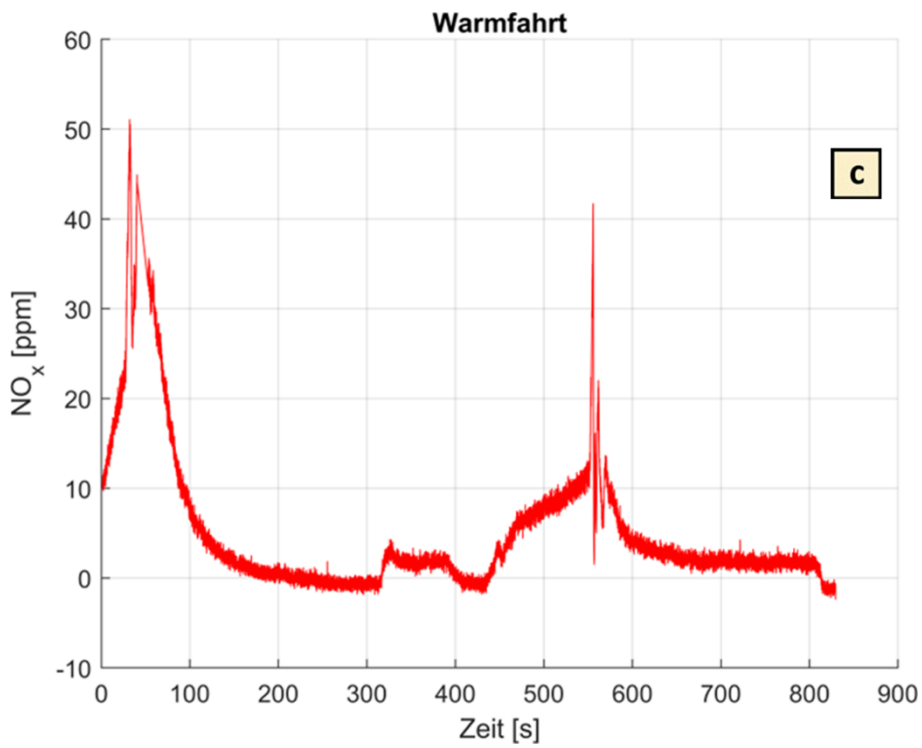
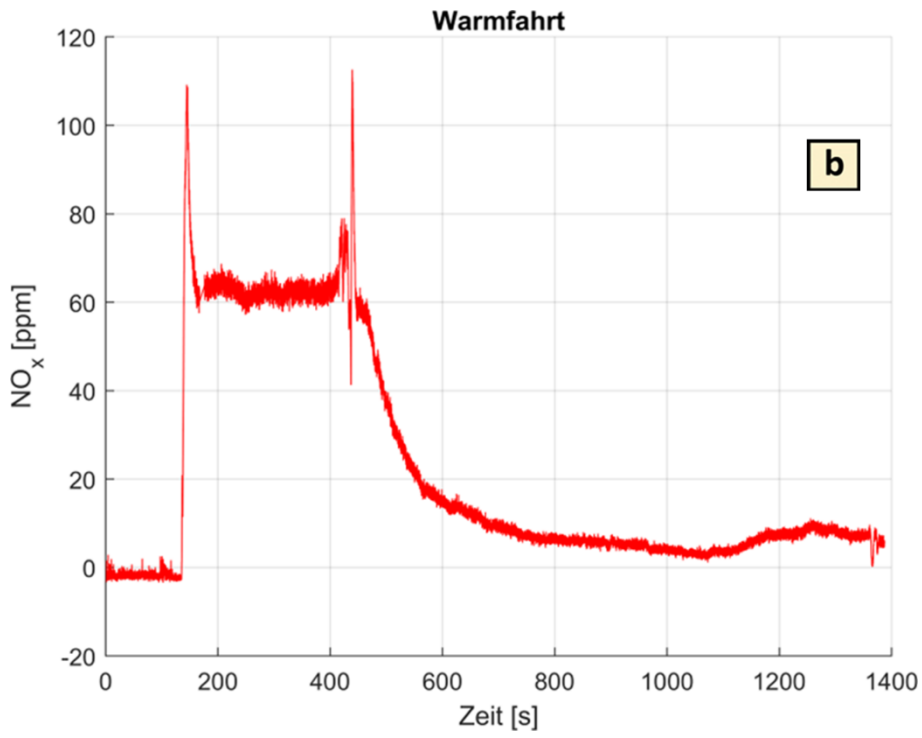
- ▶ Messung 1: Warmfahren mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten (20/30/40/50 km/h) auf Rolle (es sollte erreicht werden, dass NO_x-Sonde 2 aktiv wird – konnte nicht erreicht werden)
- ▶ Messung 2: Freie Beschleunigung mit Drehzahlbegrenzung 2.500 1/min und ohne Drehzahlbegrenzung 4.500 1/min
- ▶ Messung 3: Drehzahlpumpen
- ▶ Messung 4: Freie Beschleunigung 3x 5 Gasstöße
- ▶ Messung 5: 5x ASM20 und 3xASM2050 bei 500N Last
- ▶ Messung 6: Kurzfahrt 20 km/h

Messung 1, Fahrzeug 4: Warmfahren mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten (20/30/40/50 km/h) auf Rolle

Bei dieser Messung wurde das über Nacht ausgekühlte Fahrzeug (ca. 5 °C Außentemperatur) in die Prüfhalle gefahren und nach ca. 1 Stunde Vorbereitungszeit eine Warmfahrt auf der Rolle durchgeführt. Ziel dieser intensiven Warmfahrt war, beide fahrzeugintern verbauten NO_x-Sonden in einen aktiven Zustand zu bringen, sodass diese über OBD auslesbar sind. Nach einer Konstantfahrt mit 20 km/h wurde die Geschwindigkeit wie man in Abbildung 39 a sehr gut erkennen kann stufenweise auf 50 km/h erhöht. Die Temperatur von 200 °C der Sonde 4 wurde bei diesem „kalten“ Fahrzeug und bei konstant 20 km/h wie in Abbildung 39 a ersichtlich erst nach 12 min erreicht. Sehr deutlich erkennt man an dieser Grafik auch, dass durch die Konstantfahrt die Temperatur nicht mehr weiter gesteigert werden kann. Erst mit der anschließenden Anhebung der Geschwindigkeit steigt auch die Temperatur der Sonde 4 auf 320 °C an. Interessant ist der NO_x-Verlauf in Abbildung 39 b bei dem die gesamte Kette der Abgasnachbehandlungssysteme in einem zeitlichen Ablauf gut erkennbar ist. Nach dem Start des kalten Fahrzeuges ist das AGR aktiv, der NO_x-Wert liegt bei ca. 60 ppm, danach setzt das NO_x-Speichersystem (LNT) ein, der NO_x-Wert fällt ständig bis auf nahezu 5 ppm. Mit Erreichen der Abgastemperatur von Sonde 4 von 200 °C bleibt NO_x bei Werten unter 10 ppm. Die Grafik Abbildung 39 c zeigt den NO_x-Verlauf nach der kurzen Pause und Neustart der Messung zum Zeitpunkt 1.200 s. Die zwei unterschiedlichen Zeitskalen in Abbildung 39 b und c sind der Tatsache geschuldet, dass die OBD-Aufzeichnung durchgehend aufgezeichnet wurde, die NO_x-Messung aber zweimal gestartet wurde (Zeitskalen deshalb immer mit Start Null). Abbildung 39 b zeigt die NO-Werte während der Konstantfahrtphase mit 20 km/h, während Abbildung 39 c die NO_x-Werte während der stufenweisen Erhöhung der Geschwindigkeit von 20 km/h auf 50 km/h darstellt. Die NO_x-Werte bleiben auch in dieser Phase der Beschleunigung auf 50 km/h bei unter 5 ppm. Die fahrzeugintern verbaute NO_x-Sonde 2 wurde bei dieser Messung nicht aktiv, eine ausreichende Temperatur der Sonde 4 ist offenbar nicht alleine entscheidend um die Sonde über den OBD-Port aktiv zu schalten. In späteren Versuchen bei Straßenfahrten mit sehr hoher Last/Temperatur über eine gewisse Zeit war die Sonde 4 aktiv.

Abbildung 39: Fahrzeug 4 – Messung 1 – OBD-Daten und NO_x-Verlauf

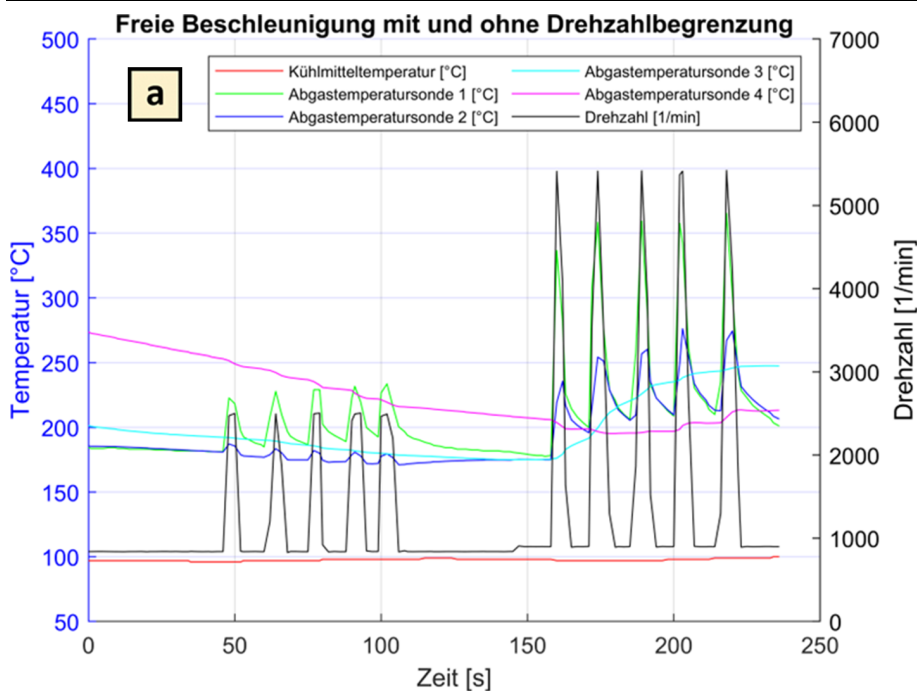


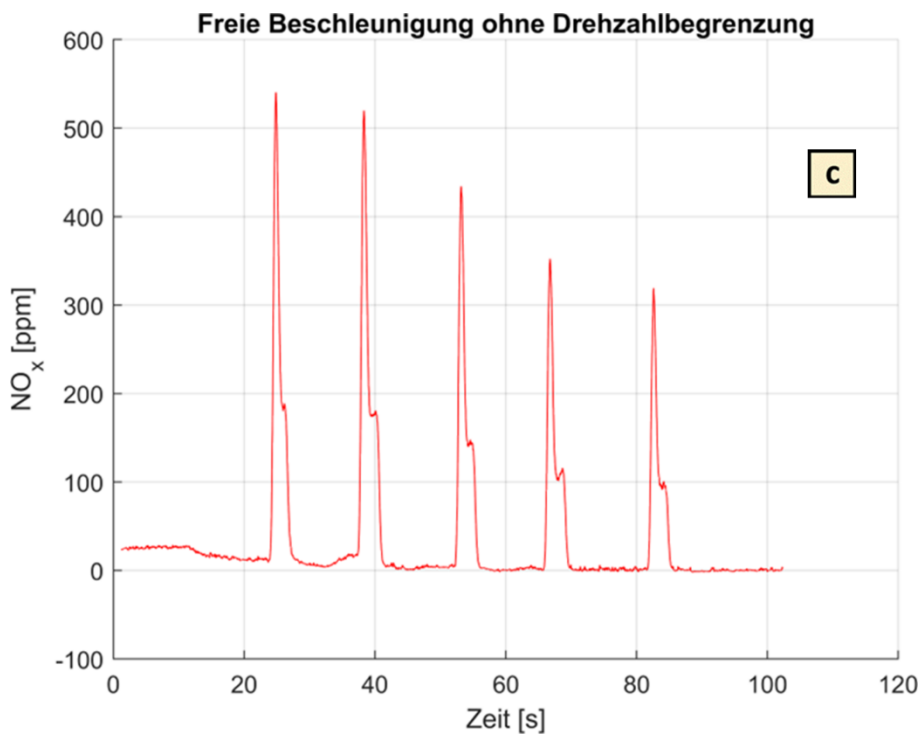
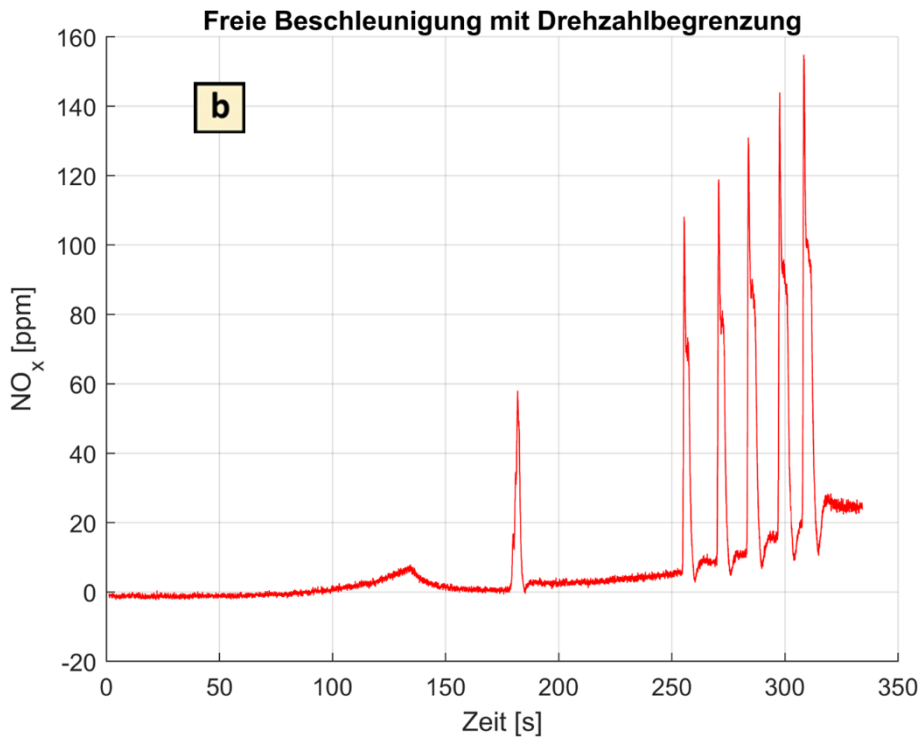


Messung 2, Fahrzeug 4: Freie Beschleunigung mit Drehzahlbegrenzung 2.500 1/min und ohne Drehzahlbegrenzung 4.500 1/min

Bei dieser Messung mit jeweils 5 Gasstößen wurde untersucht, welchen Einfluss die Standdrehzahlbegrenzung auf die Konditionierung des Fahrzeuges hat. Das Fahrzeug war wie in Abbildung 40 a ersichtlich warm, die Abgastemperatur der Sonde 4 hatte zum Start der Messung 270 °C. Bei den 5 Gasstößen mit Drehzahlbegrenzung sinkt die Abgastemperatur kontinuierlich ab auf 220 °C, in der anschließenden Leerlaufphase auf 200 °C. Bei den daran anschließenden fünf Gasstößen ohne Drehzahlbegrenzung steigt die Abgastemperatur dann wieder langsam an auf ca. 210°C. Die NO_x-Werte steigen wie in Abbildung 40 b und c ersichtlich bei den 5 Gasstößen mit Drehzahlbegrenzung kontinuierlich an auf ca. 160 ppm (Peak). Bei den anschließenden 5 Gasstößen ohne Drehzahlbegrenzung fallen die NO_x-Werte wieder kontinuierlich. Die Drehzahlbegrenzung konnte bei diesem Fahrzeug nur deaktiviert werden, indem das Fahrzeug auf einem 4-Rad-Prüfstand angetrieben wurde (ca. 10 km/h).

Abbildung 40: Fahrzeug 4 – Messung 2 – OBD-Daten und NO_x-Verlauf

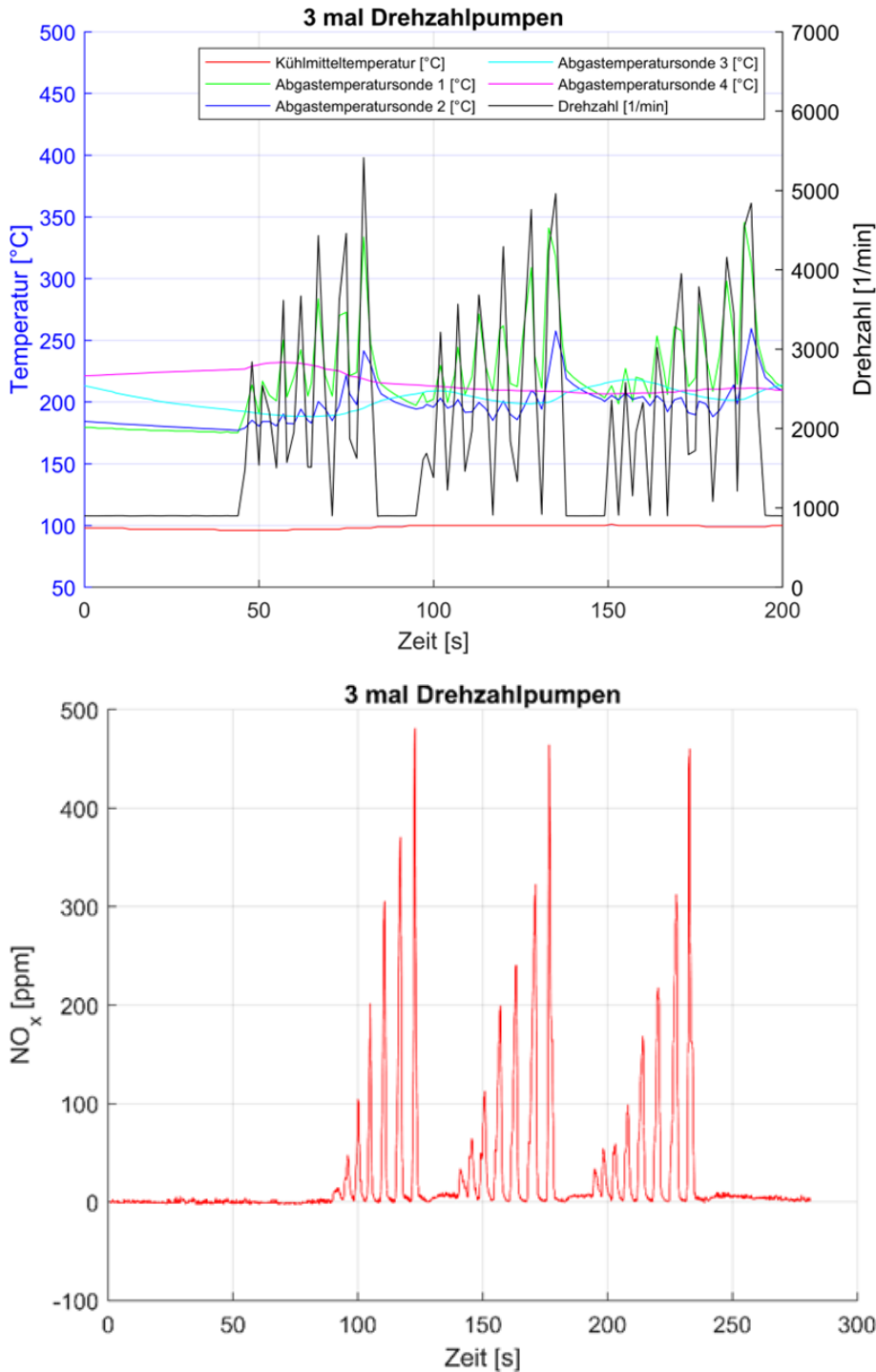




Messung 3, Fahrzeug 4: Drehzahlpumpen

Bei dieser Messreihe wurde dreimal hintereinander an einem betriebswarmen Fahrzeug das Drehzahlpumpen durchgeführt (Abbildung 41 a). Die NO_x-Verläufe (Abbildung 41 b) der drei Messungen sind nahezu identisch. Mit steigender Motordrehzahl steigen die Maximalwerte immer weiter von zu Beginn 50 ppm bis nahezu 500 ppm.

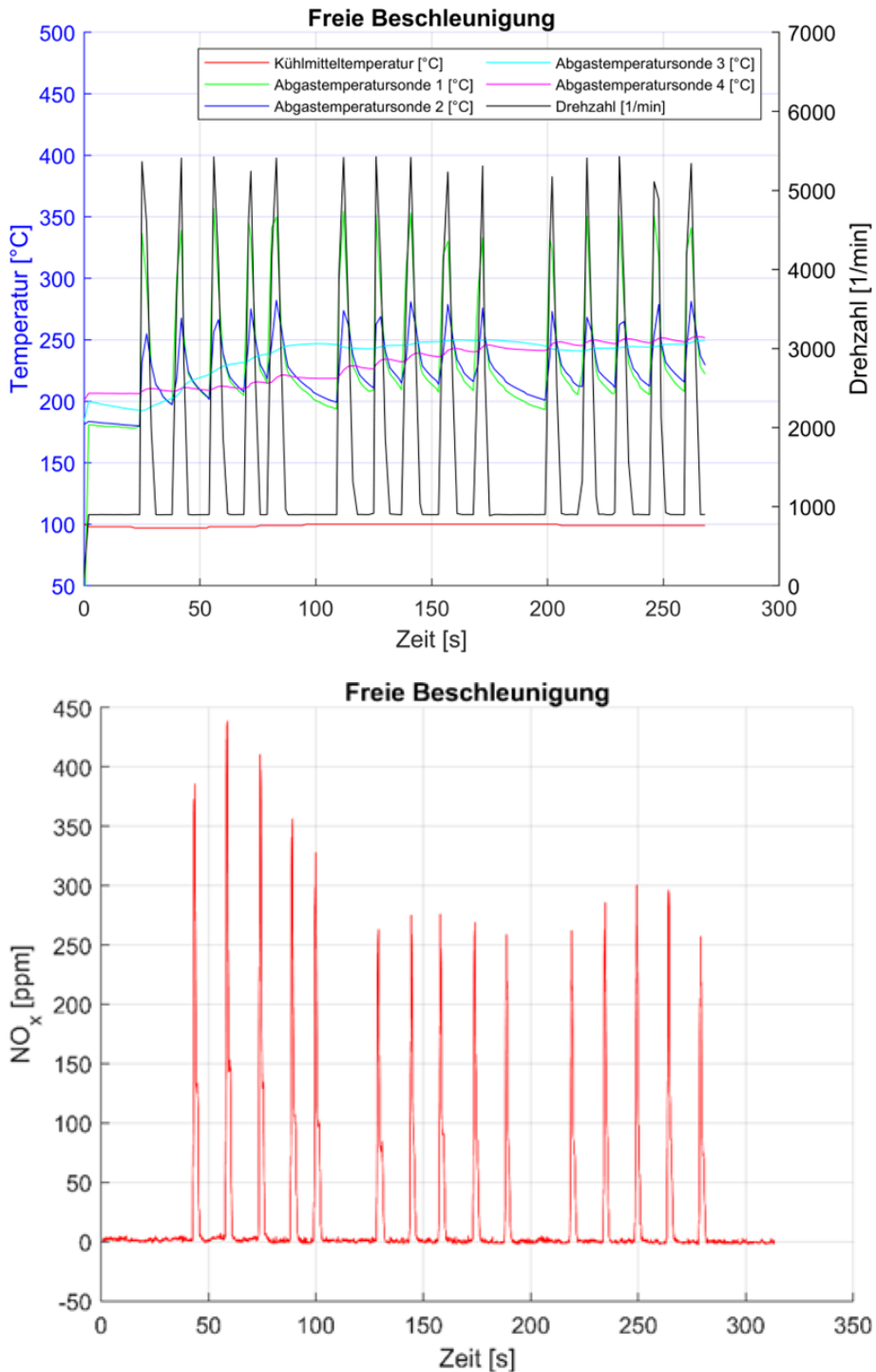
Abbildung 41: Fahrzeug 4 – Messung 3 – OBD-Daten und NO_x-Verlauf



Messung 4, Fahrzeug 4: Freie Beschleunigung 3x 5 Gasstöße

An dem betriebswarmen Fahrzeug wurden 3 mal 5 Gasstöße durchgeführt. In Abbildung 42 a sieht man, wie die Abgastemperatur der Sonde 4 von 200 °C durch die 3 aufeinanderfolgenden Gasstoßsequenzen wieder ansteigt auf ca. 250 °C. Die NO_x-Werte (Peak) liegen im ersten Block im Bereich 380 bis 480 ppm. Im zweiten und dritten Block liegen die Werte zwischen 250 und 300 ppm.

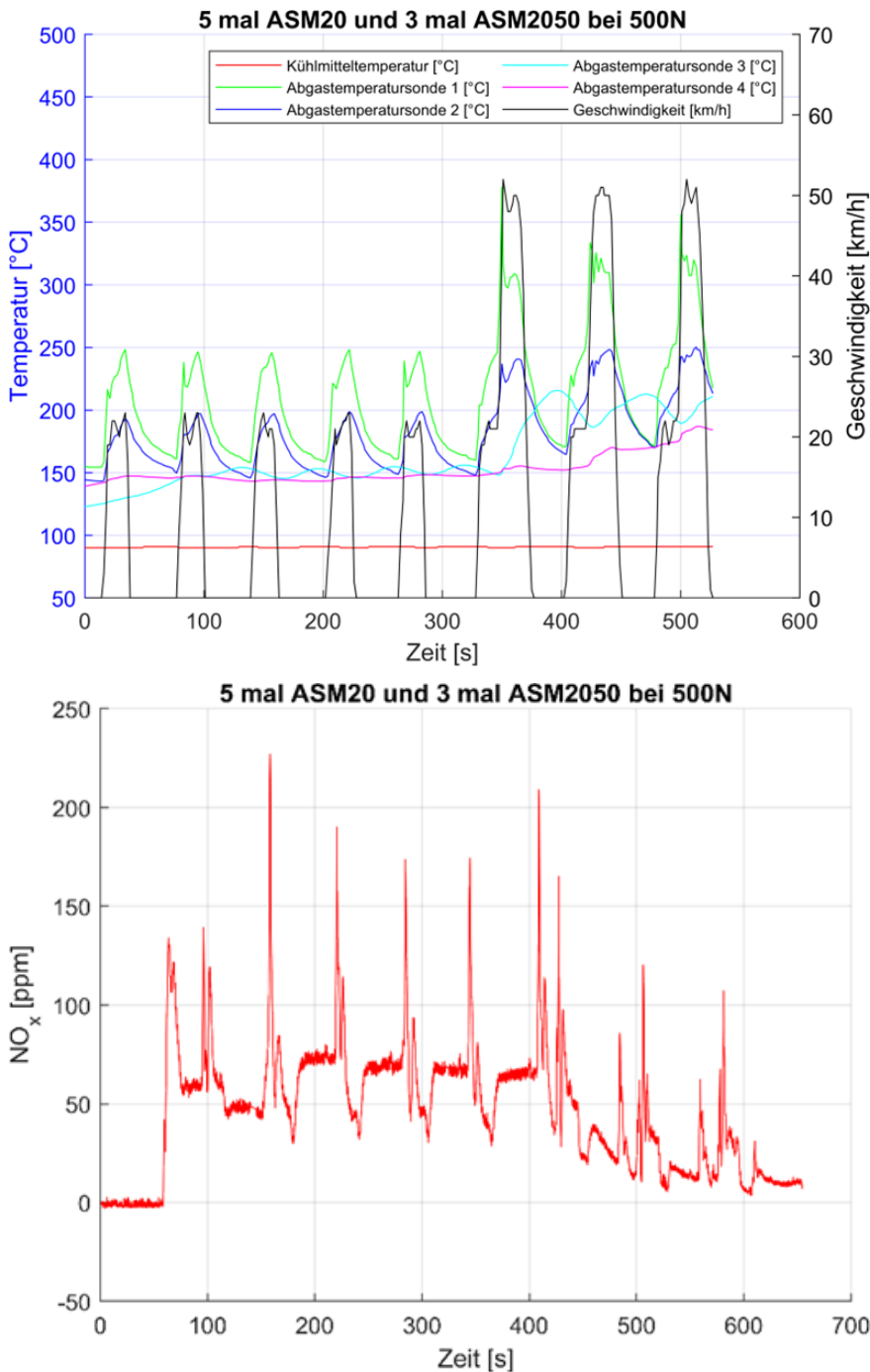
Abbildung 42: Fahrzeug 4 – Messung 4 – OBD-Daten und NO_x-Verlauf



Messung 5, Fahrzeug 4: 5x ASM20 und 3xASM2050 bei 500 N Last

Bei Messung 5 wurde an dem betriebswarmen Fahrzeug 5 mal der ASM20- und anschließend dreimal der ASM20/50- Zyklus durchgeführt (Abbildung 43 a). Während der ASM20-Zyklen bleibt die Temperatur der Sonde 4 bei 150 °C und kann nicht gesteigert werden. Erst durch den ASM20/50-Zyklus ist eine Erhöhung der Temperatur an Sonde 4 erreichbar. Nach dem dritten ASM20/50-Zyklus wird eine Temperatur von ca. 180 °C erreicht. Während der ersten fünf ASM20-Zyklen ist, wie in Abbildung 43 b ersichtlich, keine Absenkung der NO_x-Werte (Wert nach Peak ca. 70 ppm) erkennbar. Erst bei den drei ASM20/50-Zyklen steigt die SCR-Temperatur (Sonde 4) wieder an, eine Absenkung der NO_x-Werte auf ca. 15 ppm ist messbar (Wert im Leerlauf nach den jeweiligen Zyklen – Abbildung 43 b).

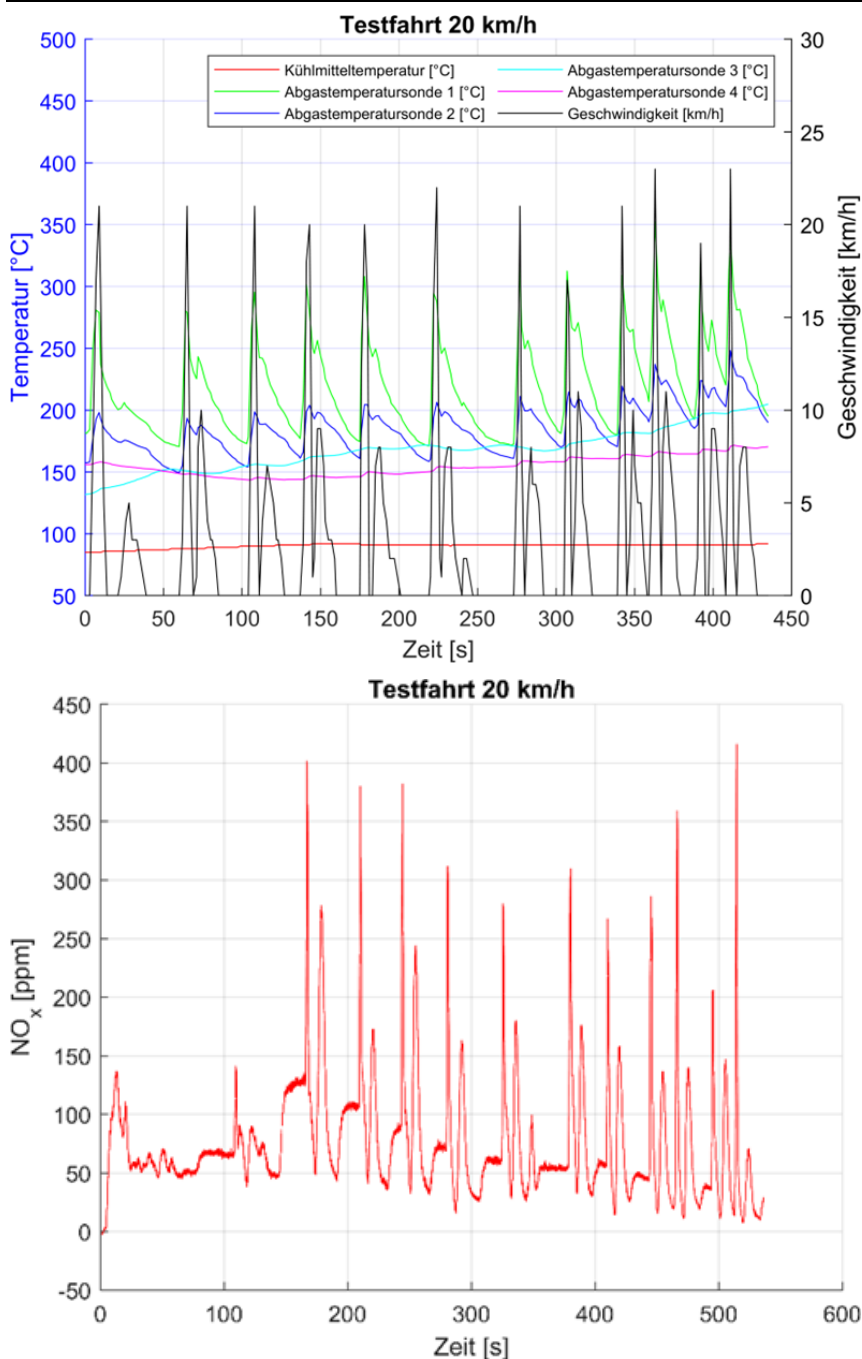
Abbildung 43: Fahrzeug 4 – Messung 5 – OBD-Daten und NO_x-Verlauf



Messung 6, Fahrzeug 4: Kurzfahrt 20 km/h

Vor der Prüfhalle wurde das betriebswarme Fahrzeug mit 20 km/h vorwärts und rückwärts gefahren. In Abbildung 44 a sieht man sehr gut die über OBD aufgenommene Geschwindigkeit (Vorwärtsfahrt 20 km/h, Rückwärtsfahrt ca. 10 km/h) und die Abgastemperatur der Sonde 4, die bei dieser Messfahrt nur langsam auf ca. 170 °C steigt. Die NO_x-Peak-Werte in Abbildung 44 b zeigen zwar eine hohe Schwankungsbreite, was auf die vergleichsweise hohen Lastzustände hinweist. Sieht man jedoch die NO_x-Werte nach dem Peak an (Leerlaufphase kurz vor dem Beschleunigen), dann sieht man sehr deutlich, wie typischerweise der NO_x-Wert von ca. 180 ppm mit zunehmender Temperatur auf ca. 40 ppm abnimmt. Sehr deutlich kann man jedoch erkennen, dass bei diesem Fahrzeug die Methode der Kurzfahrt nicht ausreicht, das Fahrzeug sicher zu konditionieren.

Abbildung 44: Fahrzeug 4 – Messung 5 – OBD-Daten und NO_x-Verlauf



3.5 Fazit Arbeitspaket 1 / Weitere Vorgehensweise

Folgende wesentliche Erkenntnisse konnten aus dem Arbeitspaket 1 gewonnen werden.

- ▶ Die Konditionierungsphase ist eine wichtige Einflussgröße für die NO_x-Messung.
- ▶ Generell besteht eine sehr inhomogene OBD-Bedatungssituation bezogen auf die verschiedenen Fahrzeughersteller.
- ▶ Ein direkter Zusammenhang zwischen Motortemperatur (Kühlwasser oder Öl) und Funktion des Emissionsminderungssystems lässt sich nicht herstellen, da das Abgasnachbehandlungssystem deutlich schneller auskühlt als der Motorblock.
- ▶ Aus den derzeitigen Ergebnissen lassen sich Anforderungen an das OBD-System ableiten, die erfüllt sein müssen, um eine ausreichende Konditionierung sicherzustellen und damit eine belastbare Messung der NO_x-Konzentrationen zu ermöglichen. Dazu gehören:
Abgastemperatur, Dosierbereitschaft, eindosierte Ad-Blue Menge, verbaute NO_x-Sonden
Diese Werte müssen unter allen Bedingungen und Fahrzuständen freigeschaltet sein.
- ▶ Die Partikelfilterregeneration beeinflusst die Messungen der NO_x-Emissionen im ASM20-Zyklus nicht.
- ▶ Die bisher durchgeführten Messungen anhand von 4 Fahrzeugen lassen die Definition einer allgemein gültigen Fahrzeug-Konditionierung zur Bewertung der einwandfreien Funktion des Abgasnachbehandlungssystems nicht zu. Für die weiteren Untersuchungen des Arbeitspaketes 2 werden deshalb folgende Konditionierungs- und Messphasen vorgesehen:
 - 4 min Warmfahrt auf dem Prüfstand bei 20 km/h mit 500 N Last
 - Danach 10 x ASM20
 - Auskühlen und dann 15 Kurzfahrten
- ▶ Zur Gesamtbeurteilung des Abgasnachbehandlungssystems sind darüber hinaus (soweit verfügbar) folgende Parameter aufzunehmen:
 - PID 78 Temperatursonden im Abgastrakt
 - PID 0D Geschwindigkeit
 - PID 05 Kühlmitteltemperatur
 - PID 0C Motordrehzahl
 - PID 83 Werte/Signale der vorhandenen NO_x-Sonden
 - PID 85 Informationen zum aktuell eindosierten Reagenz
- ▶ Die Methode der freien Beschleunigung wird im Arbeitspaket 2 nicht angewendet, da sie für die Konditionierung nicht geeignet ist (siehe dazu Abbildung 17 b und Abbildung 23 b).

4 Arbeitspaket 2 Erprobung und Weiterentwicklung der NO_x-Messverfahren im Feld

4.1 Allgemeine Vorgehensweise zur Weiterentwicklung der Messmethode

Aus den Erkenntnissen des Arbeitspaketes 1 (Kapitel 3.5) wurden die beiden Prüfprozeduren ASM20 und Straßenkurzfahrt weiter verfeinert. Diese Prüfprozeduren wurden im nächsten Schritt an weiteren 12 Fahrzeugen verifiziert. Nach der Auswertung dieser Messergebnisse wurden die Messprozeduren der restlichen 14 Fahrzeuge nochmals weiter verfeinert.

Für die Bewertung des Abgasnachbehandlungssystems ist es sinnvoll, bereits während der Startphase (Kaltphase) die NO_x-Emissionen zu erfassen, da in dieser Phase das AGR-System erheblichen Einfluss auf die NO_x-Reduktion hat. In der Übergangsphase von kalt nach warm wird der NO_x-Speicher-KAT (LNT) aktiv bis dann schließlich das SCR-System einsetzt, wenn die SCR-Temperatur größer 180 °C ist. Die Systeme wirken nicht sequentiell nacheinander, sondern überlappen sich, sodass bei Totalausfall eines Systems über die verbaute Sensorik und die Motorsteuerung eine teilweise Kompensation erfolgt. Neuere, meist hochmotorisierte Fahrzeuge haben zwei SCR-Systeme verbaut, Motor nah und am Unterboden (z. B. Fahrzeug 30 mit dem sog. TWINDOSING) die eine weitere Minimierung des NO_x-Ausstoßes in unterschiedlichen Lastbereichen ermöglichen. Diese Architektur erfüllt die weiteren Verschärfungen der Abgasvorschriften (Euro 6dtemp RDE) [10].

4.1.1 ASM20 mit vorheriger Warmfahrt von 4 min auf dem Rollenprüfstand

Bei der Messung wird eine Beschleunigungsfahrt von 0 auf 20 km/h mit einer zusätzlichen Last von 500 N auf einem Rollenprüfstand simuliert. Die detaillierte Beschreibung ist in Kapitel 3.2.1 zu finden. Die vorausgehende Konditionierung der Abgassysteme besteht aus einer vierminütigen Konstantfahrt bei einer Geschwindigkeit von 20 km/h und einer Last von ebenfalls 500 N. Anschließend folgen zehn ASM20-Zyklen. Um mögliche Unterschiede feststellen zu können, wurden bei den Fahrzeugen 5,6 und 7 stattdessen zehn ASM20/50-Zyklen zum Vergleich durchgeführt. Die NO_x-Emissionen wurden während der gesamten Phase aufgezeichnet. Weitere OBD-Daten, z. B. Temperaturen im Abgasstrang, wurden, sofern verfügbar, zusätzlich aufgezeichnet (siehe Anlage Abbildung 91 PID-Tabelle).

4.1.2 Straßenkurzfahrten

Bei dieser Methode werden 15 Beschleunigungsfahrten aus dem Stand auf 20 km/h durchgeführt. Die detaillierte Beschreibung ist in Kapitel 3.2.2 zu finden. Die NO_x-Emissionen wurden während der gesamten Phase gemessen, ebenso wurden OBD-Daten, insbesondere Temperaturen im Abgasstrang, ausgelesen, soweit diese verfügbar waren.

4.2 Fahrzeugauswahl Arbeitspaket 2

Die im Arbeitspaket 2 gemessenen Fahrzeuge sind in der folgenden Tabelle 3 aufgeführt. Weitere Daten zu den Fahrzeugparametern sind in Abbildung 91 im Anhang zu finden.

Bei der Fahrzeugauswahl für das Arbeitspaket 2 wurden bewusst unterschiedliche Hersteller, Motorisierung und Hubraum ausgewählt. Insbesondere wurden auch ganz gezielt Fahrzeuge der Kategorie N1 mit betrachtet, da diese Fahrzeuge bei der Typzulassung gemäß Vorschriften höhere Grenzwerte haben (siehe dazu Tabelle 4). Des Weiteren wurden zwei Euro 6b-Fahrzeuge mit NO_x-Speichersystem aber ohne SCR-Katalysator gewählt. Anhand dieser Fahrzeuge sollten die signifikanten Unterschiede zu den Fahrzeugen mit SCR-System dargestellt werden. Nach

Analyse der Messergebnisse an den Fahrzeugen 5-16 wurden die Prozesse nochmals weiter verfeinert und an den Fahrzeugen 17-30 verifiziert.

Im Teil 1 dieser Studie [1] wurden bereits unterschiedliche Fehlersimulationen an den Fahrzeugen vorgenommen. Um zu analysieren, wie die Werte bei einem fehlerhaften System aussehen könnten, wurden deshalb bei 4 Fahrzeugen im SCR-System ein Fehler eingebaut, um damit an ein und demselben Fahrzeug die Unterschiede zwischen gut/schlecht beurteilen zu können. Dies war auch deshalb wichtig, da sich die Abgasreinigungssysteme an Fahrzeugen mit Euro 6d-TEMP seit Teil 1 der Studie weiterentwickelt haben [10].

Tabelle 3: Fahrzeugübersicht Arbeitspaket 2

Fahrzeug	Marke/Modell	Hubraum	Leistung	Kategorie	Emissionscode
5	Mercedes B180d	2,0	85	M1	36AP
6	Mercedes CLS400d	3,0	243	M1	36AP
7	Mercedes C300d	2,0	195	M1	36AP
8	Peugeot 508	1,5	96	M1	36AP
9	Citroen Jumper	2,2	121	N1	36AP
10	Ford Kuga	2,0	140	M1	36A0
11	Volvo V60	2,0	145	M1	36AP
12	VW Crafter	2,0	103	N1	36AR
13	Opel Vivaro	2,0	110	N1	36AN
14	Ford Mondeo	2,0	140	M1	36DG
15	Mitsubishi ASX	2,2	110	M1	36W0 (6b)
16	Audi A3	2,0	135	M1	36W0 (6b)
17	BMW 520d	2,0	140	M1	36AP
18	Mercedes Sprinter	2,0	125	N1	36AR
19	Renault Kangoo	1,5	85	N1	36CH
20	Hyundai Tucson	1,6	100	M1	36DG
21	MAN TGE	2,0	130	N1	36CI
22	Opel Vivaro	2,0	90	N1	36AN
23	BMW 540d	3,0	250	M1	36AP
24	Hyundai Tucson	1,6	100	M1	36AP
25	Skoda Octavia	2,0	110	M1	36AP
26	Volkswagen Touran	2,0	110	M,N1	36AP
27	Fiat Tipo	1,3	70	M1	36DG
28	Mitsubishi L200	2,3	110	N1	36CI
29	VW Touran	2,0	110	M1	36DG
30	Audi A7	2,0	150	M1	36AP

4.3 Messergebnisse zu Fahrzeug 5-16

Im Folgenden sind die Messergebnisse von den Fahrzeugen 5-16 aufgeführt.

Um mögliche Unterschiede identifizieren zu können, wurde mit den ersten drei Fahrzeugen des zweiten Arbeitspakets (Fahrzeug 5, 6 und 7) der ASM20/50 Fahrzyklus gefahren. Der ASM20 wird hierbei nach Erreichen der 20 km/h um eine weitere Beschleunigung auf 50 km/h ergänzt, bevor das Fahrzeug bis zum Stillstand abgebremst wird. In den nachfolgenden Abbildungen werden nur die Ergebnisse dargestellt, die wichtige Erkenntnisse für die weitere Vorgehensweise bzw. Schlussfolgerung zum Thema NO_x-Messung liefern. Alle weiteren Messergebnisse sind in Anhang A.2 zu finden.

Zur besseren Vergleichbarkeit der Ergebnisse wurden bei allen Fahrzeugen im Arbeitspaket 2 die Skalierungen unabhängig vom Messergebnis bei allen Auswertungen und Darstellungen einheitlich gewählt (Temperatur 100 °C, Geschwindigkeit 60 km/h, NO_x 300 ppm). Eventuell auftretende Überschreitungen der Werte über die 300 ppm hinaus wurden akzeptiert und bewusst nicht dargestellt, da es für die Schlussfolgerung unerheblich ist und die Details im Bereich bis 300 ppm für die Aussagen bedeutend sind.

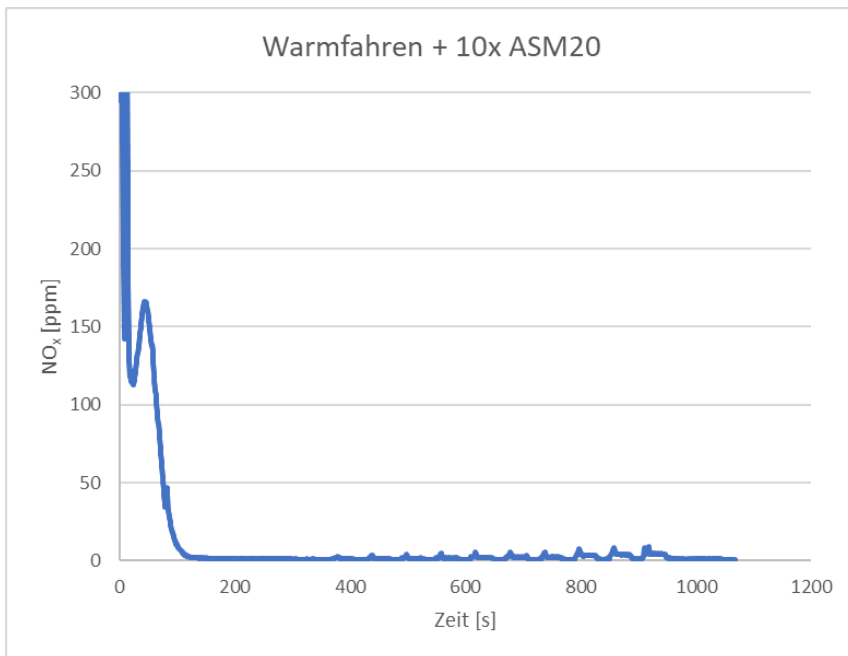
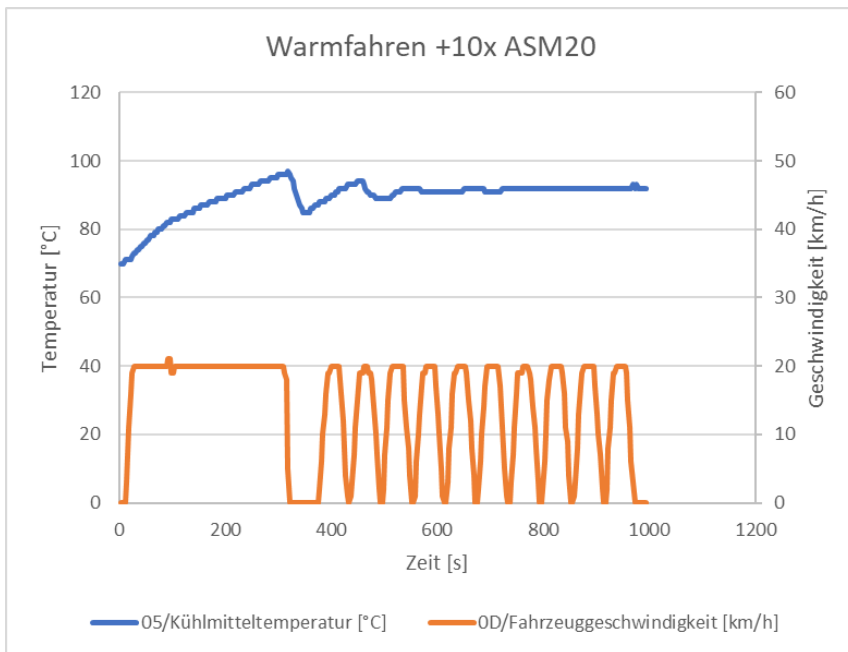
Durch die Aufnahme der Daten über zwei oder mehr komplett getrennte Systeme (OBD-Tool und NO_x-Messgeräte), die nicht synchronisiert werden können und zudem unterschiedliche Taktraten haben, kann es in der Darstellung auf der Zeitachse zu unterschiedlichen Skalierungen kommen.

4.3.1 Messergebnisse ASM20

Fahrzeug 8: Peugeot 508

Fahrzeug 8 zeigt in Abbildung 45 a den ASM20-Verlauf und die Kühlmitteltemperatur. In Abbildung 45 b sieht man den typischen NO_x-Verlauf mit Werten um 150 ppm, die bereits nach ca. 100 s kontinuierlich abnehmen (NO_x-Speicher – LNT) und dann gegen Null gehen. Die anschließenden ASM20-Zyklen wirken sich nicht mehr auf den NO_x-Verlauf aus, da das SCR-System diese Änderungen sehr gut kompensiert (glättet).

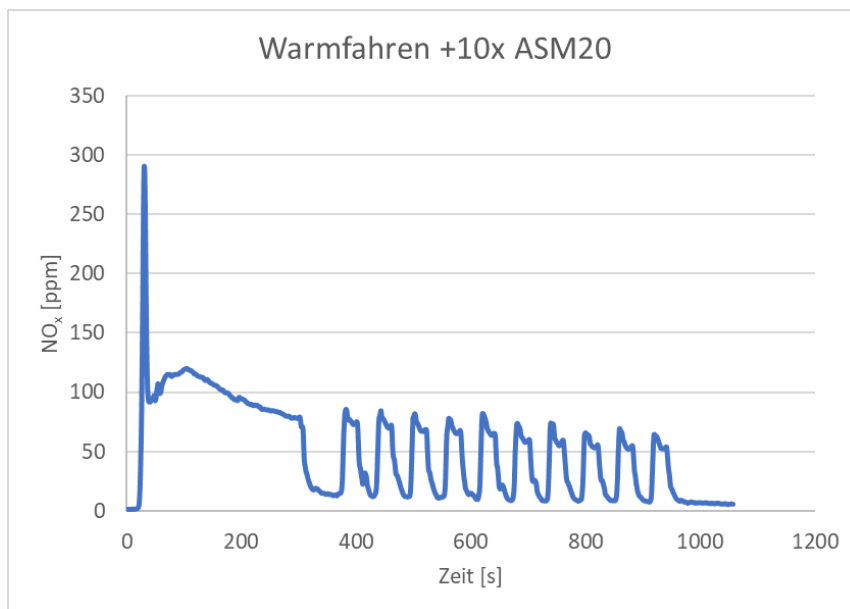
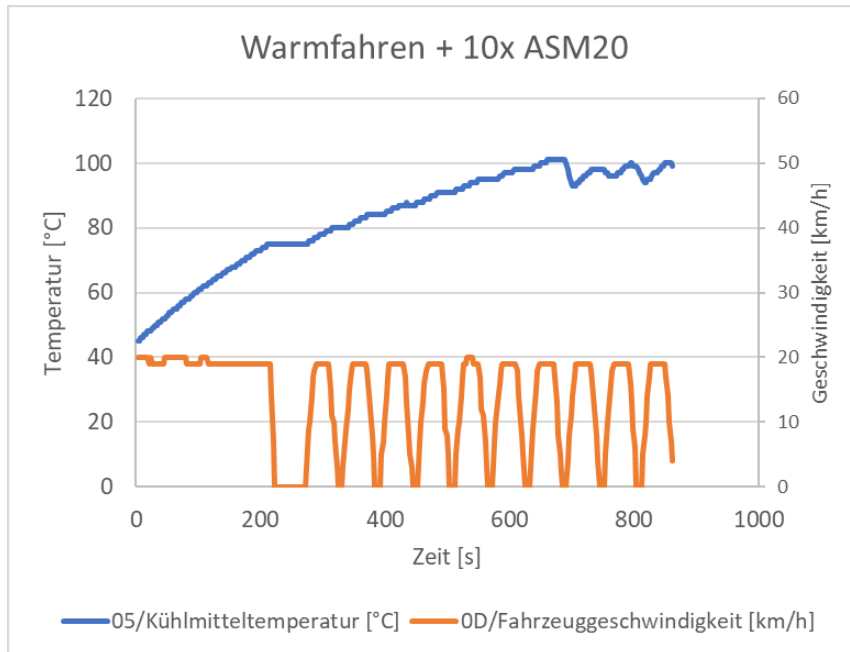
Abbildung 45: Fahrzeug 8 – 10x ASM20 – OBD-Daten und NO_x-Verlauf



Fahrzeug 9: Citroen Jumper (N1)

In der Abbildung 46 b sieht man einen NO_x-Verlauf, der bei ca. 100 ppm startet und mit steigender Temperatur abnimmt. Während der ASM-Zyklen zeigen sich jedoch deutliche NO_x-Werte von 50 ppm, die auch während der ASM-Zyklen nicht geringer werden (dieses Verhalten fällt bei einigen N1-Fahrzeugen auf). Abbildung 46 a zeigt die Kühlmitteltemperatur und die 10 ASM-Zyklen mit vorgeschaltetem Warmphase bei 20 km/h aufgezeichnet über OBD.

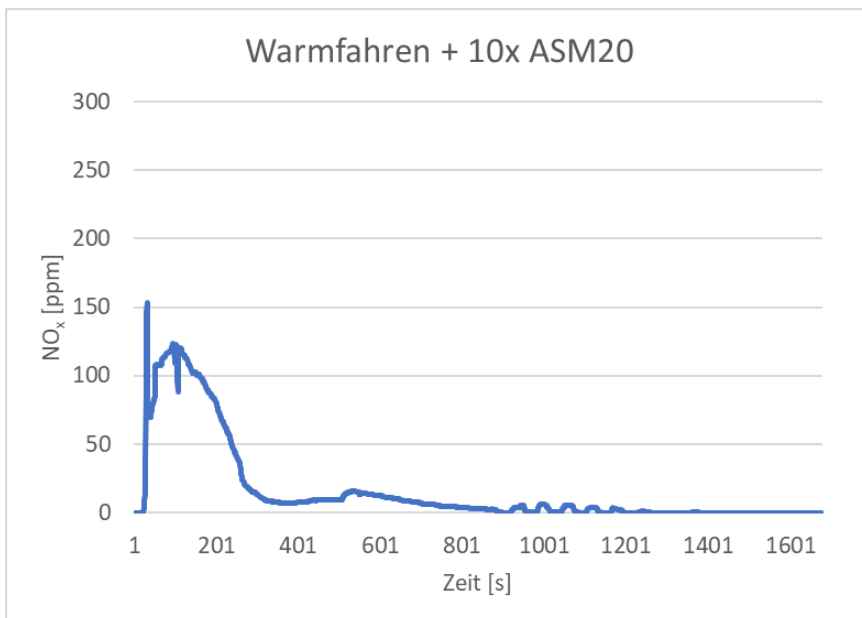
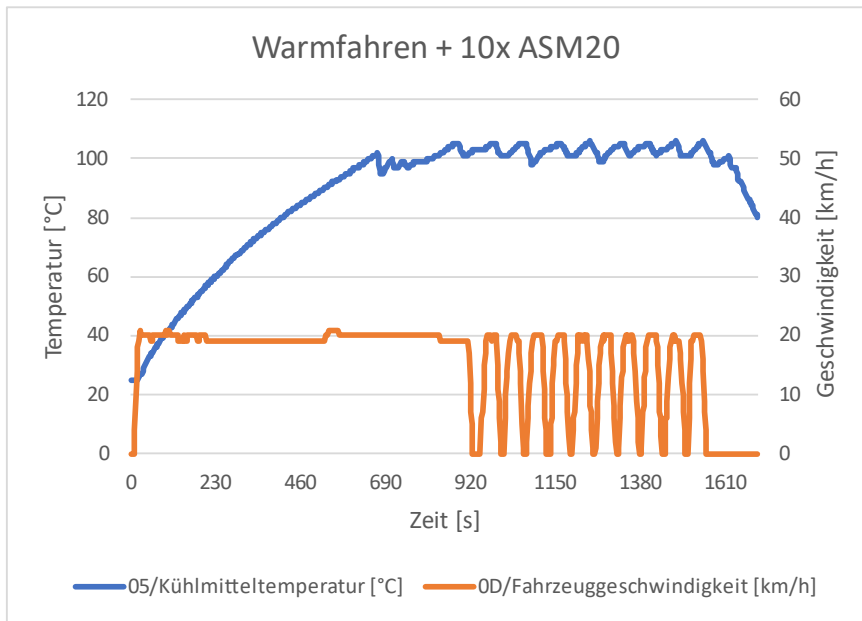
Abbildung 46: Fahrzeug 9 – 10x ASM20 – OBD-Daten und NO_x-Verlauf



Fahrzeug 13: Opel Vivaro (N1)

Bei Fahrzeug 13 handelt es sich um ein weiteres N1 Fahrzeug, das sich im NO_x-Verlauf wie ein typisches M1 Fahrzeug verhält. In Abbildung 47 a sieht man den Geschwindigkeitserlauf und die Kühlmitteltemperatur über OBD. Abbildung 47 b zeigt, dass der NO_x-Wert ausgehend von ca. 100 ppm im kalten Zustand nach ca. 300 s gegen Null geht und auch die anschließenden ASM20-Zyklen im NO_x-Verlauf nicht mehr sichtbar sind.

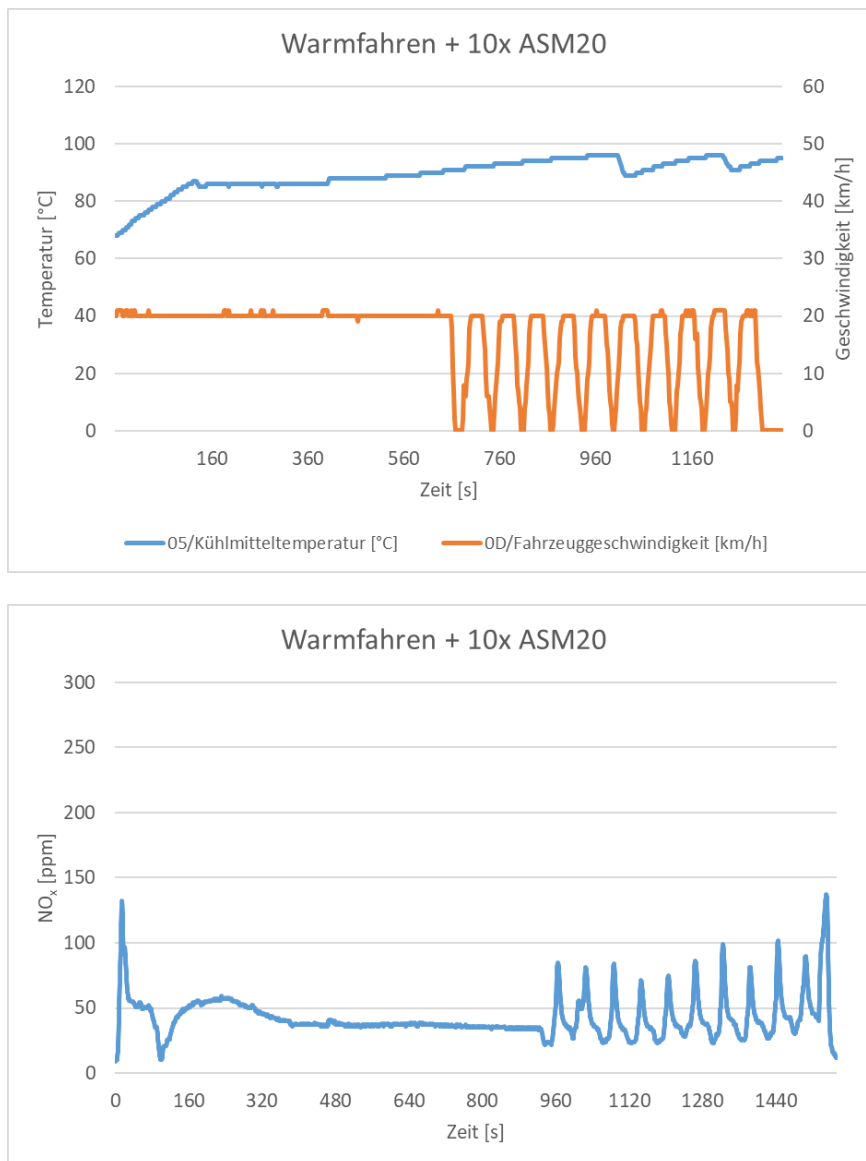
Abbildung 47: Fahrzeug 13 – 10x ASM20 – OBD-Daten und NO_x-Verlauf



Fahrzeug 15: Mitsubishi ASX (Euro 6b)

In Abbildung 48 a ist der Fahrzyklus inkl. Kühlmitteltemperatur eines Euro 6b Fahrzeug über OBD dargestellt, der schmale Peak in Abbildung 48 b auf nahezu 0 ppm zeigt die Wirkung des NO_x-Speichersystems. Danach steigen die NO_x-Werte wieder an und bleiben auf einem Niveau von ca. 40 ppm (typisch für Fahrzeuge ohne SCR-Nachbehandlung). Die ASM20-Zyklen äußern sich aufgrund des nicht verbauten SCR-Systems sehr deutlich in den NO_x-Spitzen in Abbildung 48 b von 80 bis 140 ppm.

Abbildung 48: Fahrzeug 15 – 10x ASM20 – OBD-Daten und NO_x-Verlauf

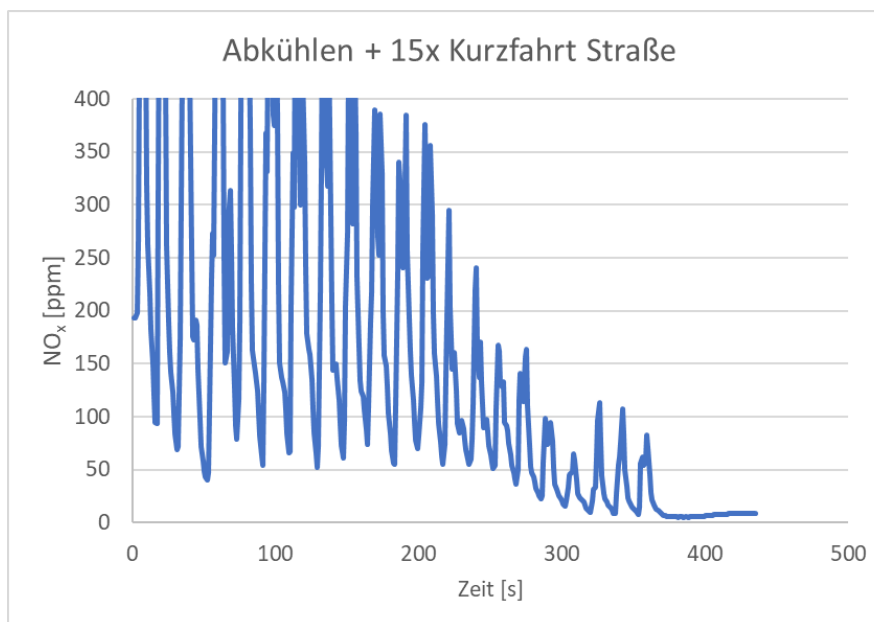
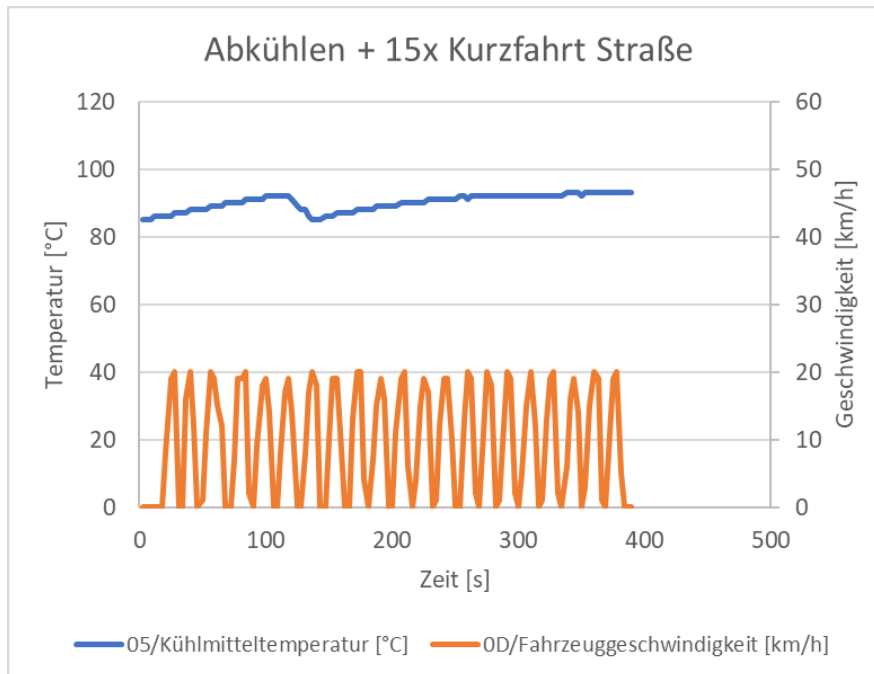


4.3.2 Messergebnisse 15x Kurzfahrt

Fahrzeug 8: Peugeot 508

Die Kurzfahrt in Abbildung 49 a zeigt ein ähnliches Verhalten wie in Abbildung 45 b beim ASM20-Zyklus. Der NO_x-Wert in Abbildung 49 b fällt ebenfalls von ca. 150 ppm (Wert zum Ende jedes Kurzfahrtzyklus = rote Basislinie) auf nahezu 0 ppm nach den 15 Kurzfahrten (SCR-Wirkung setzt ein).

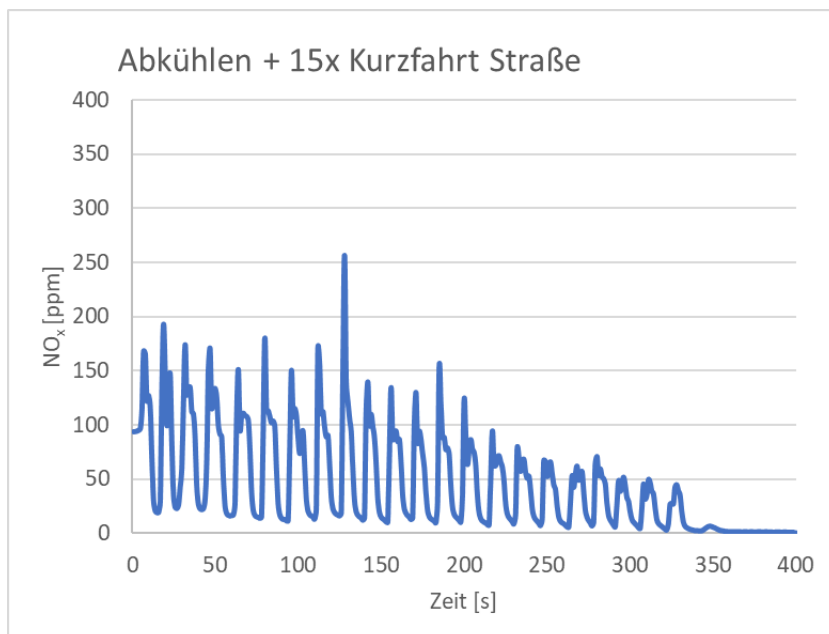
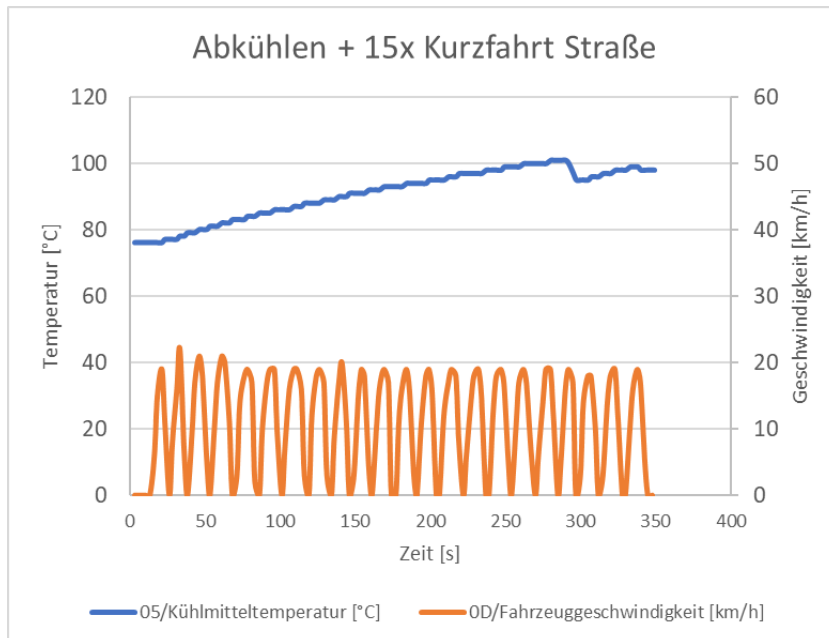
Abbildung 49: Fahrzeug 8 – 15x Kurzfahrt – OBD-Daten und NO_x-Verlauf



Fahrzeug 9: Citroen Jumper

Auch bei der Kurzfahrt in Abbildung 50 a (Kühlmitteltemperatur, Fahrgeschwindigkeit über OBD) zeigt sich beim NO_x-Verlauf in Abbildung 50 b ein ähnliches Verhalten wie beim ASM20-Zyklus (Abbildung 46 b). Die Kurzfahrtzyklen sind sehr deutlich zu sehen mit Werten von ca. 125 ppm zu Beginn und 50 ppm Peak am Ende der Kurzfahrtzyklen. Bei diesem Fahrzeug wurde die Kurzfahrt nicht auf der Straße, sondern auf der Rolle durchgeführt, was am sehr gleichmäßigen Verlauf der Zyklen ersichtlich ist.

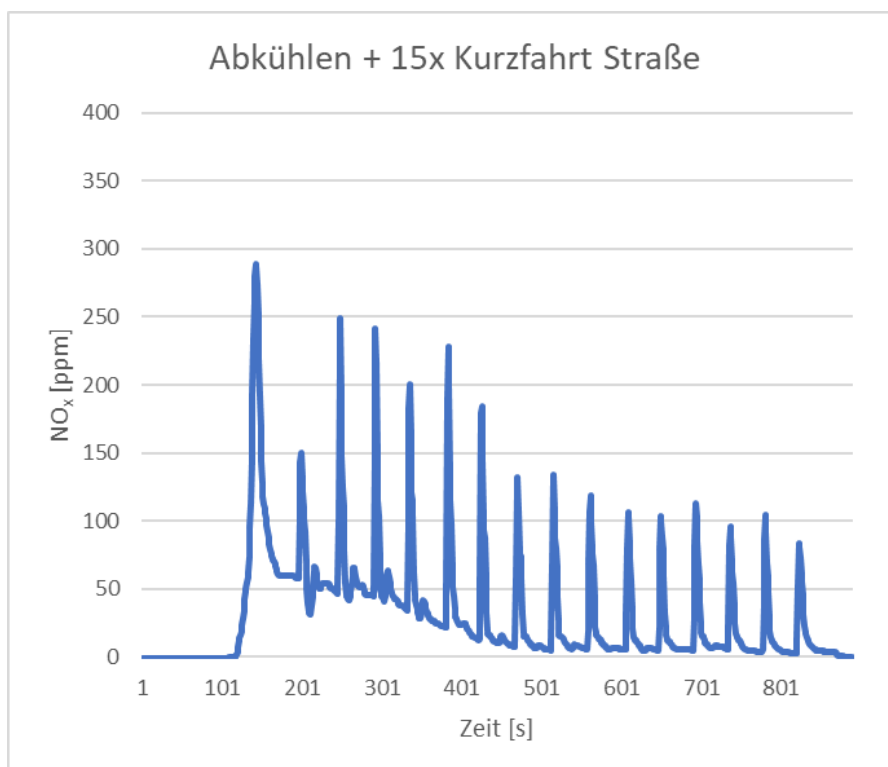
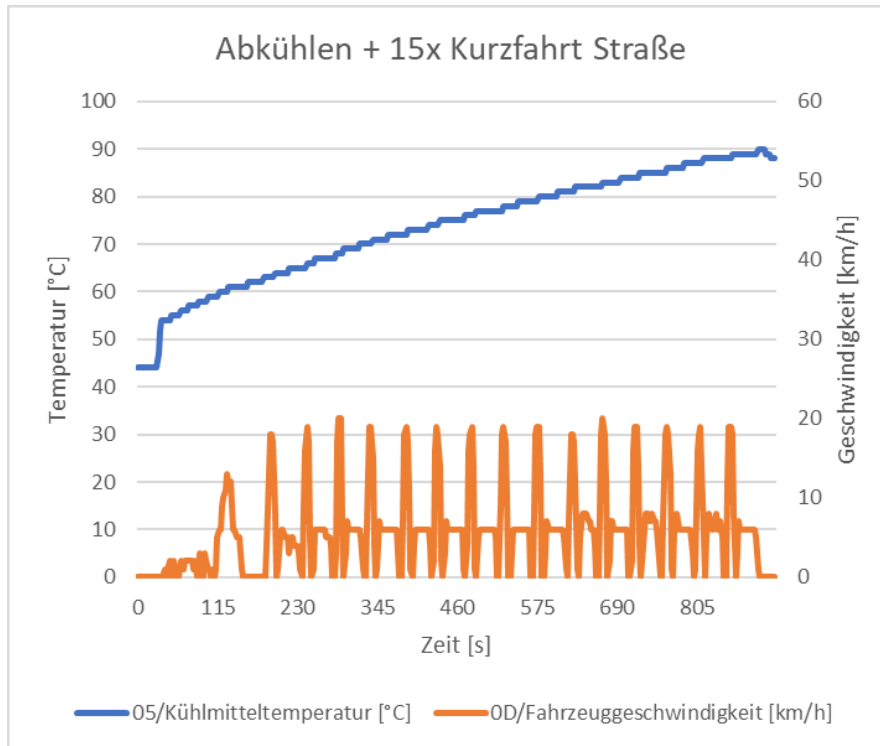
Abbildung 50: Fahrzeug 9 – Kurzfahrt – OBD-Daten und NO_x-Verlauf



Fahrzeug 13: Opel Vivaro (N1)

Fahrzeug 13 zeigt bei der Kurzfahrt (Abbildung 51 a zeigt die Fahrgeschwindigkeit und Kühlmitteltemperatur über OBD) einen ähnlichen NO_x-Verlauf wie beim ASM20-Zyklus (Abbildung 47 b). Von ca. 60 ppm zu Beginn der Kurzfahrt (Abbildung 51 b) fällt NO_x mit jedem Zyklus bis auf 0 ppm zum Ende der 15 Kurzfahrten ab (Basislinie). Die Spitzen stellen die NO_x-Werte bei der Beschleunigung dar.

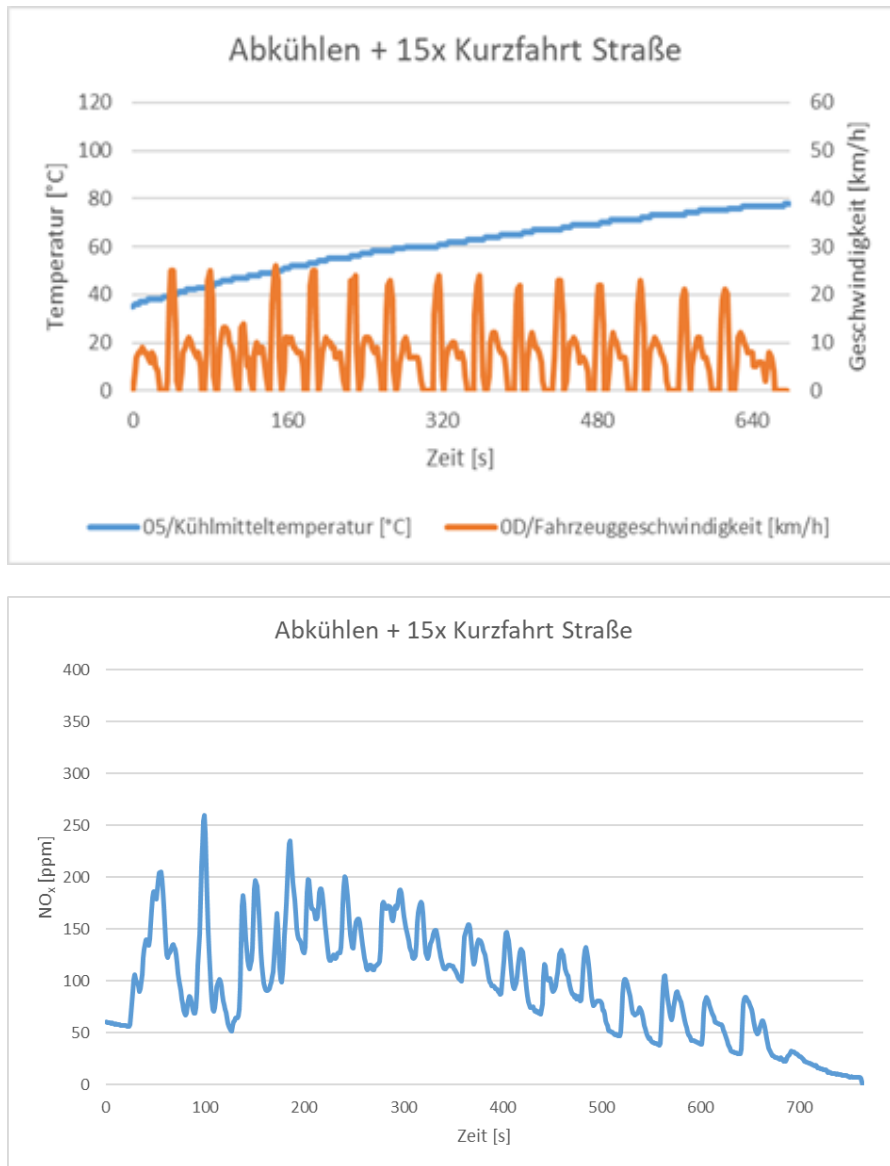
Abbildung 51: Fahrzeug 13 – 15x Kurzfahrt – OBD-Daten und NO_x-Verlauf



Fahrzeug 15: Mitsubishi ASX (Euro 6b)

Auch bei der Straßenfahrt (Abbildung 52 a zeigt die Fahrgeschwindigkeit und Kühlmitteltemperatur über OBD) verhält sich das Euro 6b Fahrzeug Nr. 15 ähnlich wie beim ASM20-Zyklus (Abbildung 48 b). Relativ hohe NO_x-Werte zu Beginn der Fahrt (Abbildung 52 b), die nach 2 bis 3 Fahrzyklen durch die Wirkung des NO_x-Speichers (LNT) abnehmen und danach durch das nicht verbaute SCR-System wieder ansteigen auf ca. 150 ppm und sich zum Ende des Fahrzyklus auf 40 ppm einpendeln.

Abbildung 52: Fahrzeug 15 – 15x Kurzfahrt – OBD-Daten und NO_x-Verlauf



4.4 Zwischenfazit zu den Fahrzeugen 5-16

Nach Auswertung der 12 Messungen im Arbeitspaket 2 kann folgendes für die beiden Methoden ASM20 sowie die Straßenkurzfahrt festgestellt werden:

Die Ergebnisse zeigen, dass sowohl die Methode ASM20 als auch die Kurzfahrt grundsätzlich geeignet erscheinen, um das Fahrzeug entsprechend zu konditionieren. Bei allen Fahrzeugen konnte mit beiden Methoden (ASM20/Kurzfahrt) die Wirkung der Abgasnachbehandlungssysteme festgestellt werden. Dies wurde im Wesentlichen durch einen vorgeschalteten Warmfahrtszyklus ermöglicht. Die anfänglich hohen durchschnittlichen NO_x-Werte gingen bei beiden Methoden mit zunehmender Erwärmung der Abgasnachbehandlungssysteme kontinuierlich bis auf wenige ppm zurück. Bei der Auswertung der ASM20-Methode wurden die NO_x-Werte während der Konstantphase bewertet, die NO_x-Peaks bei der Beschleunigung wurden nicht betrachtet. Die höheren NO_x-Werte der PKW mit Abgasstufe Euro 6b (Fahrzeug 15 und 16) gegenüber Euro 6d-TEMP (Fahrzeuge 1-10) sind bei der Ergebnisauswertung beider Methoden deutlich erkennbar. Des Weiteren wurden bei dieser Messreihe erstmals auch N1 Fahrzeuge (leichte Nutzfahrzeuge) vermessen, die teilweise ein abweichendes NO_x-Verhalten zeigten, da bei diesen Fahrzeugen auch die zulässigen Homologationswerte höher sind (siehe Tabelle 4) [11].

Tabelle 4: Abgasgrenzwerte bei der Typprüfung ab Euro 6b

Kategorie	Klasse	Testmasse [kg]	CO		THC		NMHC		NO _x		THC+ NO _x		PM		PN23	
			PI	CI	PI	CI	PI	CI	PI	CI	PI	CI	PI	CI	PI	CI
M1	-		1000	500	100	-	68	-	60	80	-	170	4.5	4.5	6x10 ¹¹	6x10 ¹¹
N1	I	M ≤ 1280	1000	500	100	-	68	-	60	80	-	170	4.5	4.5	6x10 ¹¹	6x10 ¹¹
N1	II	1280 < M ≤ 1735	1810	630	130	-	90	-	75	105	-	195	4.5	4.5	6x10 ¹¹	6x10 ¹¹
N1	III	1735 < M	2270	740	160	-	108	-	82	125	-	215	4.5	4.5	6x10 ¹¹	6x10 ¹¹

M1: PKW

N1: leichtes Nutzfahrzeug

PI: Positive Ignition, Fremdzündungsmotor

CI: Compression Ignition, Kompressionszündungsmotor

4.5 Weitergehende Analyse der Messprozedur für die Fahrzeuge 17-30

Gemäß Richtlinie 2014/45/EU über die regelmäßige technische Überwachung von Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeuganhängern und zur Aufhebung der Richtlinie 2009/40/EG [12] sollen „Testmethoden für die Messung der NO_x-Werte sowie Grenzwerte für den NO_x-Ausstoß festgelegt werden“. Vor diesem Hintergrund wird derzeit von dem Forschungszentrum der EU-Kommission (Joint Research Center, JRC) an einem Verfahren zur Bewertung von Stickoxidemissionen von Dieselfahrzeugen bei der periodischen Überwachung gearbeitet. Dabei liegt der Fokus auf der Überprüfung der Funktion von SCR-Systemen, die sowohl bei aktuellen Pkw und leichten Nutzfahrzeugen der Grenzwertstufen Euro 6dtemp und Euro 6d als auch bei schweren Nutzfahrzeugen der Grenzwertstufe EURO VI sehr weit verbreitet sind.

Ein Ansatz für eine Prüfmethode zur Bewertung von SCR-Systemen wurde im August 2023 von JRC vorgestellt und in der Publikation „Assessment of a NO_x Measurement Procedure for Periodic Technical Inspection (PTI) of Light-Duty Diesel Vehicles“ beschrieben [6]. Die sogenannten „Hot Idling Methode“ zielt auf eine Bewertung der Funktion von SCR-Systemen. Dazu wird das Fahrzeug in einen Zustand gebracht, ab dem das SCR-System sicher arbeitet. Anschließend lässt man das zu untersuchende Fahrzeug im Leerlauf laufen und zeichnet dabei die NO_x-Konzentration auf. Erste Untersuchungsergebnisse von JRC deuten an, dass der Verlauf der NO_x-Konzentrationsänderung beim Auskühlen des Abgassystems Aufschluss über die NH₃-Speicherung im SCR-Katalysator und damit über den Zustand und die Funktionsfähigkeit des SCR-Systems geben kann. Die Ergebnisse zeigten auch, dass die Wirkung des SCR-Systems von anderen Systemen zur Reduzierung der Stickoxidemissionen wie Abgasrückführung oder NO_x-Speicherката überlagert wird.

Entscheidend für die Aussagekraft der „Hot Idling Methode“ ist die Konditionierung des Fahrzeuges vor Beginn der eigentlichen Messung. Es muss sichergestellt werden, dass das SCR-System bei Beginn der eigentlichen Messung seine Arbeitstemperatur erreicht hat und die NO_x-Reduzierung mit Hilfe der Eindosierung von Ad-Blue getriggert worden ist. Bei den Untersuchungen von JRC wurden die Fahrzeuge zu diesem Zweck mindestens 30 Minuten unter nicht näher beschriebenen Bedingungen gefahren. JRC räumt ein, dass weitere Untersuchungen zu dem Messverfahren und vor allem eine Verbesserung der Fahrzeugvorbereitung erforderlich sind und beklagt, dass eine Information zur Temperatur des SCR-Systems nicht bei allen Fahrzeugherstellern über das OBD-System auslesbar ist.

Die von JRC vorgestellte Methode „Hot Idling“ wurde zusätzlich zu den ursprünglich vorgesehenen Methoden in das Messprogramm dieses Vorhabens aufgenommen und an den Fahrzeugen 17 bis 30 untersucht. Dabei standen insbesondere die Eignung der verschiedenen Möglichkeiten zur Fahrzeugkonditionierung im Mittelpunkt.

Bei der weiteren Analyse wurde untersucht, ob anstelle der aufwändigen Warmfahrt auf der Straße die beiden ausgewählten Methoden ASM20 und Kurzfahrt geeignet sind, um das Fahrzeug in einen Zustand zu bringen, in dem das SCR-System sicher arbeitet. Um zuverlässige und reproduzierbare Werte zu generieren, ist es sehr wichtig, die Abgastemperatur zu kennen. Diese wurde, soweit herstellerseitig bedatet über OBD mit aufgezeichnet und in Bezug zum NO_x-Verlauf gesetzt. Das in diesem Forschungsvorhaben erstellte Messprogramm wurde daher folgendermaßen modifiziert:

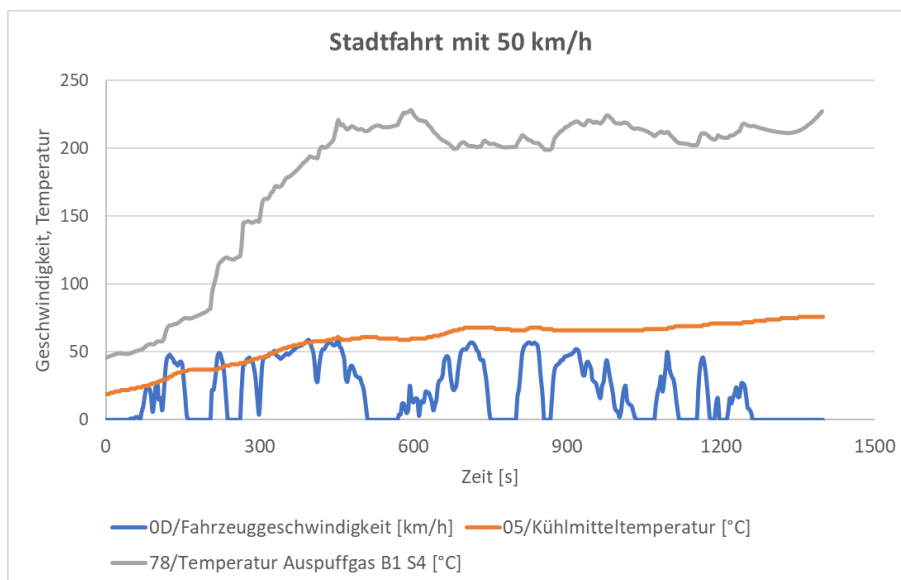
- ▶ ASM20: Konstantfahrt nach Kaltstart (4 min) mit anschließenden zehn ASM20-Zyklen, danach 15 min Leerlaufphase (Hot Idling)
- ▶ 15 Straßenkurzfahrten nach Kaltstart, danach 2 min Leerlaufphase (Hot Idling)

Zur weiteren Auswertung dieser beiden Methoden wurden die NO_x-Emissionen über alle Phasen (Kaltstart, Warmfahrt, ASM20/Kurzfahrt und anschließende Leerlaufphase) mit gemessen. Die an die Messzyklen ASM20 und Kurzfahrt angehängten Leerlaufphasen von 15 min bzw. 2 min haben den Zweck, in dieser Phase das „Auskühlen“ des Abgassystems zu beobachten und über Änderungen von NO_x-Werten sowohl auf das Speicherverhalten des SCR-Systems als auch auf fehlerhafte SCR-Systeme zu schließen.

4.5.1 Warmfahren mit einer Stadtfahrt

Es gibt unterschiedliche Möglichkeiten das Fahrzeug zu konditionieren. Neben den untersuchten Methoden ASM20 und Kurzfahrt gibt es noch grundsätzlich die Möglichkeit eine Straßenfahrt durchzuführen. Diese erfolgt innerorts bei zu Beginn 5 °C Kühlmitteltemperatur, die zugehörigen OBD-Daten sind in Abbildung 53 dargestellt. Die Fahrt wird auf ebener Strecke ohne Steigung, mit Stopps an Ampeln und anderen Verkehrszeichen durchgeführt.

Abbildung 53: Stadtfahrt mit maximal 50km/h – OBD-Daten



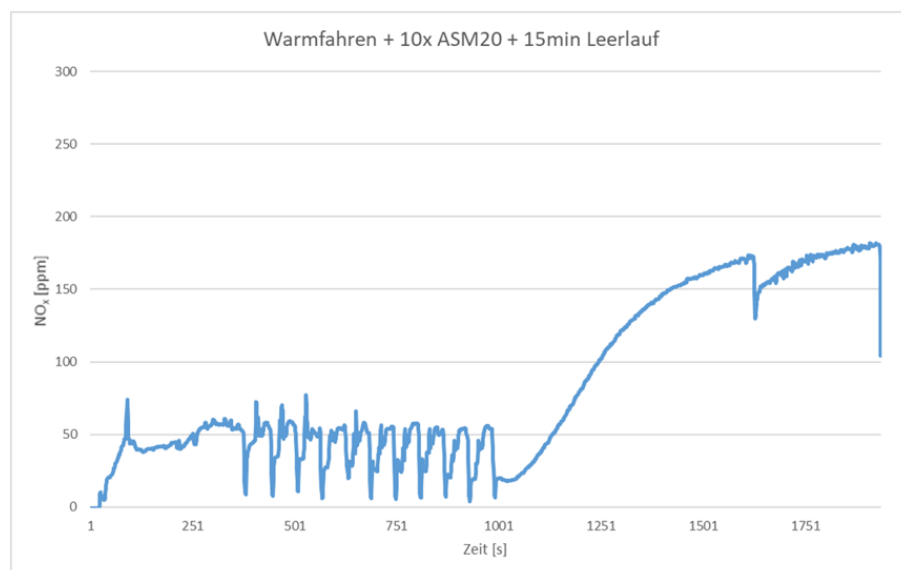
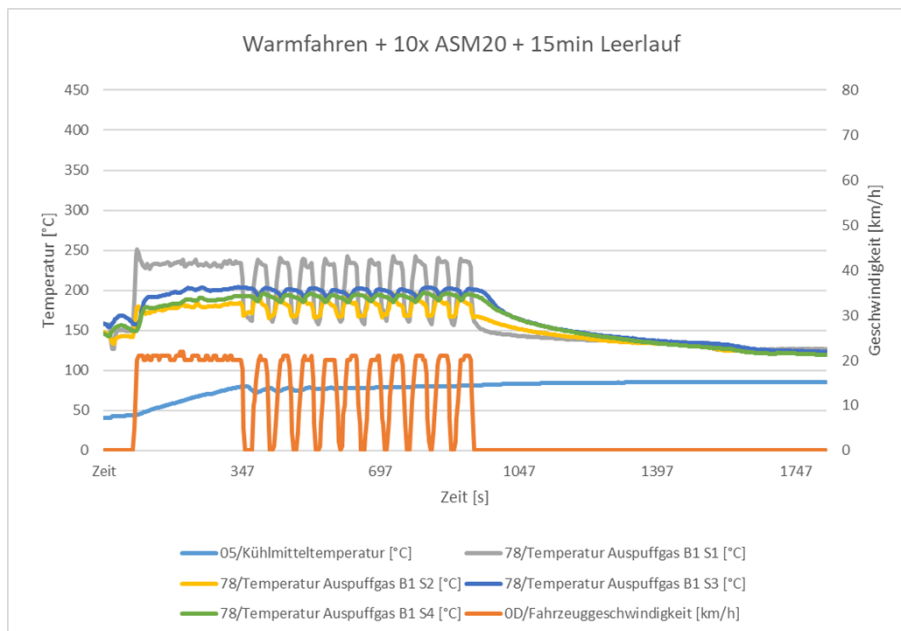
Nach ca. 6 min Fahrt innerorts bei maximal 50 km/h wurde eine SCR-Temperatur von ca. 200 °C erreicht. Die mittlere Geschwindigkeit betrug durch die typischen Start-Stopp-Zyklen an Ampeln und anderen Verkehrsverhältnissen ca. 28,5 km/h. Diese Art der Konditionierung ist zeitintensiv und nicht an allen Prüfstützpunkten bzw. -stellen durchführbar. Deshalb wurde bei den nachfolgend modifizierten Messprozessen insbesondere die Situation alternativer Konditionierungen genauer betrachtet.

4.5.2 Warmfahren + 10 x ASM20 + 15 min Leerlauf

Fahrzeug 19: Renault Kangoo (N1)

Die SCR-Temperatur erreicht in Abbildung 54 a bereits während der vorgeschalteten Warmfahrphase bei 20km/h auf dem Rollenprüfstand nahezu 200 °C, die weiteren Beschleunigungen lassen diese auch nicht mehr signifikant ansteigen. NO_x bleibt wie aus Abbildung 54 b ersichtlich bei ca. 50 ppm (typisch für N1 Fahrzeug). Unmittelbar nach den 10 ASM20-Zyklen sinkt NO_x auf ca. 20 ppm im Leerlauf, die SCR-Temperatur in Abbildung 54 a sinkt relativ rasch (auskühlen SCR), NO_x steigt nach ca. 40 s an, eine Speicherwirkung durch eingespritzten Harnstoff ist vorhanden, jedoch verhältnismäßig kurz.

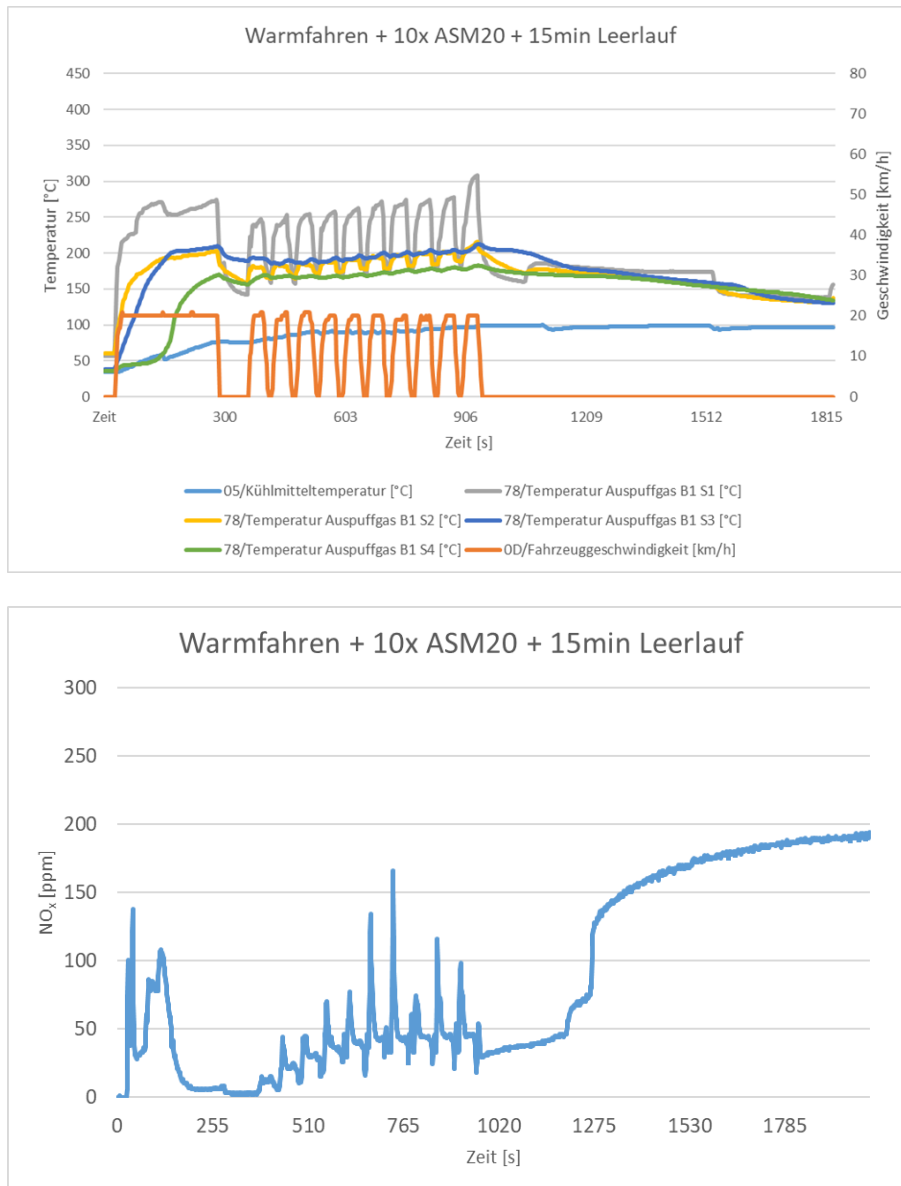
Abbildung 54: Fahrzeug 19 – Warmfahren + 10x ASM20 + 15min Leerlauf – OBD-Daten und NO_x-Verlauf



Fahrzeug 20: Hyundai Tucson

Wie in Abbildung 55 a ersichtlich steigt während der Konstantfahrt mit 20 km/h die Abgastemperatur zwar rasch auf ca. 170 °C an. Die anschließenden ASM20 Zyklen steigern die Temperatur nach 10 ASM-Zyklen nur knapp auf ca. 180 °C. Der NO_x-Wert zeigt im Leerlauf, wie man Abbildung 55 b entnehmen kann, unmittelbar nach den 10 ASM20-Zyklen einen Wert von ca. 10 ppm. Nach ca. 100 s (= Speicherzeit) steigt NO_x durch das Auskühlen des Systems stetig an und erreicht nach ca. 500 s einen Wert von 250 ppm.

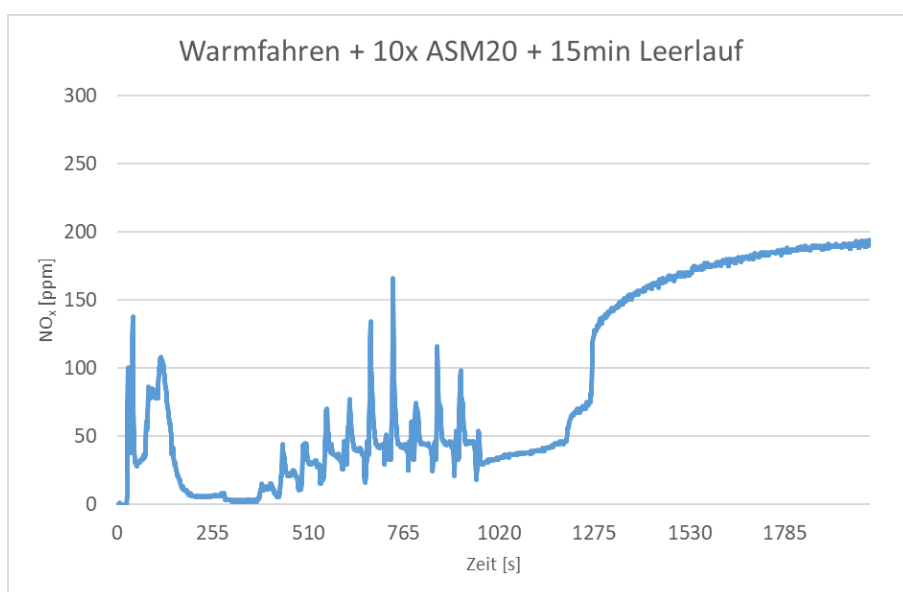
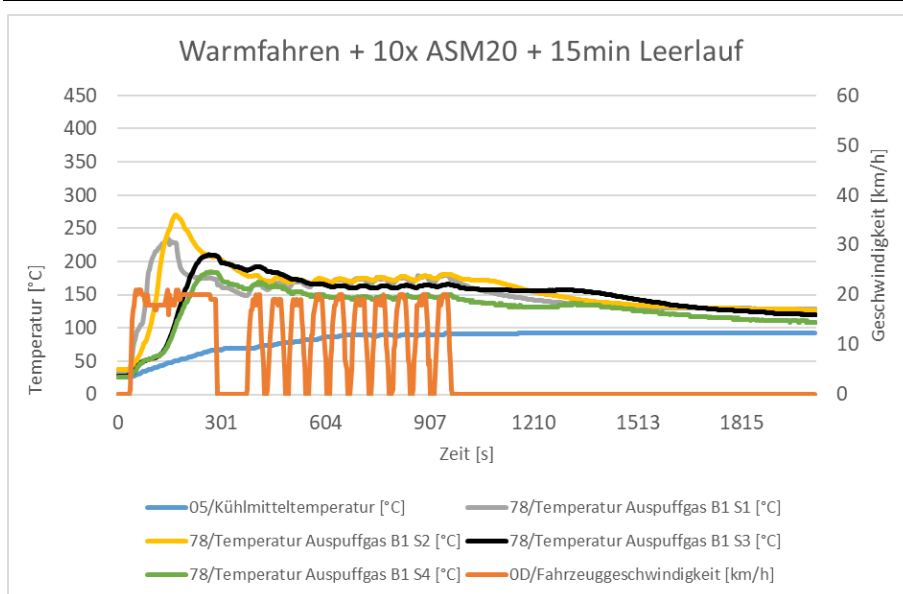
Abbildung 55: Fahrzeug 20 – Warmfahren + 10x ASM20 + 15min Leerlauf – OBD-Daten und NO_x-Verlauf



Fahrzeug 27: Fiat Tipo

Fahrzeug 27 ist hinsichtlich des Temperaturverhaltens auffällig. Die SCR-Temperatur von nahezu 180 °C wird relativ schnell erreicht, bereits am Ende des 240 s dauernden Warmfahrzyklus (Abbildung 56 a), NO_x fällt auf nahezu 0 ppm (Abbildung 56 b). Die weiteren ASM20-Zyklen tragen jedoch nicht mehr zu einer Temperaturerhöhung der SCR-Temperatur bei, mit jedem ASM20-Zyklus kühlt das System weiter aus, die Abgastemperatur fällt unterhalb von 150 °C und die NO_x-Werte steigen mit jedem ASM20-Zyklus wieder auf ca. 50 ppm an. In der anschließenden Leerlauf-Phase und nach einer Speicherzeit von ca. 200 s steigt NO_x stark an, Bei diesem Fahrzeug wird also die Wirkung des SCR-Systems sehr früh nach ca. 250 s erreicht mit einem NO_x-Wert von nahezu 0 ppm. Dies zeigt sehr deutlich, dass die Messung der Abgastemperatur eine wichtige Prozessgröße darstellt. Die Einleitung der Leerlaufphase und der anschließenden Abkühlphase hätte bereits zum Zeitpunkt 250 s beginnen können.

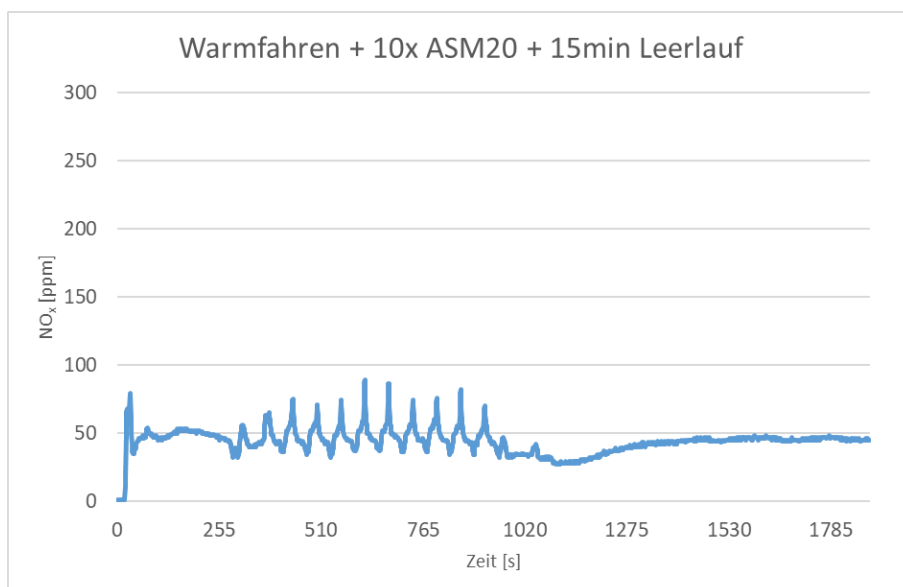
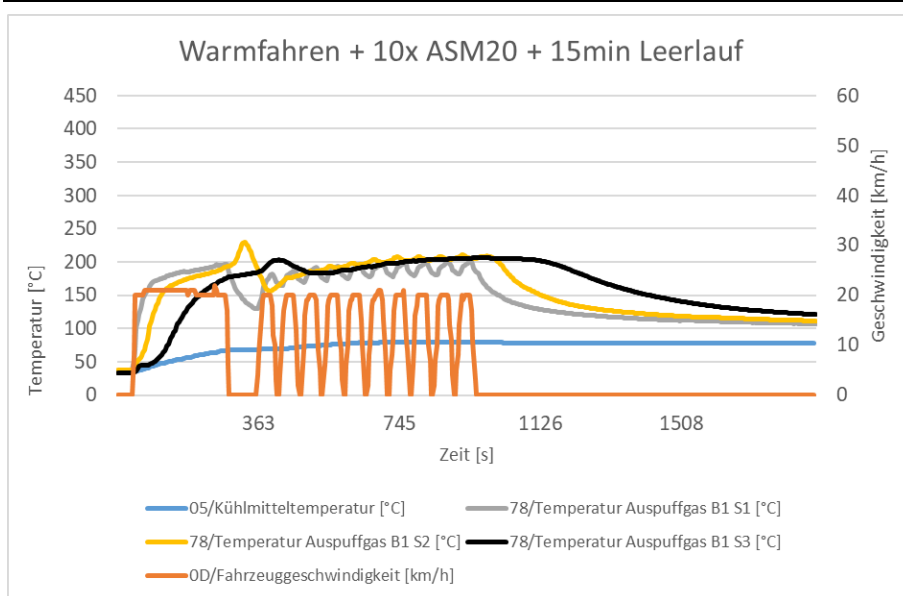
Abbildung 56: Fahrzeug 27 – Warmfahren + 10x ASM20 + 15min Leerlauf – OBD-Daten und NO_x-Verlauf



Fahrzeug 28: Mitsubishi L200

Bei Fahrzeug 28 (N1) wird mit der Methode ASM20 die SCR-Temperatur ebenfalls nach kurzer Zeit erreicht (Abbildung 57 a nach 400 s). Das NO_x-Verhalten bleibt während der gesamten Phase relativ konstant bei 50 ppm wie aus Abbildung 57 b ersichtlich. Das Fahrzeug hat keinen NO_x-Speicherkatalysator. Auch während der Hot Idling Phase am Ende der ASM20-Zyklen ist keine Änderung erkennbar was an sich auf ein fehlendes SCR-System bzw. nicht arbeitendes SCR-System schließen lassen würde. Möglicherweise hängt die Dosierung des Reagenzmittels bei diesem Fahrzeug nicht ausschließlich von der Temperatur, sondern auch von der Motorlast ab. Weitere Auskünfte über dieses Verhalten waren vom Hersteller nicht verfügbar. Ein erwarteter Anstieg der NO_x-Werte nach den zehn ASM20-Zyklen (Zeitpunkt 1000 s ist nicht erkennbar, obwohl die Abgastemperatur deutlich unter 150 °C sinkt).

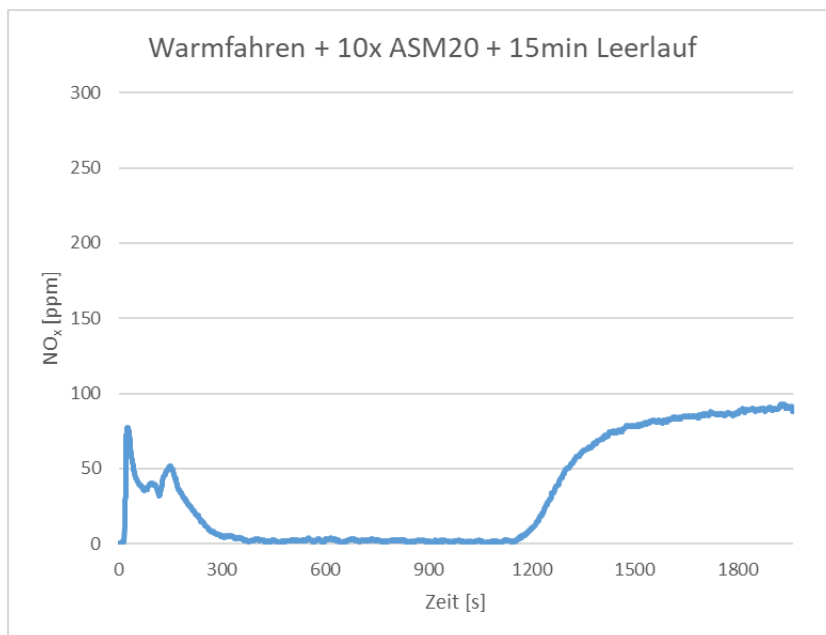
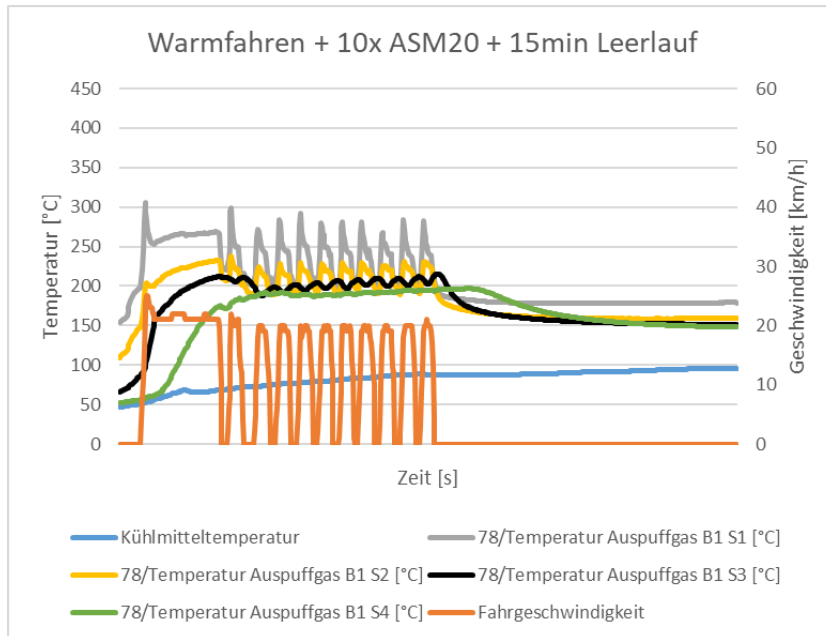
Abbildung 57: Fahrzeug 28 – Warmfahren + 10x ASM20 + 15min Leerlauf – OBD-Daten und NO_x-Verlauf



Fahrzeug 29: VW Touran

Bei Fahrzeug Nr. 29 wird mit der ASM20 Methode in relativ kurzer Zeit (siehe Abbildung 58 a nach ca. 400 s) eine SCR-Temperatur von über 180 °C erreicht. Die NO_x-Werte fallen nahezu auf 0 ppm (siehe Abbildung 58 b). Nach den ASM20-Zyklen und nach einer Speicherzeit von ca. 200 s steigt NO_x erwartungsgemäß durch Abkühlung des Abgassystems stark an.

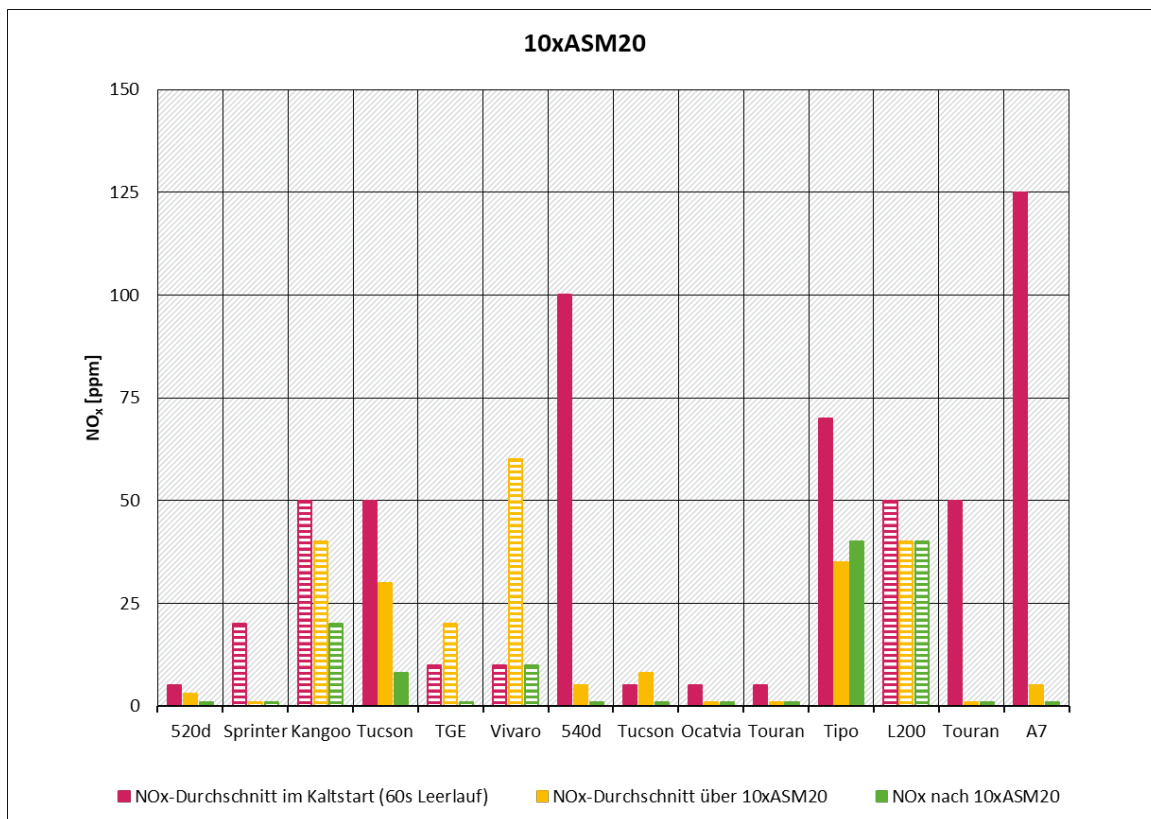
Abbildung 58: Fahrzeug 29 – Warmfahren + 10x ASM20 + 15min Leerlauf – OBD-Daten und NO_x-Verlauf



Vergleich der NO_x-Durchschnittswerte bei den ASM20-Zyklen

Um die untersuchten Fahrzeuge und die eingesetzten Methoden ASM20 und Kurzstrecke untereinander zu vergleichen, wurden Säulengrafiken erstellt. Die dargestellten Mittelwerte wurden der Einfachheit halber nicht mathematisch ermittelt, sondern anhand des zeitlichen Verlaufs der NO_x-Werte aus den Grafiken (Fahrzeug 17-30, siehe Abbildung 79) abgeleitet. Diese Vorgehensweise erfolgte für alle nachfolgenden Säulendiagramme.

Abbildung 59: Fahrzeugvergleich über 10xASM20



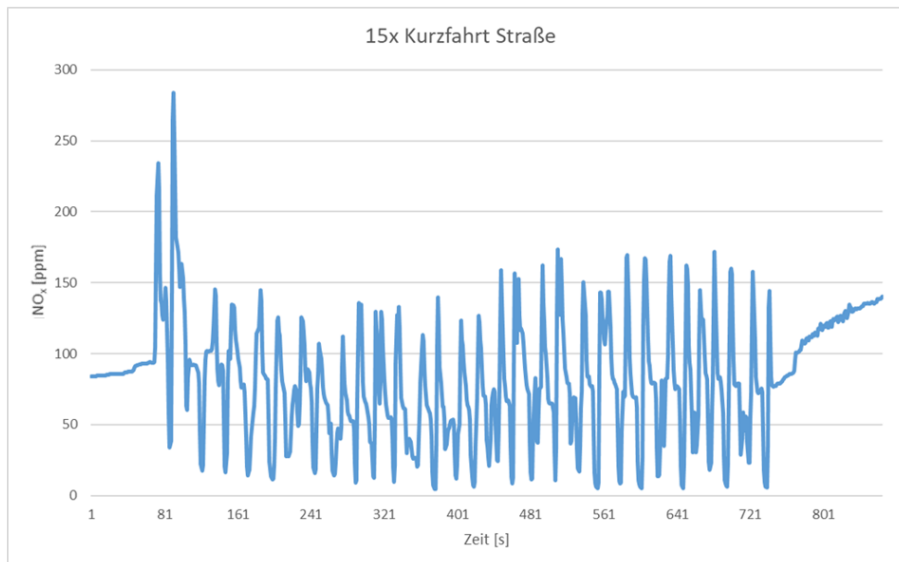
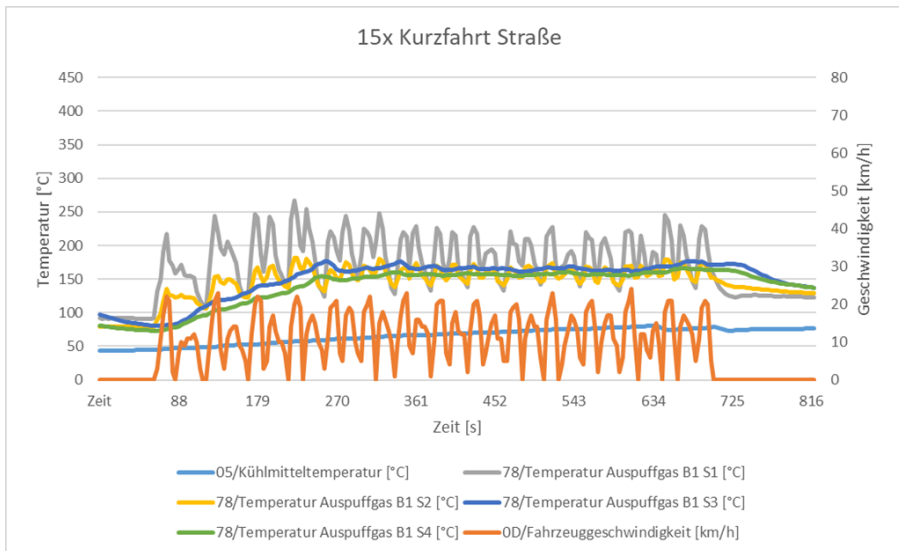
Das Säulendiagramm in Abbildung 59 zeigt NO_x-Mittelwerte im Kaltstart (rote Säule), Mittelwerte über die 10 ASM20-Zyklen (gelbe Säule), sowie den NO_x-Wert nach den 10 ASM20-Zyklen im Leerlauf (grüne Säule). Um Unterschiede zwischen den Fahrzeugklassen zu verdeutlichen sind Fahrzeuge der Klasse M1 einfarbig und Fahrzeuge der Klasse N1 gestreift dargestellt. Man sieht sehr deutlich, dass die NO_x-Werte in der Regel am Ende der ASM-Zyklen bei nahezu 0 ppm bzw. unter 25 ppm liegen. Der Fiat Tipo ist abweichend, bei genauer Analyse aber vergleichbar, da bei den ASM-Zyklen eine Auskühlung erfolgt, das SCR-System aber bereits viel früher seine Temperatur erreicht hat und somit niedrige NO_x-Werte deutlich früher erreicht wurden (siehe hierzu Abbildung 56). Man hätte also die Messung beim Erreichen der 180 °C beenden können. Der Mitsubishi L200 verhält sich untypisch, über den gesamten Messzyklus ist keine Änderung der NO_x-Emissionen festzustellen (siehe hierzu Fahrzeug 28 Abbildung 57 und Text).

4.5.3 15x Kurzfahrt Straße

Fahrzeug 19: Renault Kangoo

Beim Fahrzeug Nr. 19 war es nicht möglich, das Abgassystem ausreichend zu konditionieren. Die Maximaltemperatur wie in Abbildung 60 a von ca. 10 °C wird nach ungefähr 270 s erreicht und bleibt während der gesamten Kurzfahrten nahezu konstant. Wie in Abbildung 60 b zu erkennen ist, bleibt der NO_x-Durchschnittswert über alle 15 Kurzfahrten bei rund 70 ppm.

Abbildung 60: Fahrzeug 19 – 15x Kurzfahrt Straße – OBD-Daten und NO_x-Verlauf

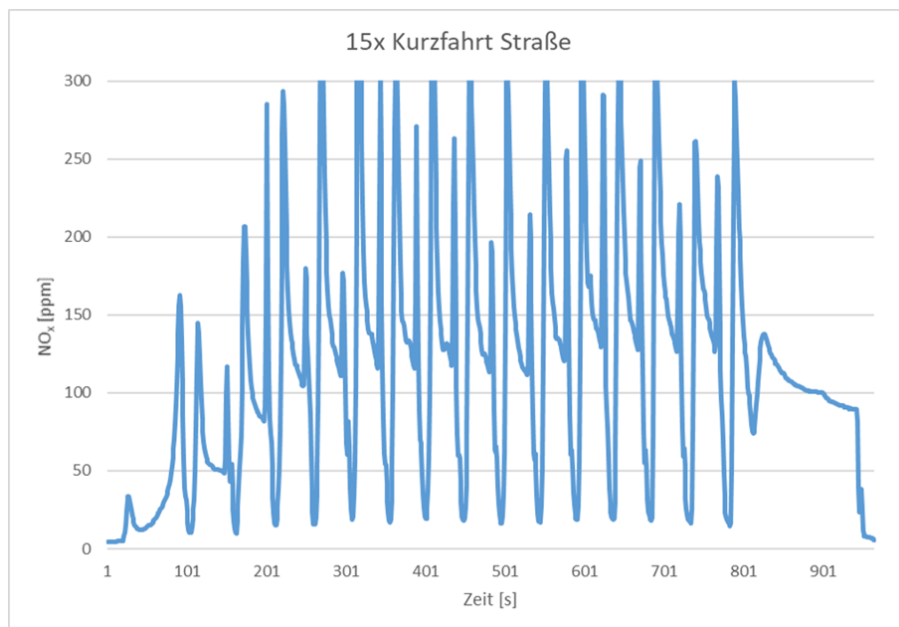
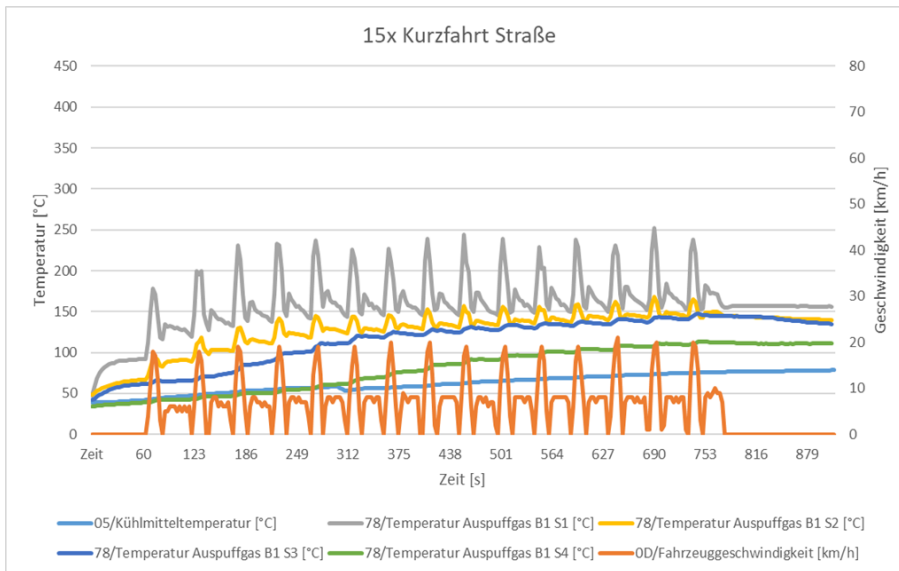


Fahrzeug 20: Hyundai Tucson

Auch bei Fahrzeug 20 wurde die erforderliche Abgastemperatur im SCR-System deutlich unterschritten.

Am Ende der 15 Kurzfahrten beträgt die Abgastemperatur an der letzten Sonde (S4) nur ca. 110 °C (siehe Abbildung 61a). Die NO_x-Werte (Abbildung 61 b) sind mit durchschnittlich 125 ppm (rote Linie) entsprechend hoch. Während der Beschleunigungen konnten sogar Maximalwerte (Peaks) von bis zu 400 ppm gemessen werden.

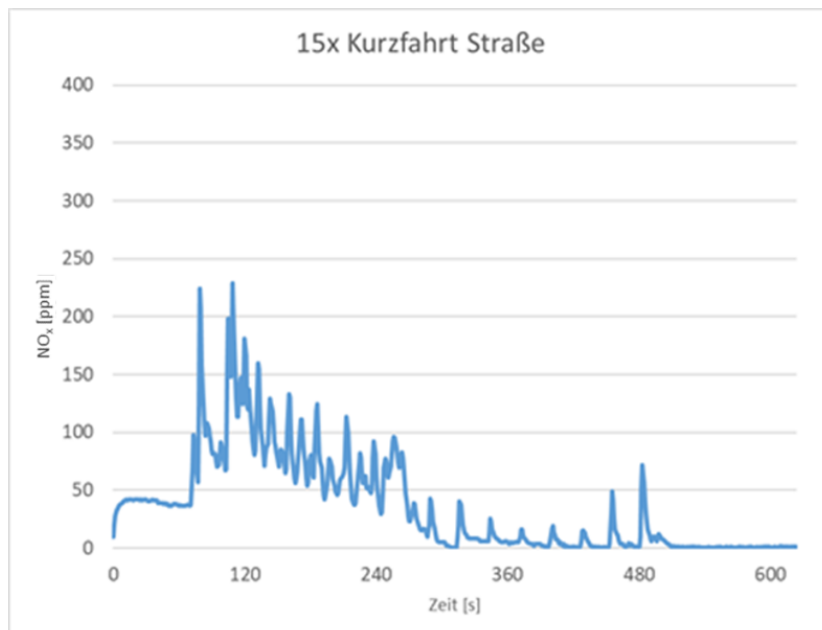
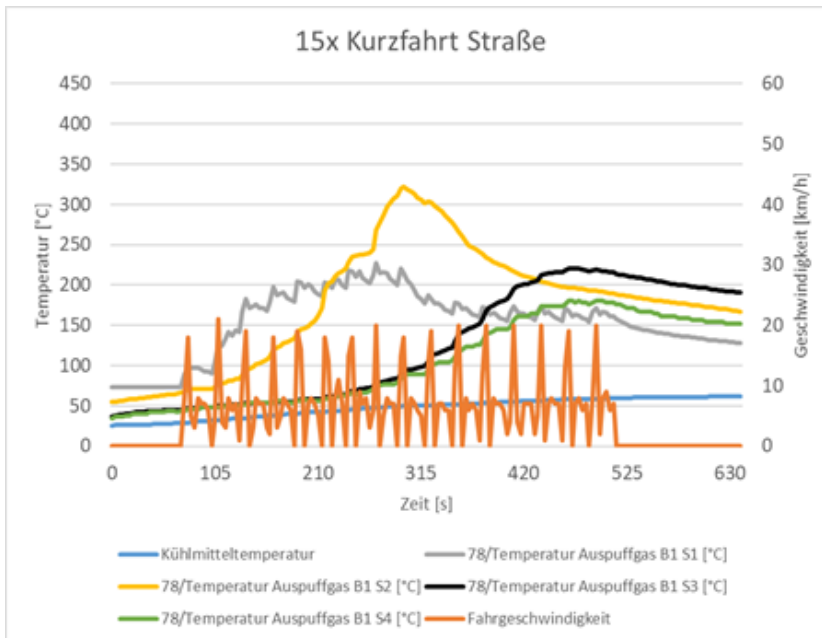
Abbildung 61: Fahrzeug 20 – 15x Kurzfahrt Straße – OBD-Daten und NO_x-Verlauf



Fahrzeug 27: Fiat Tipo

Fahrzeug Nr. 27 erreicht bei den Kurzfahrten nach ca. 500 s, wie in Abbildung 62 a ersichtlich, eine Abgastemperatur von 180 °C an der letzten Sonde (S4). Die Stickstoffoxide in Abbildung 62 b konnten allerdings bereits nach ca. 300 s nahezu vollständig reduziert werden. Dies belegt auch nochmals eindeutig die These und Folgerung wie bei der Messung mit dem ASM20 Zyklus beschrieben, dass diese Temperaturbedingung von 180 °C bereits während der Aufwärmphase erreicht wird und mit den ASM20-Zyklen danach wieder eine Auskühlung erfolgt (Abbildung 56).

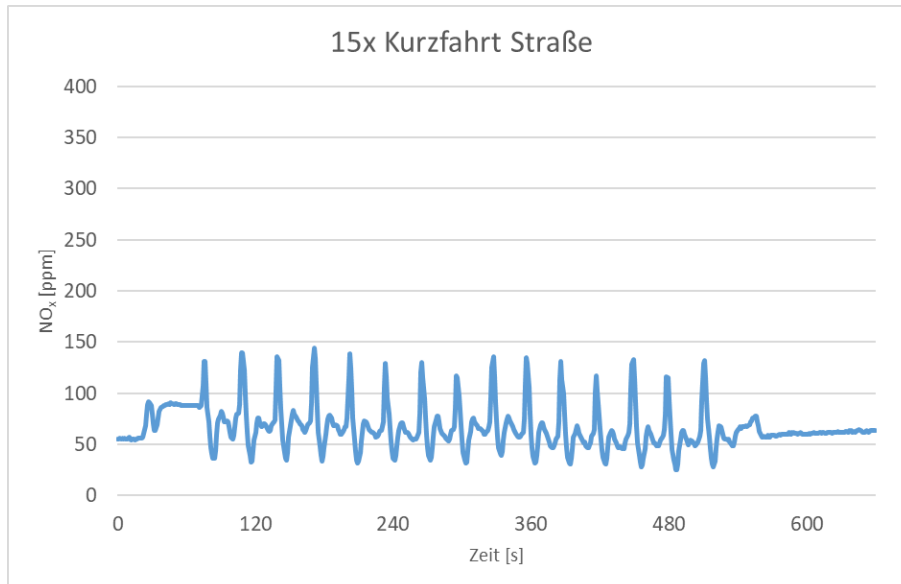
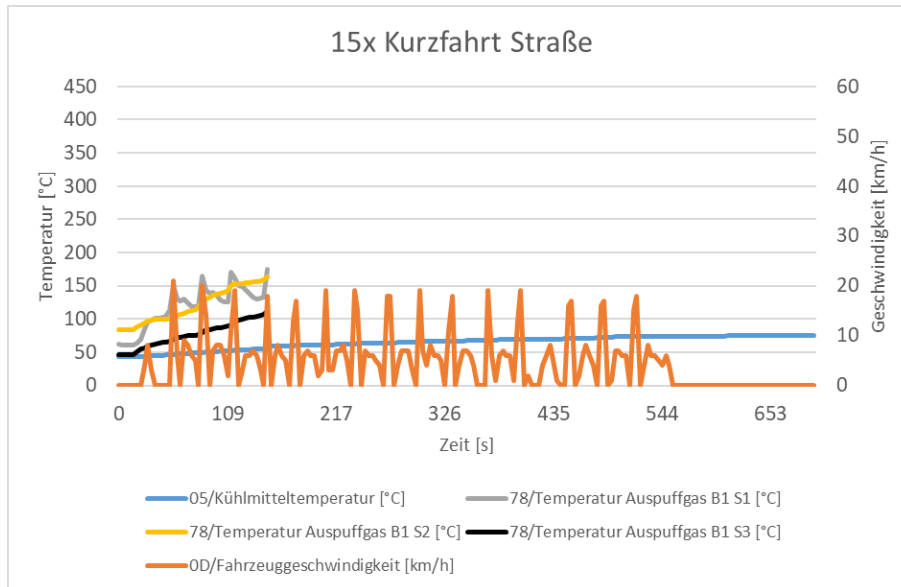
Abbildung 62: Fahrzeug 27 – 15x Kurzfahrt Straße – OBD-Daten und NO_x-Verlauf



Fahrzeug 28: Mitsubishi L200

Fahrzeug Nr. 28 zeigt bei der Kurzfahrt (Abbildung 63 a mit Kühlmitteltemperatur und Fahrgeschwindigkeit) das gleiche Verhalten wie beim ASM20 Zyklus (siehe Abbildung 57 b), wie in Abbildung 63 b ersichtlich, ändert sich der Wert von 50 ppm über den gesamten Zyklus überhaupt nicht, auch am Ende in der Leerlaufphase bleibt dieser Wert unverändert auf dem gleichen Niveau. Mögliche Gründe sind unter Abbildung 57 beschrieben.

Abbildung 63: Fahrzeug 28 – 15x Kurzfahrt Straße – OBD-Daten und NO_x-Verlauf

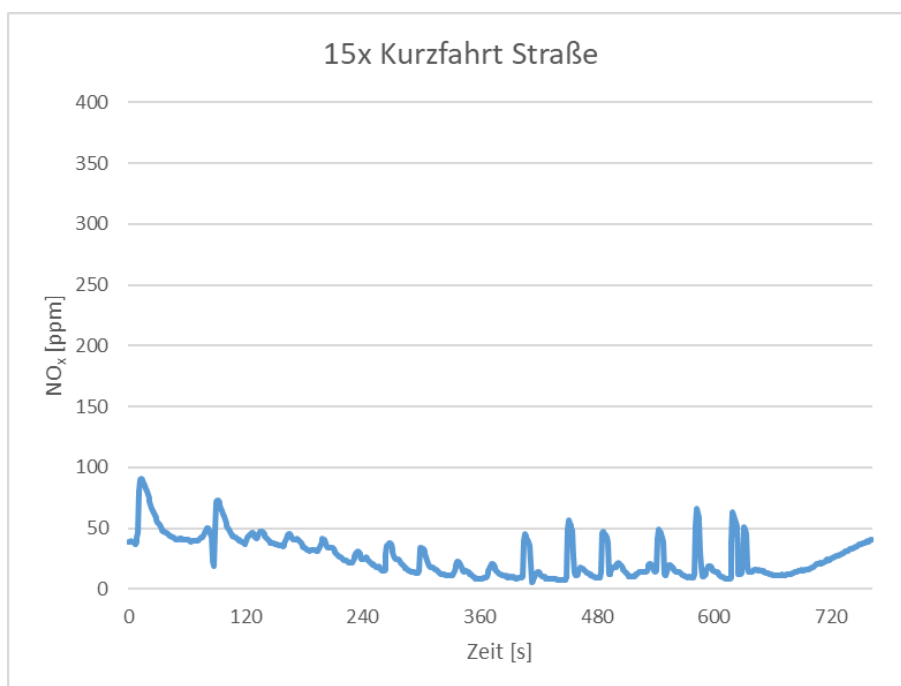
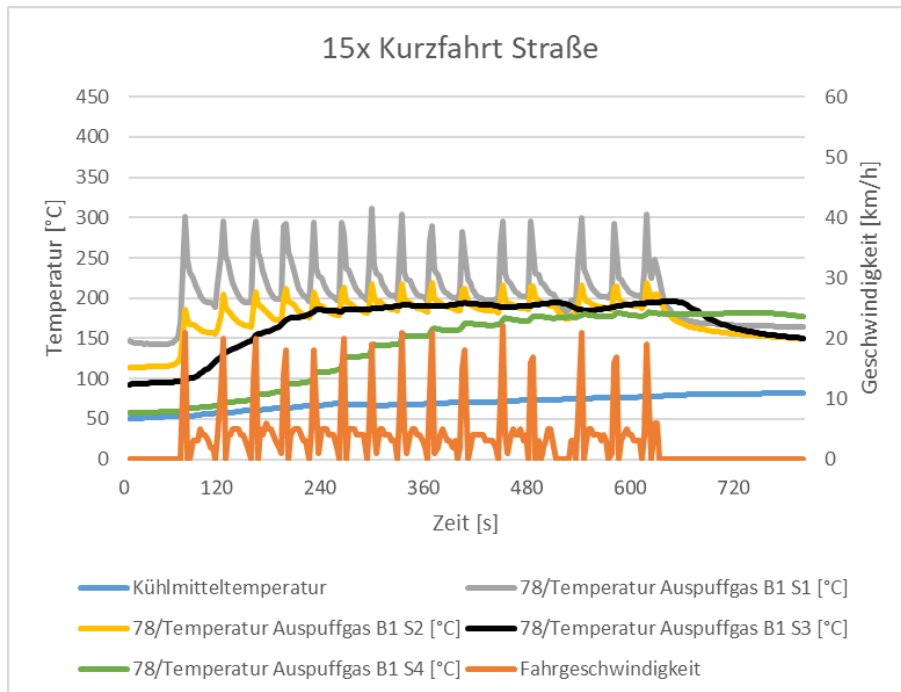


Fahrzeug 29: VW Touran

Auch bei Fahrzeug Nr. 29 wurde die Abgastemperatur von 180 °C bei Sonde 4 nur knapp bzw. am Ende der 15 Kurzfahrten erreicht (siehe Abbildung 64 a).

Das Lastmoment bei den Kurzfahrten kann das System im Gegensatz zum ASM20-Zyklus wie in Abbildung 58 beschrieben bei den 15 Straßenkurzfahrten nicht immer auf die notwendige Temperatur von 200 °C bringen. NO_x sinkt während der Kurzfahrt kontinuierlich, wie man Abbildung 64 b entnehmen kann von ca. 50 ppm auf ca. 15 ppm und steigt im anschließenden Leerlauf nach Auskühlung wieder an.

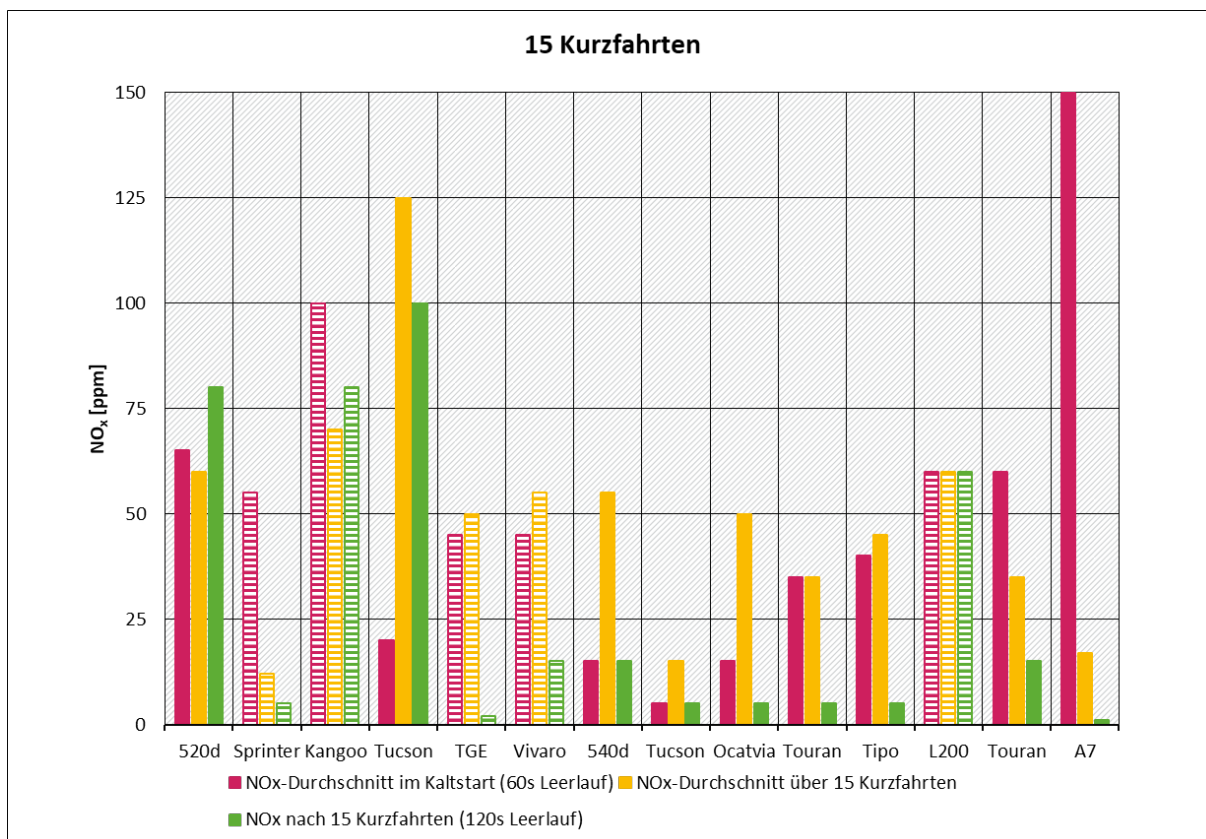
Abbildung 64: Fahrzeug 29 – 15x Kurzfahrt Straße – OBD-Daten und NO_x-Verlauf



Vergleich der NO_x-Durchschnittswerte während Kurzfahrt

Um die untersuchten Fahrzeuge untereinander vergleichen zu können, wurde wie bei der ASM20-Messung auch (siehe Abbildung 59) ein Säulendiagramm erstellt. Die dargestellten Mittelwerte wurden der Einfachheit halber nicht mathematisch ermittelt, sondern anhand des zeitlichen Verlaufes der NO_x-Werte aus den Grafiken abgeleitet (Abbildung 79).

Abbildung 65: Fahrzeugvergleich über 15x Straßenkurzfahrt



Das Säulendiagramm in Abbildung 65 zeigt NO_x-Mittelwerte im Kaltstart (rote Säule), Mittelwerte über die 15 Kurzfahrten (gelbe Säule), sowie den NO_x-Wert nach den 15 Kurzfahrten im Leerlauf (grüne Säule). Um Unterschiede zwischen den Fahrzeugklassen zu verdeutlichen, sind Fahrzeuge der Klasse M1 einfarbig und Fahrzeuge der Klasse N1 gestreift dargestellt. Bei den meisten Fahrzeugen war es nicht möglich, das Abgassystem für eine ausreichende NO_x-Reduktion zu konditionieren. Nur bei 10 der 16 Fahrzeuge konnten in der Leerlaufphase NO_x-Durchschnittswerte unter 20 ppm erreicht werden. Die durchschnittlichen NO_x-Werte während den 15 Kurzfahrten mit 20 km/h vorwärts/rückwärts lagen in der Regel zwischen 20 und 60 ppm und damit ebenfalls relativ hoch. Drei Fahrzeuge (Fahrzeug 17 BMW 520d, Fahrzeug 19 Renault Kangoo, Fahrzeug 20 Hyundai Tucson) erreichten die SCR-Temperatur von 180 °C nicht, so dass NO_x auch in der Leerlaufphase nach der Messung noch hoch blieb (grüne Säule). Fahrzeug 28 (Mitsubishi L200) zeigte bei der Kurzfahrt das gleiche untypische Verhalten wie beim ASM20-Zyklus.

4.6 Messungen an Fahrzeugen mit Fehlersimulation am SCR-System

Der Zusammenhang zwischen NO_x-Messungen für ein Fahrzeug mit intaktem SCR-System und verschiedenen Beschädigungen eines SCR-Systems wird in diesem Abschnitt untersucht.

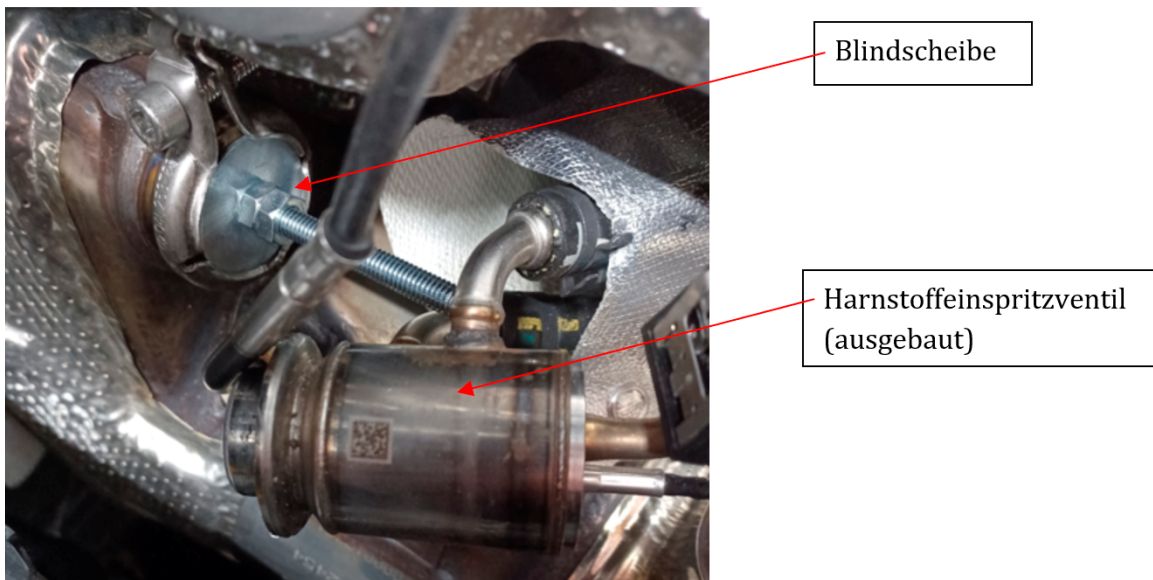
Unterdrücken der Reduktionsmittel-Einspritzung durch Unterbrechen der elektrischen Ansteuerung

Das Abziehen des Steckers trennt die elektrische Verbindung zwischen dem Harnstoff-Einspritzventil und dem Steuergerät. Demzufolge wird kein Reduktionsmittel mehr in das SCR-System eingespritzt. Ein Nachteil dieser Methode ist, dass das Abziehen des Steckers vom Steuergerät erkannt und gespeichert wird. Aufgrund dieser Fehlfunktion, die vom Steuergerät erkannt wird, nimmt das Steuergerät von sich aus Korrekturen in der Regelung vor bzw. setzt „Default-Werte“ ein, die in einem bestimmten Lastbereich die NO_x-Werte anpassen.

Unterdrücken der Harnstoffeinspritzung durch Ausbau des Einspritzventils

Um die Harnstoffeinspritzung zu unterbinden, kann das Harnstoff-Einspritzventil auch komplett ausgebaut werden. Das Einspritzventil wird dazu in einen Behälter gesteckt, um die austretende Flüssigkeit aufzufangen. Das offene Rohr im Abgassystem wird mit einer Blindscheibe abgedichtet (Abbildung 66). Diese besteht aus einer Unterlegscheibe, die mit einer Schraube und mehreren Muttern zusammengehalten und mit einer Schelle fixiert wird. Um die Funktion des Einspritzventils weiterhin zu gewährleisten, müssen alle Stecker und Anschlüsse mit dem Ventil verbunden bleiben. Dies ermöglicht die Simulation eines defekten SCR-Systems, die zunächst nicht vom Motorsteuergerät erfasst wird.

Abbildung 66: Demontage des Harnstoffeinspritzventils und Abdichtung der Öffnung

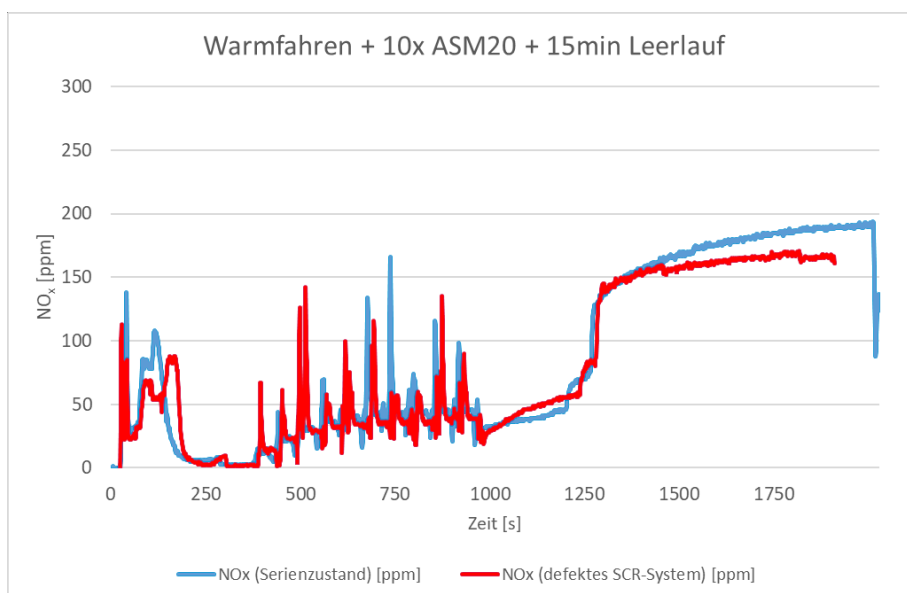
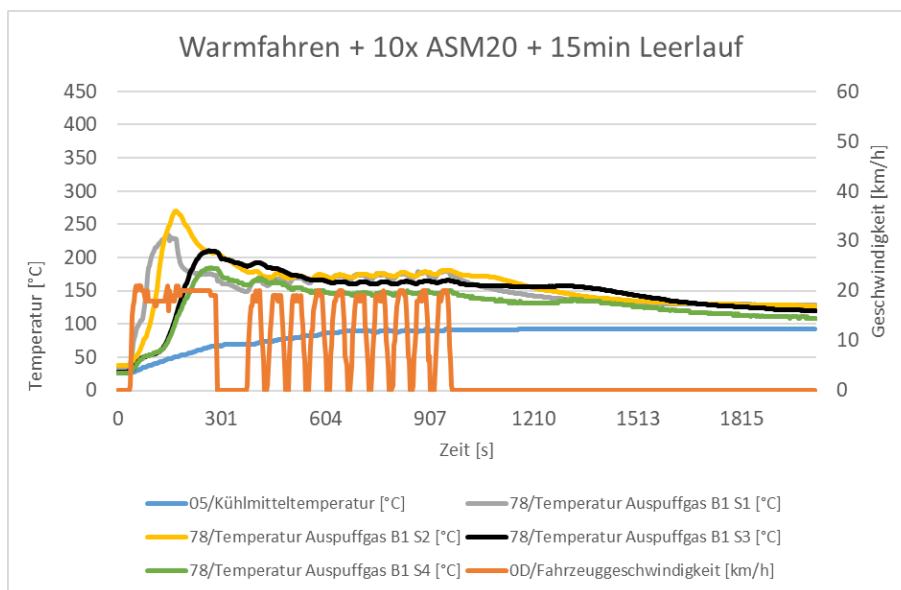


4.6.1 Warmfahren + 10x ASM20 + 15min Leerlauf

Fahrzeug 27: Fiat Tipo

Abbildung 67 a zeigt, aufgenommen über OBD, die Kühlmitteltemperatur, die Temperaturen der 4 verbauten Abgassonden, sowie die Fahrgeschwindigkeit. Die beiden Kurven in Abbildung 67 b, die den Serienzustand und den Fehlerverbaue zeigen, sind nahezu identisch. Scheinbar wirkt sich der Fehler nicht auf das NO_x-Verhalten aus. Dieser Effekt tritt auf, wenn der Stecker des Reagenz-Systems nur elektrisch getrennt wird. Erst eine längere Fahrt könnte den SCR-Katalysator völlig vom Reagenz befreien bzw. Rückstände aufbrauchen. Bei den Messungen zeigte sich, dass eine nicht unerhebliche Speicherfähigkeit des Reagenzmittels auftreten kann. Bei der Kurzfahrt, dargestellt in Abbildung 71, sieht man einen deutlichen Unterschied zwischen dem Serienzustand und der Fehlersimulation, da hier der SCR-Katalysator völlig von Restreagenz befreit ist.

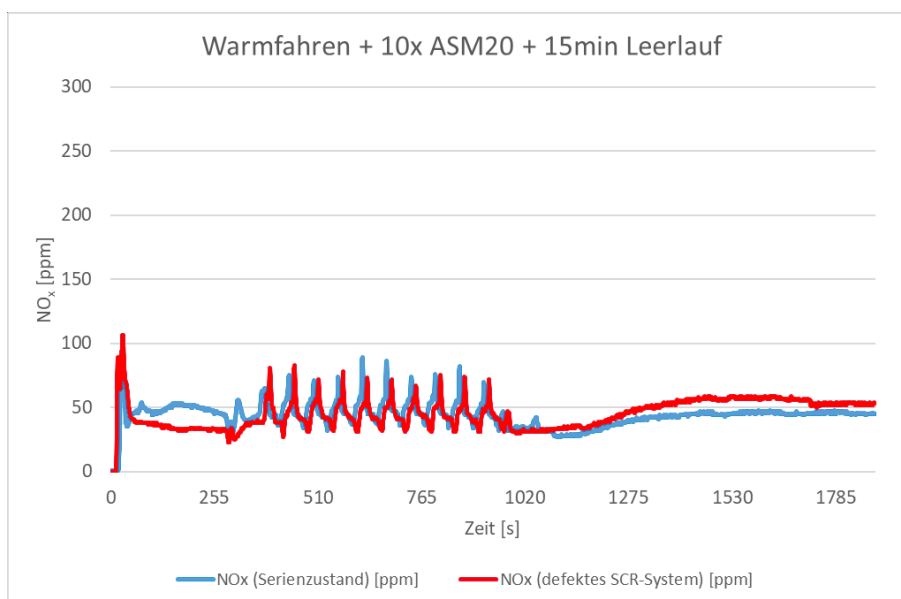
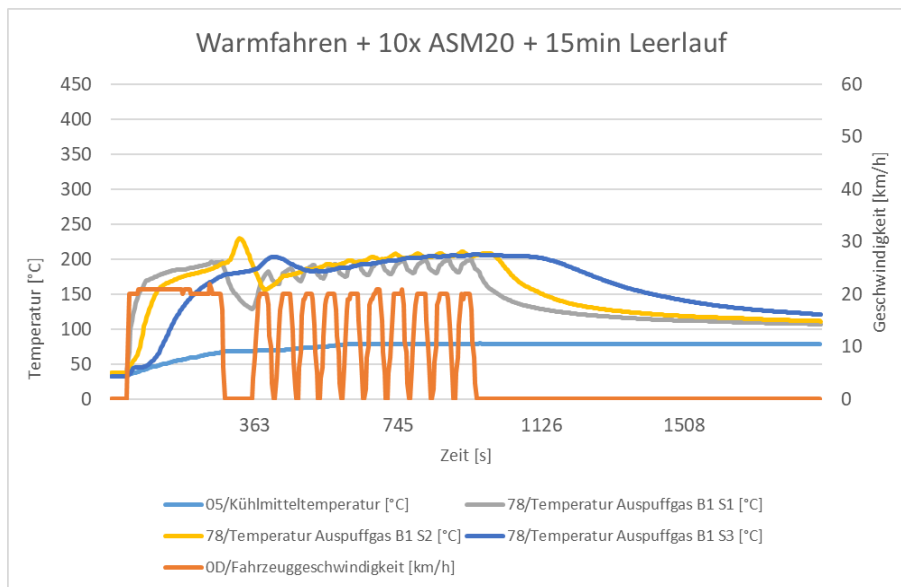
Abbildung 67: Messung zu Fehlersimulation an Fahrzeug 27: 10x ASM20



Fahrzeug 28: Mitsubishi L200

Fahrzeug 28 zeigte sowohl im ASM20-Zyklus (Abbildung 57) als auch bei den 15 Straßenkurzfahrten (Abbildung 63 – vorwärts/rückwärts) ein völlig untypisches Verhalten mit einem fast unveränderten NO_x-Wert von ca. 50 ppm über alle Phasen hinweg. Abbildung 68 a zeigt die drei Abgastemperatursonden, die Kühlmitteltemperatur, sowie die Fahrgeschwindigkeit über OBD. Auch bei der Simulation eines Fehlers im SCR-System zeigte sich kein Unterschied im NO_x-Verhalten (Abbildung 68 b). Dies untermauert die Annahme, dass die Aktivierung des SCR-Systems bei diesem Fahrzeug nicht ausschließlich von der SCR-Temperatur abhängt, sondern auch der Lastzustand Einfluss auf das SCR-System hat. Weitere Auskünfte über dieses Verhalten waren vom Hersteller nicht verfügbar.

Abbildung 68: Messung zur Fehlersimulation an Fahrzeug 28: 10 x ASM20



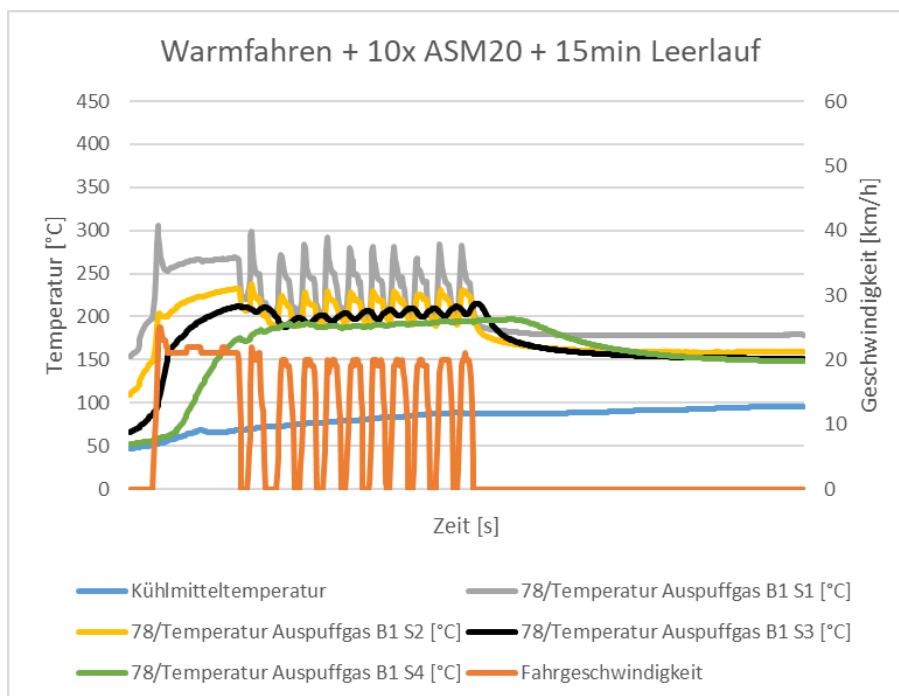
Fahrzeug 29: VW Touran

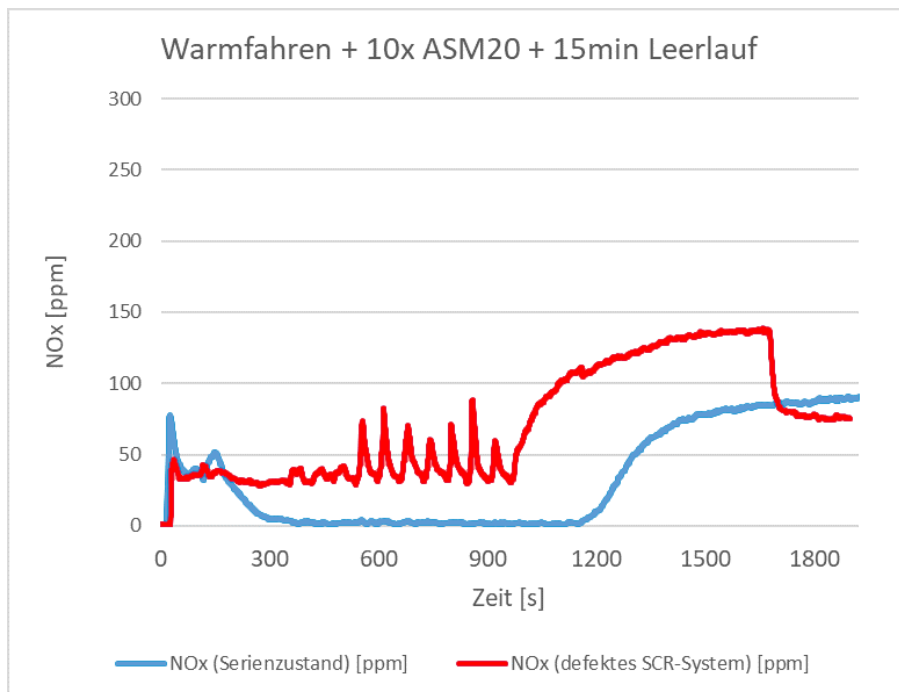
Bei Fahrzeug Nr. 29 konnten zwischen den Messungen im Serienzustand und bei defektem SCR-System deutliche Unterschiede gemessen werden. Abbildung 69 b zeigt den NO_x-Verlauf zwischen Serienzustand (blaue Kurve) und Fehlersimulation (rote Kurve). Da die Temperatur- und der Geschwindigkeitsverläufe bei beiden Messungen identisch sind, wurde in Abbildung 69 a der Verlauf im Serienzustand dargestellt.

Im Serienzustand sieht man in Abbildung 69 b (blaue Kurve) unmittelbar nach dem Start einen NO_x-Wert von ca. 40 ppm, der nach dem Einsatz des NO_x-Speicherkatalysators bis auf 0 ppm abnimmt. Nach dem Ende der ASM-Zyklen und Einleiten des Leerlaufs bleibt NO_x aufgrund des noch eingelagerten Harnstoffes für ca. 200 s auf dem niedrigen Niveau von 0 ppm. Erst nach dieser Zeitspanne und mit Auskühlen des Fahrzeuges steigt NO_x auf ca. 100 ppm an.

Im Fehlerfall durch Wegnahme der Harnstoffeinspritzung (rote Kurve in Abbildung 69 b) zeigt sich unmittelbar nach dem Start ebenfalls ein NO_x-Wert von ca. 40 ppm, der jedoch während der ASM20-Zyklen auf dem Niveau von 40 ppm bleibt und unmittelbar nach Einleiten der Leerlaufphase am Ende der ASM20-Zyklen sofort ansteigt auf ca. 140 ppm (keine Speicherwirkung durch eingelagerten Harnstoff).

Abbildung 69: Messung zu Fehlersimulation an Fahrzeug 29: 10x ASM20

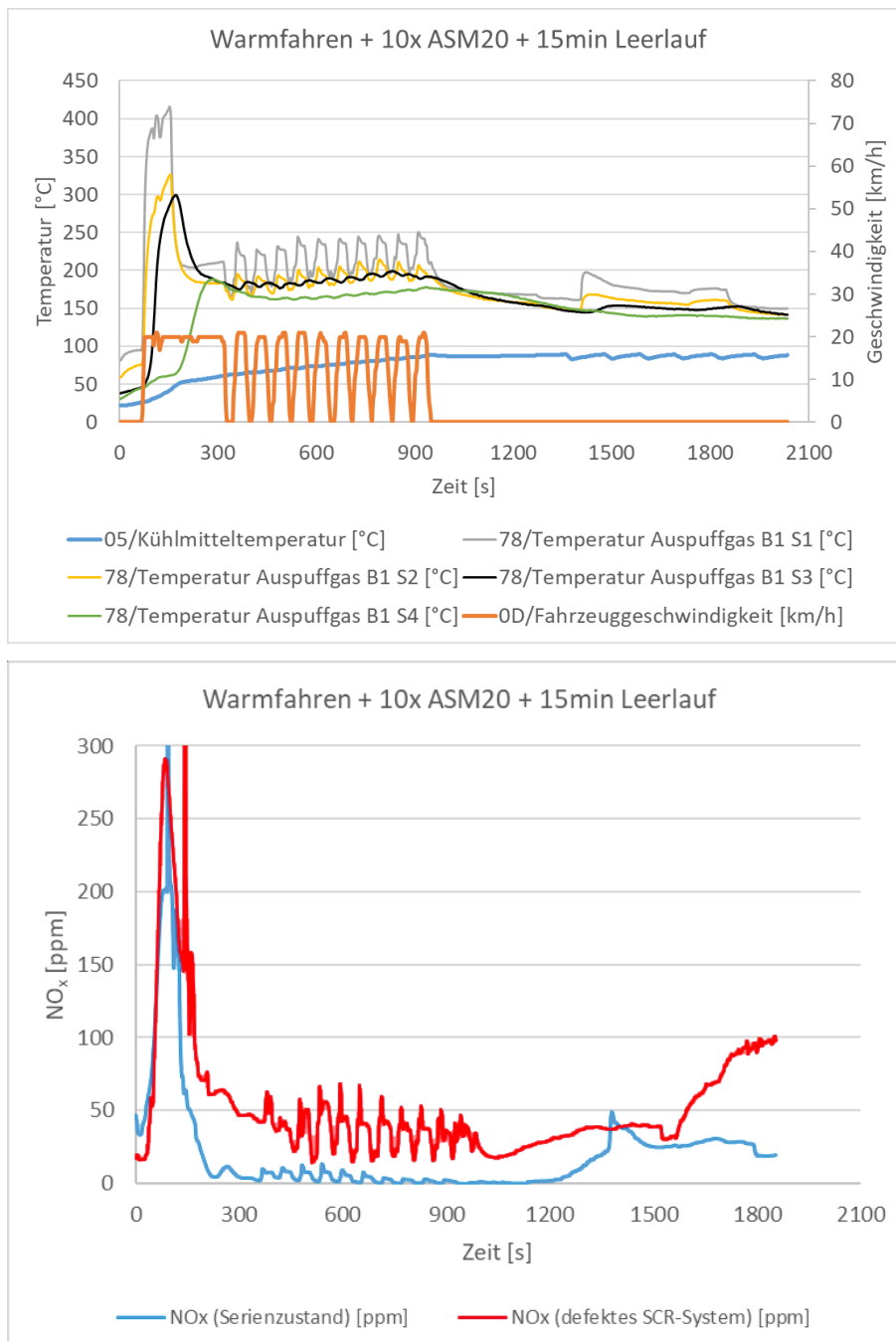




Fahrzeug 30: Audi A7

Bei Fahrzeug Nr. 30 sind ebenfalls deutliche Unterschiede zu erkennen. Bei kaltem Motor ist die NO_x-Emission zunächst nahezu identisch (Abbildung 70 b Peak am Anfang). Mit zunehmender Abgastemperatur sinkt die NO_x-Emission im Serienzustand auf 0 ppm (blaue Kurve Abbildung 70 b), während sich bei der Messung mit Fehlersimulation ein NO_x-Wert von ca. 40 ppm einstellt. Auch im Leerlauf, unmittelbar nach den ASM20-Fahrzyklen, sind Unterschiede zu erkennen. Während das Abgasnachbehandlungssystem im Serienzustand die NO_x-Emissionen noch ungefähr 5 min auf dem Wert von 0 ppm halten kann, steigt der NO_x-Wert bei der Fehlersimulation unmittelbar nach den ASM20-Zyklen von ca. 20 ppm am Ende auf ca. 40 ppm an. Ca. 10 min nach den ASM20-Zyklen steigt NO_x nochmals stark an auf 100 ppm. Abbildung 70 a zeigt die Temperaturverläufe und das Fahrprofil aufgezeichnet über OBD.

Abbildung 70: Messung zu Fehlersimulation an Fahrzeug 30: 10x ASM20

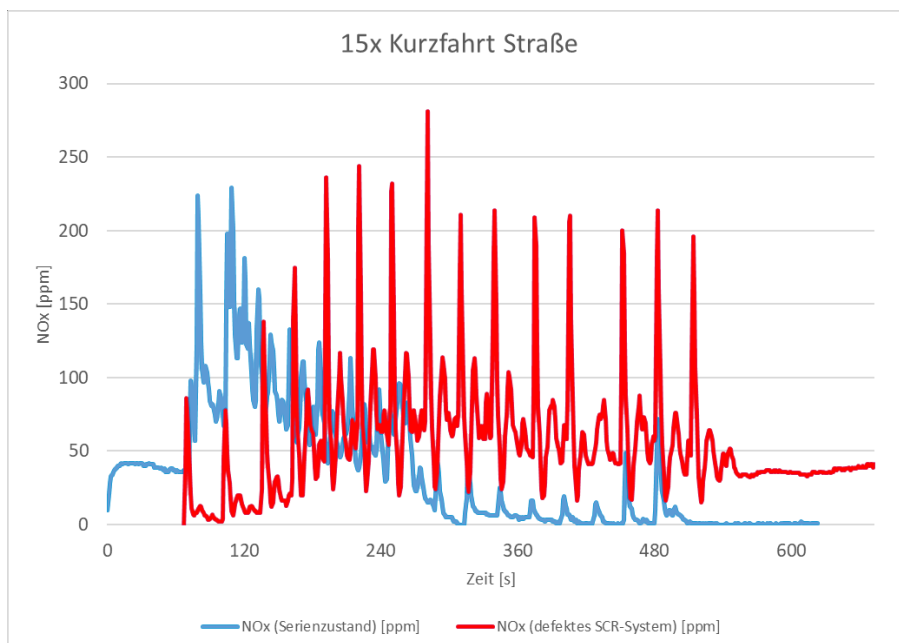
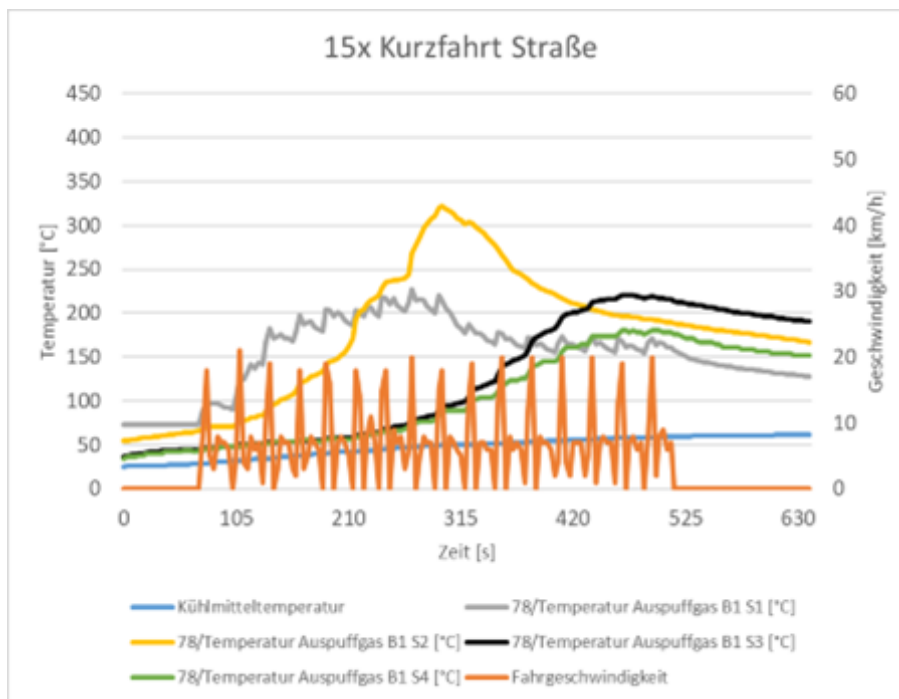


4.6.2 15 x Kurzfahrt Straße

Fahrzeug 27: Fiat Tipo

Im Gegensatz zum ASM20 Zyklus zeigt sich bei Fahrzeug Nr. 27 bei der Kurzstrecke ein deutlicher Unterschied von ca. 50 ppm zwischen Serienstand und Fehlerverbau wie man Abbildung 71 b entnehmen kann. Während im Serienzustand NO_x mit zunehmender SCR-Temperatur bis auf 0 ppm abnimmt, steigt NO_x bei dem Fahrzeug mit eingebautem Fehler an bis auf ca. 70 ppm und stabilisiert sich dann bei ca. 50 ppm. Der Unterschied zwischen Serienzustand und Fehlerverbau ist in der Leerlaufphase nach der Kurzstreckenfahrt sehr deutlich mit ca. 40 ppm erkennbar. Eine SCR-Temperatur von ca. 180 °C wird, wie man Abbildung 71 a entnehmen kann erst zum Ende der Kurzstreckenfahrt erreicht.

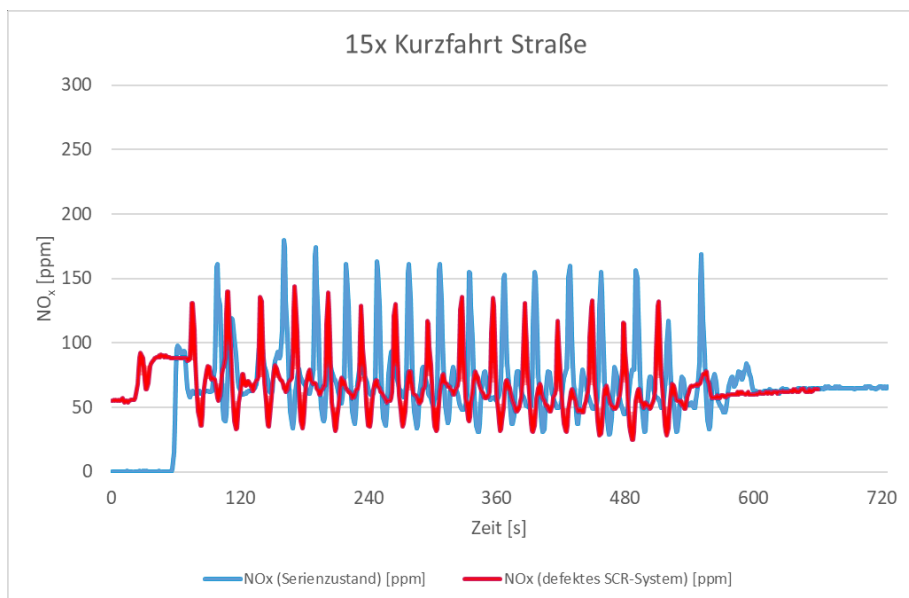
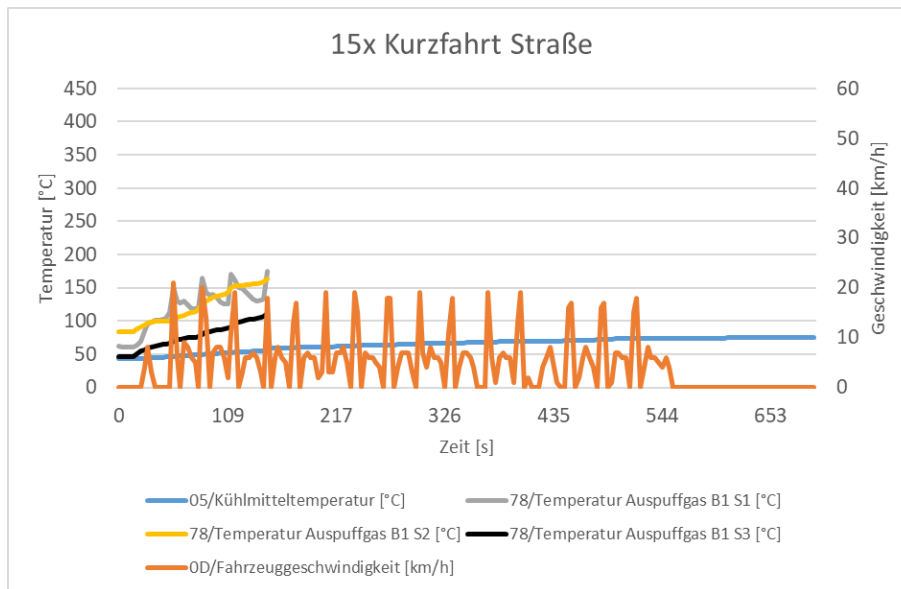
Abbildung 71: Messung zu Fehlersimulation an Fahrzeug 27: 15x Kurzfahrt



Fahrzeug 28: Mitsubishi L200

Fahrzeug Nr. 28 verhält sich beim Fehlerverbau wiederum genauso untypisch wie bei den Messungen ASM20 (Abbildung 57 b), Kurzstrecke (Abbildung 63 b) oder ASM20 mit Fehlerverbau (Abbildung 68 b). Auch bei der Kurzstreckenfahrt mit Fehlerverbau ist der NO_x-Verlauf wie man Abbildung 72 b entnehmen kann über den gesamten Zyklus unverändert und gleicht dem ohne Fehlerverbau. Auf mögliche Ursachen ist unter Abbildung 68 hingewiesen.

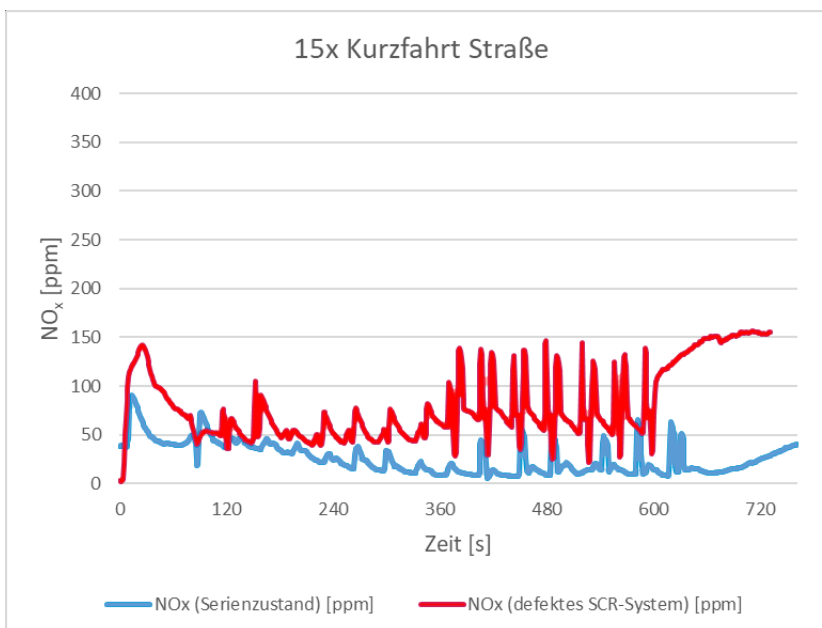
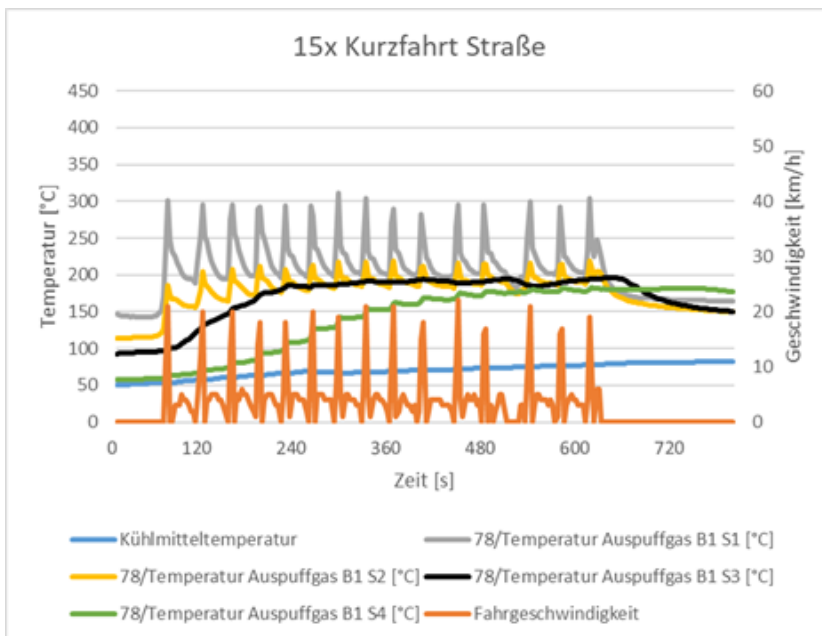
Abbildung 72: Messung zu Fehlersimulation an Fahrzeug 28: 15x Kurzfahrt



Fahrzeug 29: VW Touran

Bei der Fehlersimulation mit ausgebautem Harnstoff-Einspritzventil an Fahrzeug 29 sind, wie bereits bei der ASM20-Methode (Abbildung 69 b), deutliche Unterschiede zum Serienzustand zu erkennen (Abbildung 73 b). Während die NO_x-Emissionswerte beim Fahrzeug im Serienzustand mit zunehmender Abgastemperatur kontinuierlich von 50 ppm auf nahezu 0 ppm sinken, wird beim Fahrzeug mit Fehlerverbau ein durchschnittlicher NO_x-Wert (Mittelwert) von ca. 50 ppm gemessen. Unmittelbar nach der Straßenkurzfahrt steigt NO_x im Leerlauf sofort an auf ca. 150 ppm. Ein nicht vorhandener Harnstoff lässt NO_x sofort ansteigen, obwohl die SCR-Temperatur von ca. 200 °C noch vorhanden ist und nicht abfällt wie man aus Abbildung 73 a (grüne Kurve) entnehmen kann.

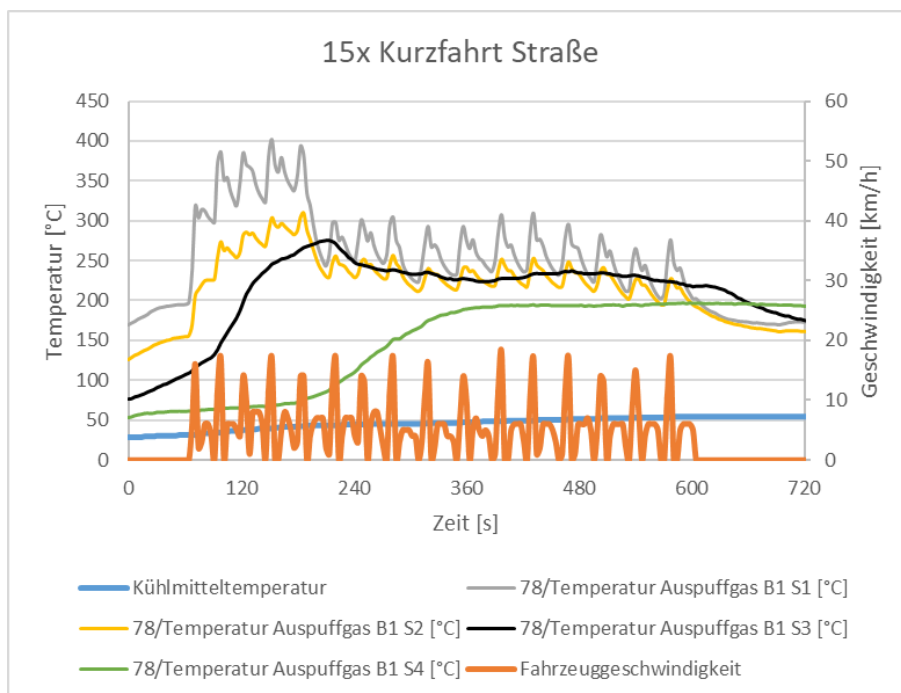
Abbildung 73: Messung zu Fehlersimulation an Fahrzeug 29: 15 x Kurzfahrt

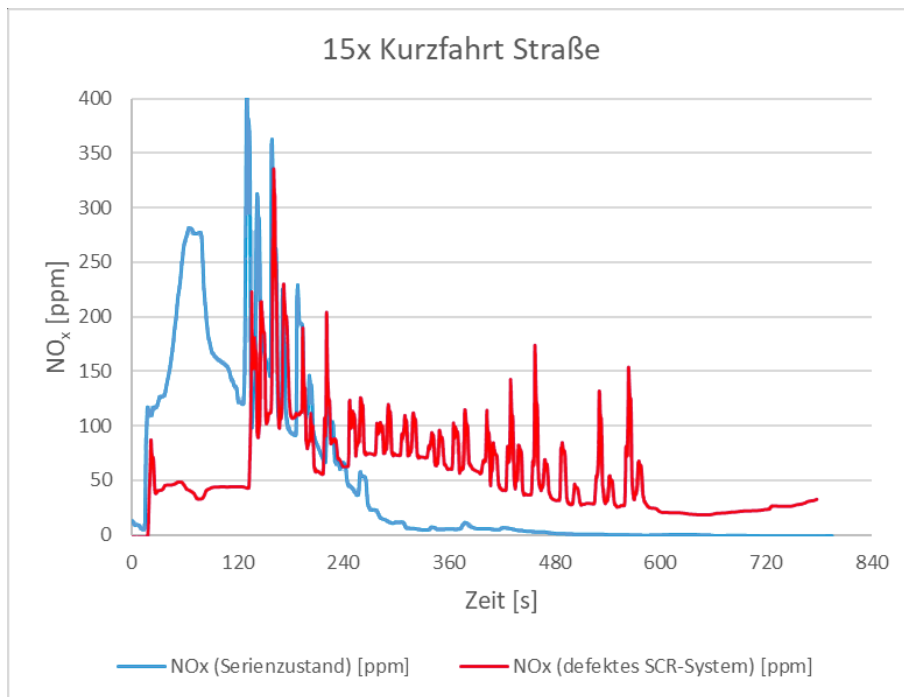


Fahrzeug 30: Audi A7

Fahrzeug 30 ist mit einem sog. Twindosing-System [10] ausgerüstet (ein Motor nahes und ein weniger Motor nahes SCR-System). Im Serienzustand ohne Fehlerverbau fällt NO_x von 250 ppm im kalten Zustand auf nahezu 0 ppm im warmen Zustand ab (Abbildung 74 b). Nach der Straßenkurzfahrt bleiben die NO_x-Werte im Leerlauf mit 0 ppm über einen langen Zeitraum erhalten, da die SCR-Temperatur ebenfalls wie in Abbildung 74 b ersichtlich (grüne Kurve) sehr lange bei 200 °C bleibt (länger als 300 s). Bei der Messung mit Fehlerverbau fällt der NO_x-Wert von anfangs ca. 100 ppm (Wert Basislinie) auf ca. 30 ppm zum Ende der Kurzfahrten ab. In der darauffolgenden Leerlaufphase sinkt NO_x auf ca. 25 ppm ab und steigt danach sehr langsam wieder an. Zwischen Fehlerverbau und Serienzustand bleibt wie in Abbildung 74 b ersichtlich eine Differenz von nur ca. 25 ppm. Diese geringe Differenz kommt durch die konstruktionsbedingte doppelte Ausführung des SCR-Systems zustande. Der Fehler in einem SCR- System wird vom Steuergerät über die vorhandene Sensorik (interne NO_x-Sonden) erkannt und durch das zweite System in bestimmten Lastbereichen kompensiert.

Abbildung 74: Messung zu Fehlersimulation an Fahrzeug 30: 15x Kurzfahrt

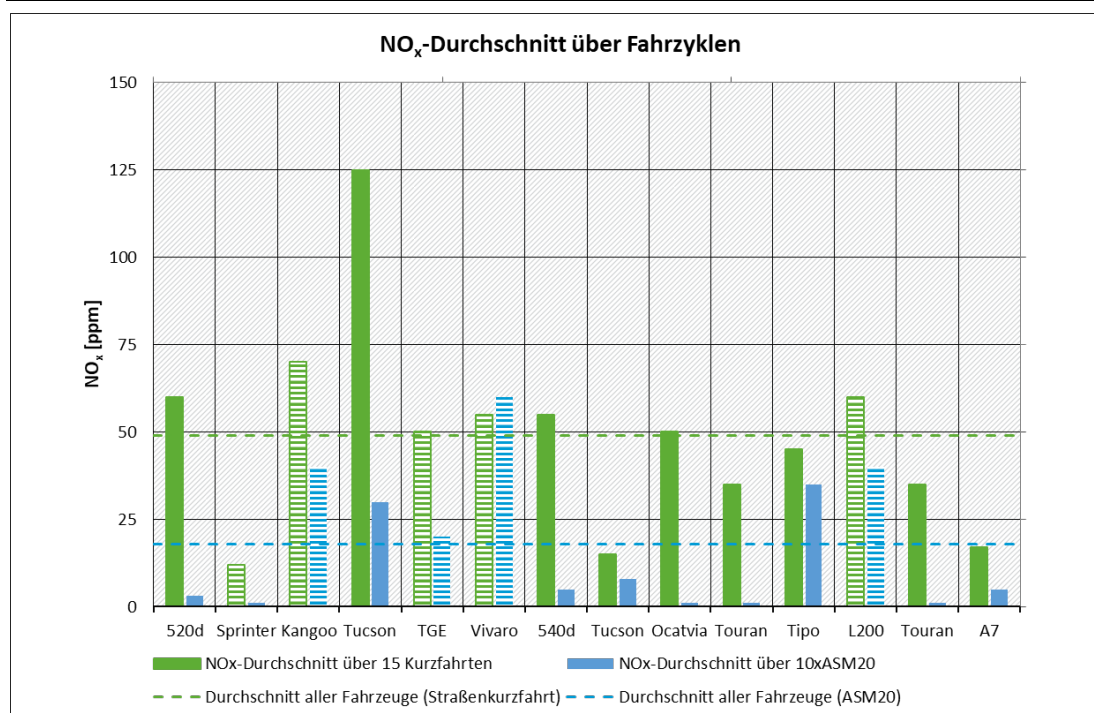




4.7 Vergleich der Methoden ASM20 und Kurzfahrt Straße

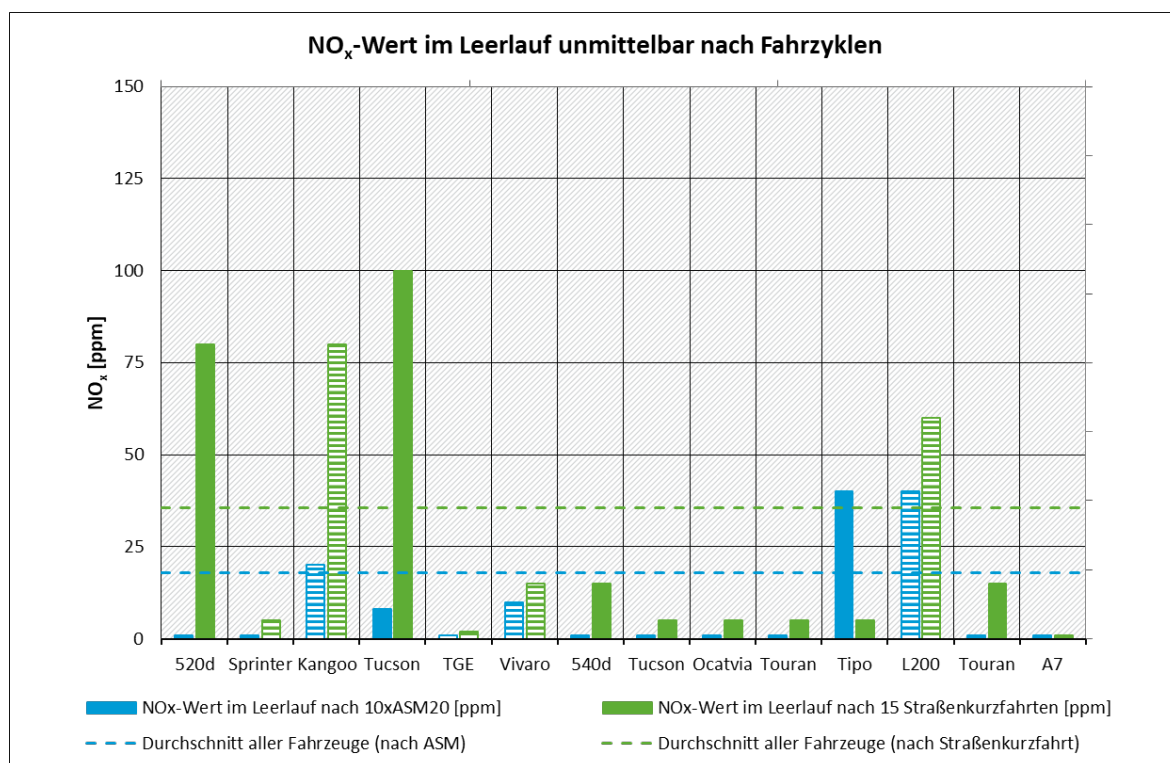
Das Säulendiagramm in Abbildung 75 zeigt den Vergleich zwischen den Methoden ASM20 und Kurzfahrt. Dargestellt sind die durchschnittlichen NO_x-Werte während der jeweiligen Beschleunigungsfahrten. Auch hier sind alle Fahrzeuge der Klasse M1 einfarbig und Fahrzeuge der Klasse N1 gestreift dargestellt. Die Fahrzeuge bei den ASM20-Fahrzyklen zeigen deutlich niedrigere NO_x-Werte als bei den Straßenkurzfahrten. Dies ist auf die bessere Konditionierung der Abgassysteme zurückzuführen. Mit durchschnittlich 20 ppm weisen die Fahrzeuge während der zehn ASM20-Zyklen weniger als die Hälfte der Emissionen auf, die während den 15 Straßenkurzfahrten (durchschnittlich 50 ppm) gemessen wurden. Die während der Fahrzyklen gemessenen NO_x-Werte sind jedoch wenig vergleichbar und hängen sehr stark von den Randbedingungen ab. Die Definition eines möglichen Grenz- bzw. Schwellwerts gestaltet sich daher als etwas schwierig, wenn beide Methoden gleichberechtigt in der Praxis eingesetzt werden können.

Abbildung 75: Vergleich der Methoden während der Fahrzyklen



Im Säulendiagramm Abbildung 76, das die NO_x-Durchschnittswerte in der Leerlaufphase nach den Fahrzyklen (ASM20 und Kurzfahrt) gegenüberstellt, sieht man sehr deutlich, dass bei drei Fahrzeugen (520d, Kangoo, Tucson) die NO_x-Werte am Ende der Kurzfahrt noch hoch sind (180 °C SCR-Temperatur nicht erreicht, grüne Säule). Beim Tipo wäre das Verhalten genau umgekehrt, hier sieht es so aus, dass beim ASM20 Zyklus der NO_x-Wert hoch ist (blaue Säule). Die Analyse zeigt aber, dass die SCR-Temperatur sehr viel früher erreicht wird und der NO_x-Wert zu diesem Zeitpunkt nahezu 0 ppm beträgt. D. h. die ASM20 Methode wäre auch hier anwendbar, insbesondere dann, wenn man die SCR-Temperatur mit aufnehmen würde und nach Erreichen der 180 °C Grenze in die Leerlaufphase gehen würde. Das durch die weiteren ASM-Zyklen entstehende Auskühlen und Ansteigen der NO_x-Werte wird dann vermieden.

Abbildung 76: Vergleich der Methoden nach Fahrzyklen im Leerlauf



Fazit

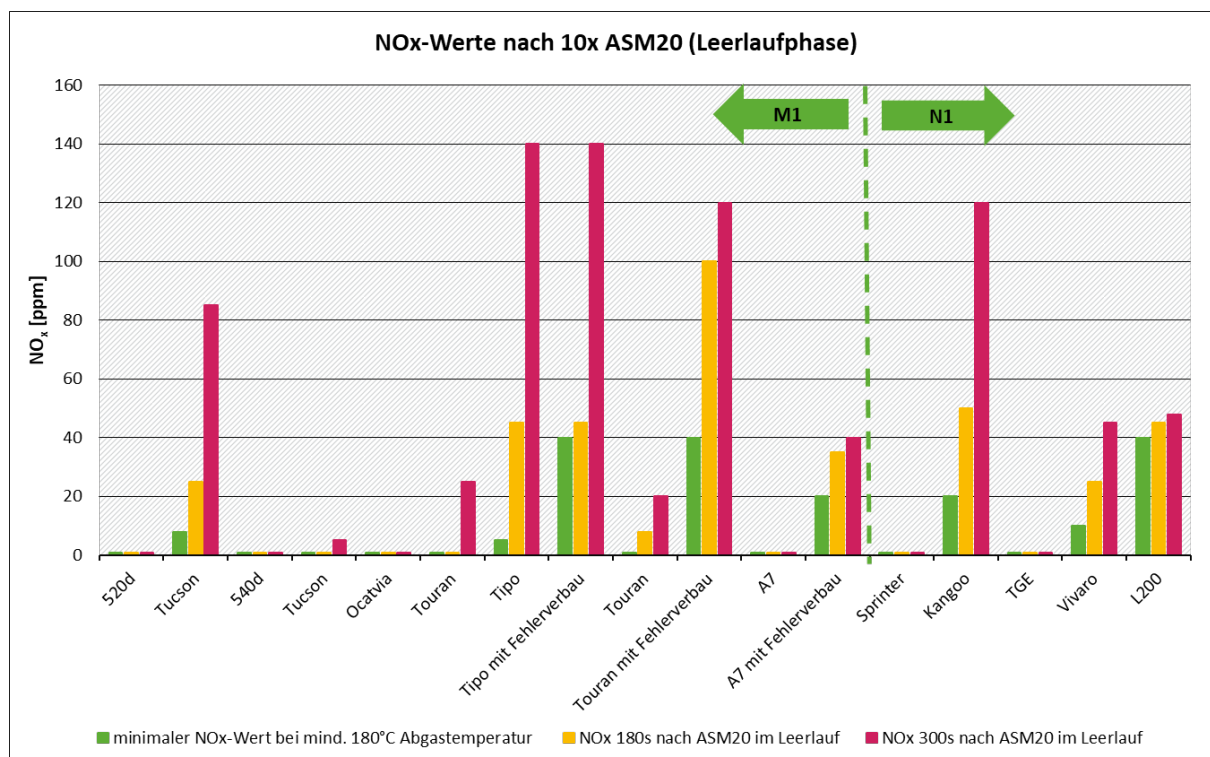
Das ausschließliche Erfassen absoluter Werte während des ASM20 Zyklus bzw. der Kurzfahrt ist aufgrund der starken Schwankungen nur bedingt geeignet, um den Zustand des Abgasnachbehandlungssystems ausreichend beurteilen zu können. Unterschiede zwischen M1- und N1-Fahrzeugen sind deutlich erkennbar. Das Erfassen der absoluten Werte erfordert aufgrund des sehr geringen NO_x-Niveaus von wenigen ppm hohe Anforderungen an die Mess- und Prüftechnik.

Zielführender erscheint eine Methode, bei der nach einer entsprechenden Konditionierung das SCR-System (180 °C) im unmittelbar folgenden Leerlauf NO_x gemessen wird. Diese Methode ist auch unter dem Begriff Hot-Idling [6] bekannt. In der Leerlaufphase kühlt das System ab, die SCR-Temperatur fällt unter die 180 °C-Grenze, NO_x steigt wieder an. Für die Auskühlphase reicht ein Zeitraum von ca. 150 bis 200 s. Diese Methode ist für eine periodische Fahrzeugüberprüfung gut geeignet, da kein Prüfstand benötigt wird und die Methode auch an 4-Rad-Fahrzeugen anwendbar ist.

4.8 Untersuchung der Hot-Idling-Methode nach ASM20-Zyklen

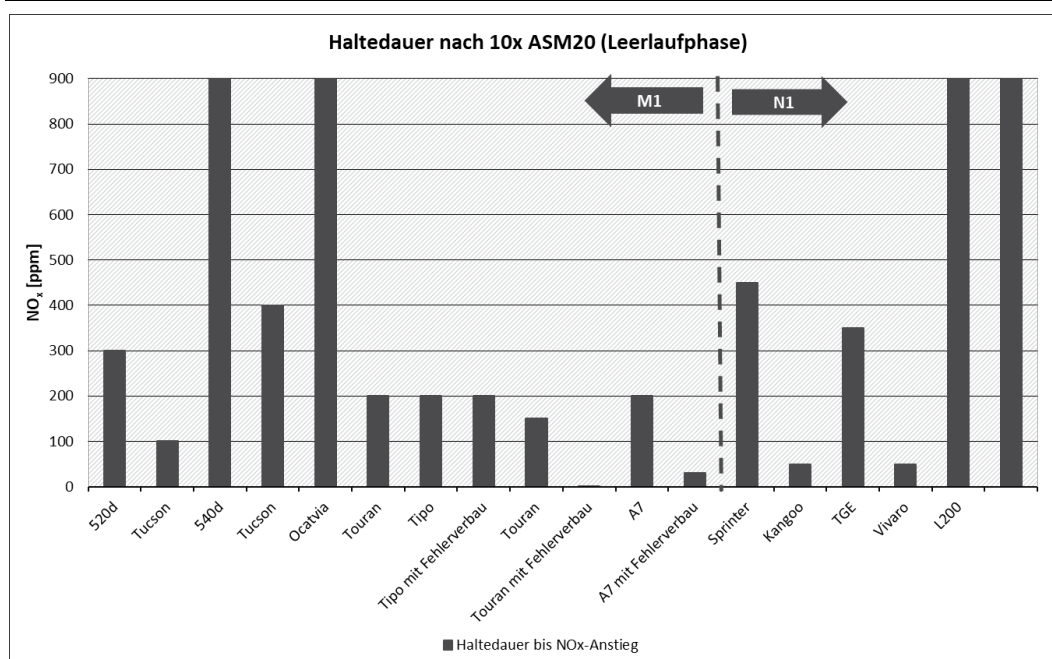
Die Säulengrafik in Abbildung 77 zeigt die NO_x-Werte unmittelbar nach den ASM20-Zyklen im Leerlauf (erste Säule). Die zweite und dritte Säule stellt die NO_x-Werte nach 180s und 300s nach Einleiten des Leerlaufs dar.

Abbildung 77: Hot Idling nach 10 x ASM20



Die aufgrund der Typzulassung höheren NO_x-Grenzwerte von N1-Fahrzeugen (siehe dazu auch Tabelle 4) im Vergleich zu M1-Fahrzeugen zeigen sich auch in diesen Messergebnissen.

Abbildung 78: Hot Idling – Haltedauer nach 10 x ASM20



Mit zunehmender Zeit und Auskühlung des Systems steigt der NO_x-Wert an, was man an den Säulen in Abbildung 77 gut erkennen kann. Man sieht auch sehr deutlich, dass ohne Fehlerverbau die NO_x-Werte bei M1 Fahrzeugen weit unter 10 ppm liegen. Bei N1 Fahrzeugen liegen diese teilweise höher und liegen bei bis zu 20 ppm. Dieser Wert allein ist jedoch nicht entscheidend für eine Bewertung. Vielmehr muss man die sog. Haltezeit oder auch Speicherzeit mitberücksichtigen. Die Haltezeit ist die Zeit, in der nach Beginn der Leerlaufphase der NO_x-Wert wieder signifikant ansteigt (z. B. 50 % höher als zu Beginn der Leerlaufphase). Bei einem System mit Fehler geht die Haltezeit gegen 0 s.

Abbildung 78 zeigt die Haltezeit bei den gemessenen Fahrzeugen. Man sieht sehr deutlich, dass im Fehlerfall die Haltezeit sehr klein ist und gegen 0 s geht (Touran 0 s, A7 ca. 30 s). Bei den N1 Fahrzeugen beträgt die Haltezeit teilweise nur ca. 50 s. In Abbildung 78 zeigen einige Fahrzeuge (z. B. Fahrzeug 23 und 25) Haltezeiten, die länger als 900 s sind. Die Messungen wurden jedoch nach 900 s abgebrochen da dies für die Festlegung einer Prüfprozedur unerheblich ist.

Fazit

M1-Fahrzeuge:

- ▶ NO_x-Werte sind bei 180 °C SCR-Temperatur sehr niedrig (< 10 ppm) und steigen nach gewisser Haltedauer (z. B. 30 s) durch Absinken der SCR-Temperatur an: Abgasnachbehandlungssystem funktioniert
- ▶ NO_x-Werte sind bei 180 °C SCR-Temperatur sehr niedrig (< 10 ppm) und bleiben nach einer Haltedauer von 300 s weiterhin niedrig: Abgasnachbehandlungssystem funktioniert
- ▶ NO_x-Werte sind bei 180 °C SCR-Temperatur hoch (> 20 ppm) und verändern sich nach einer gewissen Haltedauer nur unwesentlich: Abgasnachbehandlungssystem funktioniert nicht
- ▶ NO_x-Werte liegen bei 180 °C zwischen 10 und 20 ppm und steigen unmittelbar nach Einleiten des Leerlaufes stark an. Fast keine oder geringe Haltezeit: Abgasnachbehandlungssystem funktioniert nicht

N1-Fahrzeuge:

- ▶ NO_x-Werte sind bei 180 °C SCR-Temperatur sehr niedrig (< 20 ppm) und steigen nach gewisser Haltedauer (z. B. 30 s) durch Absinken der SCR-Temperatur an: Abgasnachbehandlungssystem funktioniert
- ▶ NO_x-Werte sind bei 180 °C SCR-Temperatur sehr niedrig (< 20 ppm) und bleiben nach einer Haltedauer von 300 s weiterhin niedrig: Abgasnachbehandlungssystem funktioniert
- ▶ NO_x-Werte sind bei 180 °C SCR-Temperatur hoch (> 40 ppm) und verändern sich nach einer gewissen Haltedauer nur unwesentlich: Abgasnachbehandlungssystem funktioniert nicht
- ▶ NO_x-Werte liegen bei 180 °C zwischen 20 und 40 ppm und steigen unmittelbar nach Einleiten des Leerlaufes stark an. Fast keine oder geringe Haltezeit: Abgasnachbehandlungssystem funktioniert nicht

4.9 Tabellarische Zusammenfassung der Messwerte zu Fahrzeug 17-30

Basis für die Auswertung und Darstellung der Säulendiagramme sind die in der Abbildung 79 ermittelten Messwerte. Diese wurden der Einfachheit halber nicht mathematisch aus den erfassten Rohdaten ermittelt, sondern anhand des zeitlichen Verlaufs der NO_x-Werte aus den Grafiken (Fahrzeuge Nr. 17-30, siehe A.3) abgeschätzt. Dies gilt insbesondere für die gebildeten Mittelwerte, die ebenfalls aus den Grafiken abgeschätzt wurden.

Abbildung 79: Tabellarische Zusammenfassung der Messwerte zu Fahrzeug 17-30

Auswertung Fahrzeug 17-30		17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27		28		29		30		Durchschnitt aller Fahrzeuge
		AP2.2_17 BMW 520d 2.0/140KW 36AP M1 08.10.2021	AP2.2_18 Mercedes Sprinter 2.0/125 KW 36AR N1/III 23.06.2022	AP2.2_19 Renault Kangoo 1.5/85 KW 36CH N1/II 28.11.2019	AP2.2_20 Hyundai Tucson 1.6/100 KW 36DG M1 09.09.2019	AP2.2_21 MAN TGE 2.0/130 KW 36CI N1/III 01.2020	AP2.2_22 Opel Vivaro 2.0/90 KW 36AN N1/II 15.07.2021	AP2.2_23 BMW 540d 3.0/250 KW 36AP M1 14.04.2022	AP2.2_24 Hyundai Tucson 1.6/100 KW 36AP M1 19.09.2022	AP2.2_25 Skoda Octavia 2.0/110 KW 36AP M1 12.07.2022	AP2.2_26 VW Touran 2.0/110 KW 36AP M/N1 13.09.2022	Original	Fehlerverbau	Original	Fehlerverbau	Original	Fehlerverbau	Original	Fehlerverbau	
ASM20	NO _x zu Beginn Messung vor Warmlauf 240 s LL (ppm)	5	20	40	50	10	10	100	5	5	5	70	70	50	50	50	40	125	130	39
	NO _x -Mittelwert während der 240 s Warmlauf (ppm)	1	10	50	50	50	120	80	20	30	30	45	45	50	50	30	40	100	100	48
	Durchschnittlicher NO _x -Wert (über die 10 ASM20-Zyklen) (ppm)	3	1	40	30	20	60	5	8	1	1	35	35	40	40	1	40	5	40	18
	Verhalten während ASM20-Zyklen	k.P.*	k.P.*	Peaks	Peaks	Peaks	Peaks	k.P.*	k.P.*	k.P.*	k.P.*	Peaks steig.	Peaks steig.	Peaks	Peaks	k.P.*		k.P.*		
	minimaler NO _x -Wert bei mind. 180°C Abgastemperatur	1	1	20	8	1	10	1	1	1	1	5	40	40	40	40	1	40	1	20
Kurzfahrt	NO _x -Durchschnitt vor Beginn Kurzfahrt (LL) (ppm)	65	55	100	20	45	45	15	5	15	35	40	40	60	60	60		150		51
	NO _x -Durchschnitt über die 15 Zyklen (ppm)	60	12	70	125	50	55	55	15	50	35	45	45	60	60	35		17		49
	NO _x nach 15 Zyklen im LL (ppm)	80	5	80	100	2	15	15	5	5	5	5	40	60	60	15		1		31
Leerlauf nach ASM20 (Hot Idling)	NO _x nach 10 ASM20 im Leerlauf (ppm)	1	1	20	8	1	10	1	1	1	1	40	40	40	40	1	40	1	20	9
	NO _x -Wert 180s nach ASM20 im Leerlauf (ppm)	1	1	50	25	1	25	1	1	1	1	45	45	45	45	8	100	1	35	15
	NO _x -Wert 300s nach ASM20 im Leerlauf (ppm)	1	1	120	85	1	45	1	5	1	25	140	140	48	48	20	120	1	40	35
	NO _x 600 nach ASM20 (ppm)	10	20	170	150	70	70	1	50	1	5	170	170	48	48	80	140	30	50	71
	Asymptotischer Endwert (ppm)	?	50	180	?	110	100	1	140/40	1	0	200	200	50	50	100				87
	Haltdauer bis NO _x -Anstieg (s)	300	450	50	100	350	50	900	400	900	200	200	200	900	900	150	1	200	30	1
WLTP-NO _x -Messwert [mg/km]		20,2	33,6	47,1	40,9	11,5	19	38,1	14	27,7	26			86	86	44	44	23,3	23,3	

*k.P.: keine Peaks

4.10 Nutzung der OBD-Daten

Bei der Abgasuntersuchung [8] können derzeit bereits einige Daten, wie z. B. Readinesscode (PID 01), Fehlerspeicher (PID 01), Motordrehzahl (PID 0C), Motor-/Kühlmitteltemperatur (PID 05/67), Signal der Lambda-Sonde oder Fahrzeugidentnummer ausgelesen werden. Diese Daten haben nicht unmittelbar Bezug zu den Abgaswerten und erleichtern damit als „Hilfsgrößen“ die Durchführung der Abgasuntersuchung in nicht unerheblichem Maße.

Ziel der Studie war auch zu untersuchen, ob weitere OBD-Daten, die im Zusammenhang mit NO_x stehen, bei einer Abgasuntersuchung nutzbar wären. Im Kapitel 0 wurde bereits der Abdeckungsgrad bezogen auf die ausgewählten Fahrzeugmodelle betrachtet.

Die Abgastemperatur (PID 78/79) ist eine wichtige Prozessgröße, insbesondere dann, wenn die Funktion des SCR-Systems beurteilt wird. Da diese nur bei ca. 67 % der innerhalb dieses Projekts getesteten Fahrzeuge bedatet waren, sollte über den Ordnungsgeber eine Bedatung über alle Fahrzeughersteller vorgeschrieben werden. An sich gibt es eine vorgesehene PID für die Partikelfiltertemperatur (PID 2C), diese war jedoch nur bei zwei von 35 Fahrzeugen bedatet. Bei der Nutzung der PID 78, hinter der sich alle im Abgasstrang verbauten Sonden befinden (z. B. S1 bis S4 bei Volkswagen Motoren) wäre es unbedingt erforderlich, dass der Fahrzeughersteller in den AU-Solldaten vorgeben muss, welche der Sonden z. B. ausreichend die SCR-Temperatur charakterisiert (ähnlich Regelsonden bei der GKAT-AU).

Unter PID 83 findet man Infos und Messwerte der intern im Fahrzeug verbauten NO_x-Sensoren. Die Freischaltung dieser Sensoren hängt von sehr vielen Faktoren ab, sodass diese so gut wie nicht für Aussagen genutzt werden können. Insbesondere die NO_x-Sonde nach dem SCR wurde bei vielen Messungen entweder überhaupt nicht aktiv, oder erst sehr spät, sodass diese Information nicht nutzbar ist. Der Abdeckungsgrad lag bei 25 von 37 Fahrzeugen.

Unter PID 85 liefert das NO_x Control-System Informationen zum Reagenz. Angezeigt werden der durchschnittliche Verbrauch des Reagenzes pro Stunde, die angeforderte Menge, der Füllstand des NO_x-Tanks und auch die Dauer, wie lange das Fahrzeug mit NO_x-Warnung gefahren wurde. Die Werte des Reagenzes lagen bei den untersuchten Fahrzeugen zwischen 0,02 l/h bis 0,12 l/h und hängen offenbar sehr stark vom Motor bzw. vom Abgasreinigungskonzept ab. Der Abdeckungsgrad lag bei 30 von 37 Fahrzeugen. Die Werte ändern sich nur sehr langsam wegen der Angabe Verbrauch pro Stunde.

Das SCR-Inducement System PID 88 liefert Informationen in 10.000 km Blöcken zum Zustand des SCR-Systems, ob es aktiv ist und ob, bezogen auf die 10.000er Blöcke, das System richtig gearbeitet hat. Der Bedatungsgrad lag bei 33 von 37 Fahrzeugen.

PID 8B Diesel Aftertreatment System gibt Auskunft über den Regenerationsstatus des Partikelfilters, der Abdeckungsgrad liegt hier bei 28 von 37 Fahrzeugen. Diese Information könnte man als Zusatzinfo bei der Partikelmessung nutzen.

4.11 Abschätzung des künftigen Zeitaufwandes für eine zusätzliche NO_x-Messung an Fahrzeugen mit Dieselmotor

Für die aktuell im Rahmen der Abgasuntersuchung (AU) [8] durchgeführten Partikelanzahlmessung (PN-Messung) wurde eine Dauer von 12 min veranschlagt. Basierend auf den praktischen Erfahrungen bei der Durchführung der Abgasuntersuchung wurden zur Abschätzung des erforderlichen Zeitaufwands für eine zusätzliche NO_x-Messung einige Annahmen getroffen. Dazu gehört u.a. die zeitliche Abfolge der PN und NO_x-Messung, die idealerweise auch aufgrund der Konditionierung in dieser Reihenfolge erfolgen sollten.

In Tabelle 5 ist die Schätzung des zeitlichen Aufwands der einzelnen Methoden im Vergleich zur Partikelanzahlmessung in Minuten dargestellt. Die Erfassung der Fahrzeugdaten sollte, ebenso wie die Auswertung zum Abschluss der Untersuchung, je 2 min in Anspruch nehmen. Die deutlichsten Unterschiede zeigen sich bei der Konditionierung der Fahrzeuge. Für die Methode „15 x Straßenkurzfahrt“ werden 10 min benötigt. Basierend auf den Erkenntnissen aus vorausgegangenen Untersuchungen kann angenommen werden, dass für die ASM20-Fahrzyklen auf dem Rollenprüfstand kein Verzurren des Fahrzeugs erforderlich ist. Für die Methode „Warmfahren + 10 x ASM20“ ergibt sich somit eine Dauer von ungefähr 7 min. Bei der Methode „Hot Idling“, bei der das Fahrzeug mit einer Straßenfahrt konditioniert werden soll, beträgt die Dauer ebenfalls 7 min. Die Dauer für die anschließende NO_x-Messung im Leerlauf wird auf je 3 min geschätzt.

Insgesamt ergeben sich daraus 14 min für die beiden Methoden „Warmfahren + 10 x ASM20“ und „Hot Idling“, sowie 17 min für die Methode „15 x Straßenkurzfahrt“. Im Vergleich zur Partikelanzahlmessung entspricht das einem Mehraufwand von 2 bzw. 5 min.

Tabelle 5: Zeitaufwand einzelner Methoden im Vergleich zur Partikelanzahlmessung

Arbeitsschritt	PN-Messung	Warmfahren + 10xASM20	15x Straßenkurzfahrt	Hot Idling
Erfassung der Fahrzeugdaten	2	2	2	2
Fahrzeugvorbereitung/ Fahrzeugkonditionierung	4	7	10	7
Messung	4	3	3	3
Abschluss/Auswertung	2	2	2	2
Zeitaufwand insgesamt	12	14	17	14

Da einige Arbeitsschritte sowohl für die Partikelanzahlmessung als auch für eine Stickoxidmessung durchgeführt werden müssen, sollten die Methoden kombiniert durchgeführt werden. In Tabelle 6 ist der Zeitaufwand der kombinierten Messung in Minuten dargestellt. Für die Durchführung einer kombinierten Messung ergeben sich für die Methoden „Warmfahren + 10 x ASM20“ und „Hot Idling“ eine Dauer von 16 min und für die Methode „Straßenkurzfahrt“ 19 min.

Tabelle 6: Zeitaufwand der kombinierten Messung

Arbeitsschritt	Warmfahren + 10xASM20	15x Straßenkurzfahrt	Hot Idling
Erfassung der Fahrzeugdaten	2	2	2
Fahrzeugvorbereitung/ Fahrzeugkonditionierung	7	10	7
Messung NO _x	3	3	3
Messung PN	2	2	2
Abschluss/Auswertung	2	2	2
Zeitaufwand insgesamt	16	19	16

4.12 Untersuchung der beiden Messmethoden an Fahrzeugen mit Benzinmotor

Die Emissionen von Dieselfahrzeugen gelten als Hauptverursacher für NO_x in Innenstädten. Daher wurden die im Rahmen dieses Vorhabens untersuchten Messmethoden im Hinblick auf die Untersuchung von Fahrzeugen mit Kompressionsmotor ausgewählt und weiterentwickelt. Zusätzlich wurden auch ausgewählte Fahrzeuge mit Fremdzündungsmotor mit dem ASM20 und in Straßenkurzfahrten vermessen, um zu untersuchen, ob diese Methoden grundsätzlich auch für Fahrzeuge mit Benzinmotor anwendbar sind.

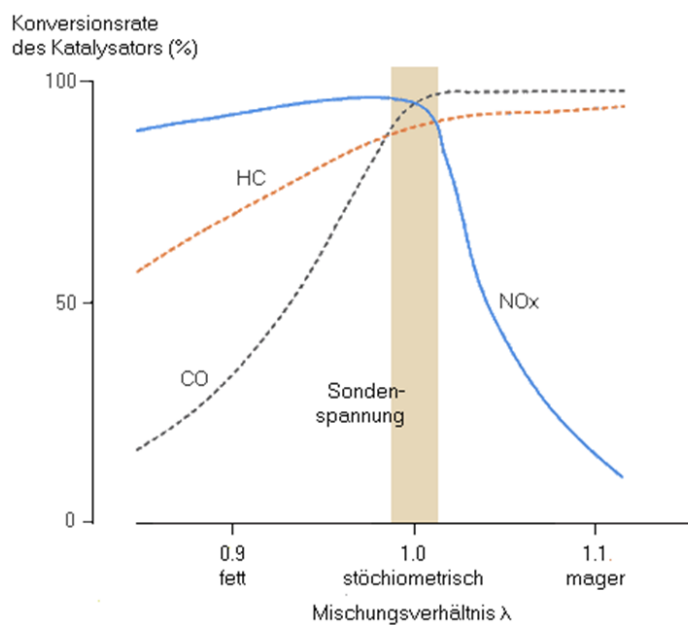
Stickoxidemissionen entstehen beim innermotorischen Verbrennungsprozess bei Sauerstoffüberschuss und hohen Temperaturen im Brennraum. Diese Bedingungen treten prinzipbedingt insbesondere bei Dieselmotoren auf, bei denen sich im Brennraum mehr Sauerstoff befindet, als für die vollständige Verbrennung des eingespritzten Kraftstoffes erforderlich wäre. Bei hohen Temperaturen im Brennraum verbindet sich überschüssiger Sauerstoff mit in der Ansaugluft enthaltenem Stickstoff zu Stickoxiden. Zur Reduzierung des hohen Anteils von Stickoxiden im Roh Abgas von Dieselmotoren sind geeignete Emissionsminderungssysteme erforderlich.

Demgegenüber werden moderne Benzinmotoren bei Lambda 1 betrieben, d. h. es befindet sich genau so viel Sauerstoff im Brennraum, wie für die Verbrennung der eingespritzten Kraftstoffmenge erforderlich ist. Bei einer vollständigen Verbrennung entstehen ausschließlich CO₂ und H₂O als Verbrennungsprodukte. Da eine innermotorische Verbrennung nicht ideal verläuft, werden aktuelle Benzinfahrzeuge mit einem geregelten Katalysator bzw. einem sogenannten Drei-Wege Katalysator ausgestattet. Im Katalysator werden Stickoxide (NO_x) zu Stickstoff (N₂) reduziert. Der den Stickoxiden entzogene Sauerstoff (O₂) wird dazu genutzt, unverbrannte Kohlenwasserstoffe (HC) und Kohlenmonoxid (CO) in Kohlendioxid (CO₂) und Wasserdampf (H₂O) umzuwandeln. Der optimale Wirkungsgrad eines Drei-Wege Katalysators wird erreicht, wenn sich genau so viel Sauerstoff im Brennraum befindet, wie für eine vollständige Verbrennung des Kraftstoffs erforderlich ist (Lambda = 1). Der Konversionsprozess mit sehr engen Grenzen für das eingeregelt Kraftstoff-Luftgemisch (Lambda 1 ±0,03) stellt sicher, dass die Schadstoffkomponenten CO, HC und NO_x im gleichen Maße reduziert werden. Die Abhängigkeit der Konversionsrate des Katalysators für die verschiedenen Abgaskomponenten CO, HC und NO_x von dem Kraftstoff-Luftgemisch Lambda bei der Verbrennung im Benzinmotor ist in Abbildung 80 dargestellt. Es wird deutlich, dass bei

Lambda $1 \pm 0,03$ für alle drei Schadstoffkomponenten optimale Konvertierungsraten > 90 % erreicht werden.

Seit dem 01.12.1993 wird das Abgasverhalten von Benzinfahrzeugen mit geregelter Katalysator bei der periodischen Abgasuntersuchung überprüft. Dabei werden mit Hilfe von 4-Gasmessgeräten die Konzentrationen von Kohlenmonoxid (CO), Kohlenwasserstoffen (HC), Kohlendioxid (CO₂) und Sauerstoff (O₂) im Agas bei erhöhter Leerlaufdrehzahl (2.500 1/min) gemessen und daraus der Lambdawert zur Bestimmung des Kraftstoff-Luftverhältnisses berechnet [8]. Als Maß für eine ausreichende Fahrzeugkonditionierung dient die Motortemperatur. Anhand der Konzentration von Kohlenmonoxid und des Lambdawertes wird die Funktion des Drei-Wege-Katalysators und der Motorregelung bewertet. Eine Messung der Stickoxide wird bei der AU für Fahrzeuge mit Fremdzündungsmotor bisher nicht durchgeführt.

Abbildung 80: Konvertierungsrate eines Drei-Wege-Katalysators



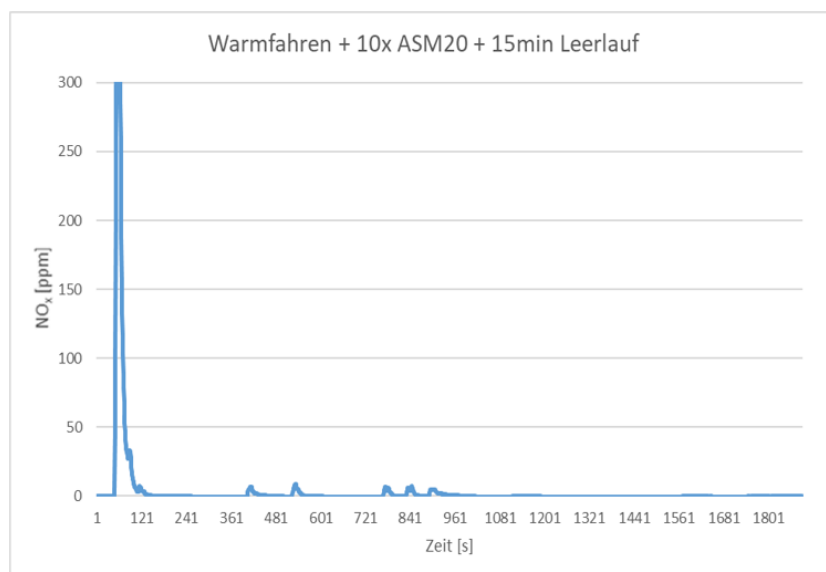
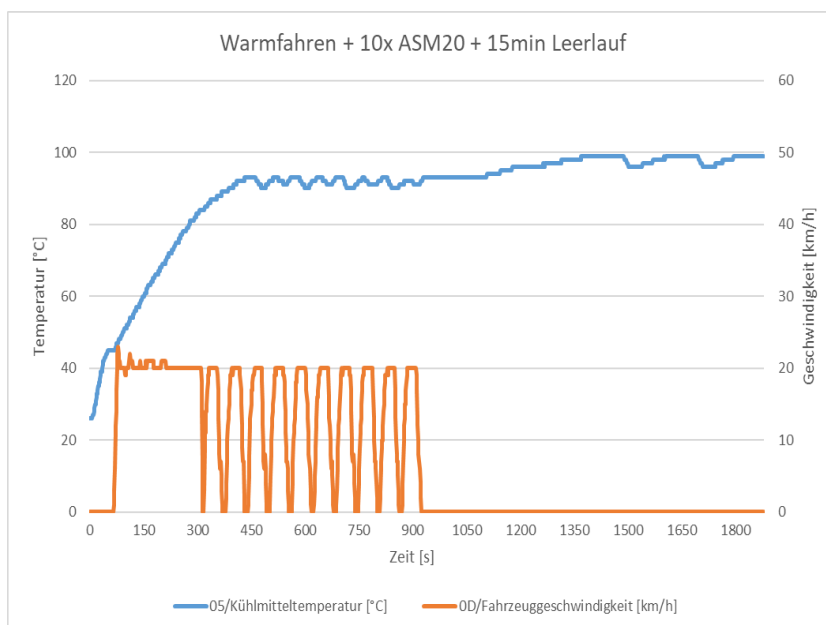
Quelle: Abgaskatalysator [13]

4.12.1 Warmfahren + 10 x ASM20 + 15 min Leerlauf

Fahrzeug 31: Seat Ibiza

Der NO_x-Verlauf ähnelt den Verläufen der ASM20-Messungen bei den Fahrzeugen mit Dieselmotor. Ein anfangs sehr hoher NO_x-Wert (Abbildung 81 b), der sehr viel höher als bei Dieselfahrzeugen ist, fällt, sobald der Drei-Wege-Katalysator seine Betriebstemperatur erreicht hat, in einer kurzen Zeitspanne von 30 bis 60 s auf nahezu 0 ppm und verbleibt bei nahezu 0 ppm. Die ASM-Zyklen äußern sich nur in sehr kleinen Peaks von unter 10 ppm. Abbildung 81 a zeigt den ASM20-Zyklus und die Kühlmitteltemperatur über OBD aus dem kalten Zustand des Fahrzeuges heraus

Abbildung 81: Fahrzeug 31 – Warmfahren + 10xASM20 + 15min Leerlauf – OBD-Daten und NO_x-Verlauf

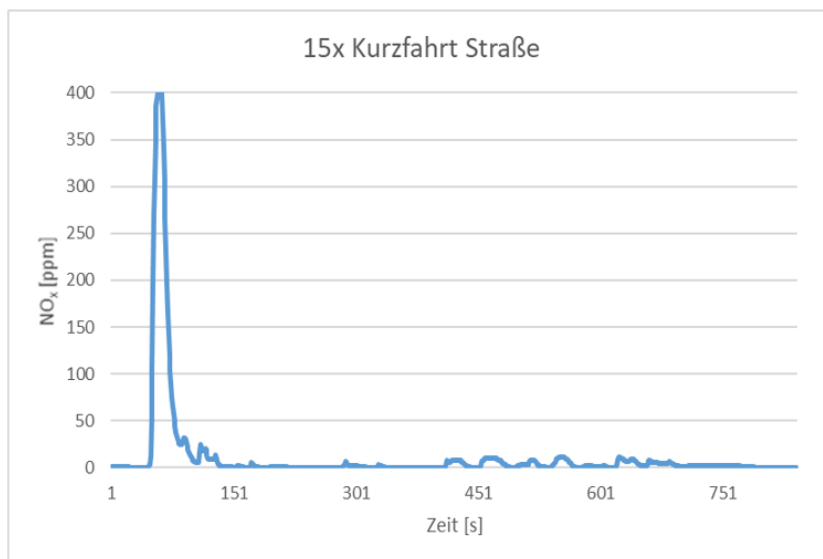
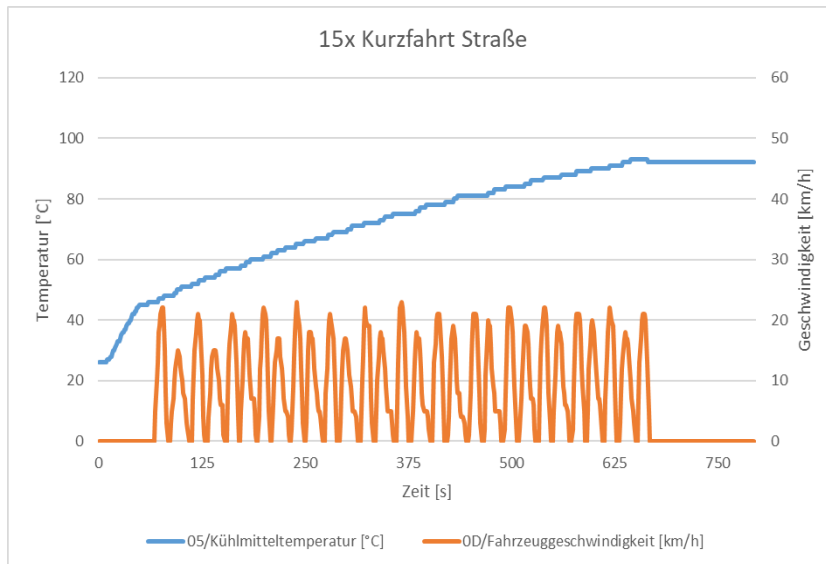


4.12.2 15x Kurzfahrt Straße

Fahrzeug 31: Seat Ibiza

Bei den Straßenkurzfahrten verhielt sich das Fahrzeug identisch zum ASM20-Zyklus. Die Fahrzyklen haben im Gegensatz zu den Fahrzyklen bei den Dieselfahrzeugen keinen Einfluss auf das NO_x-Verhalten, da der Katalysator bereits nach ca. 60 Sekunden wie Abbildung 81 b und Abbildung 82 b zeigen seine volle Wirkung zeigt und die optimale Konversionsrate erreicht hat. Abbildung 82 a zeigt die Kurzfahrt und die Kühlmitteltemperatur über OBD aus dem kalten Zustand des Fahrzeuges heraus.

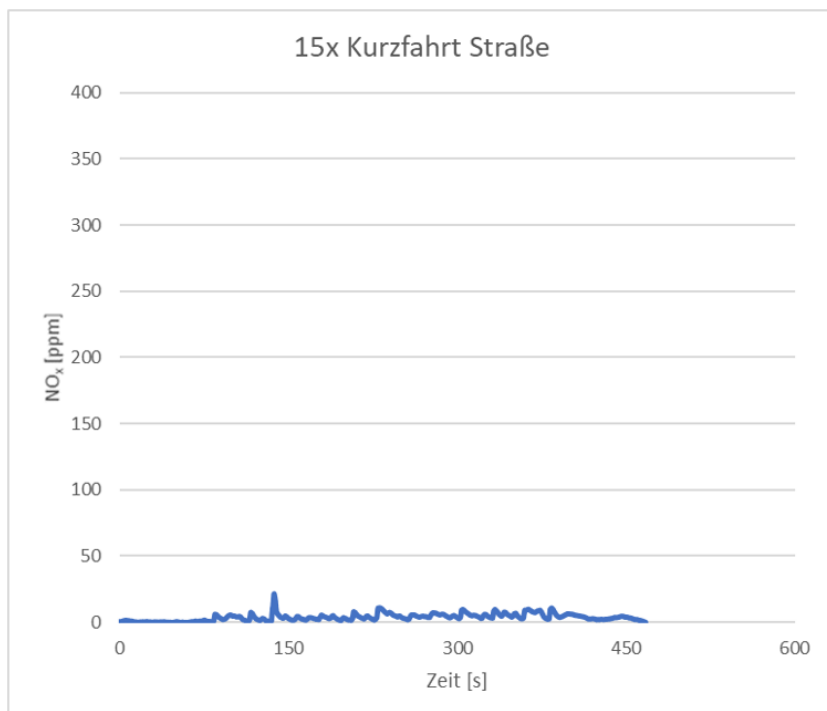
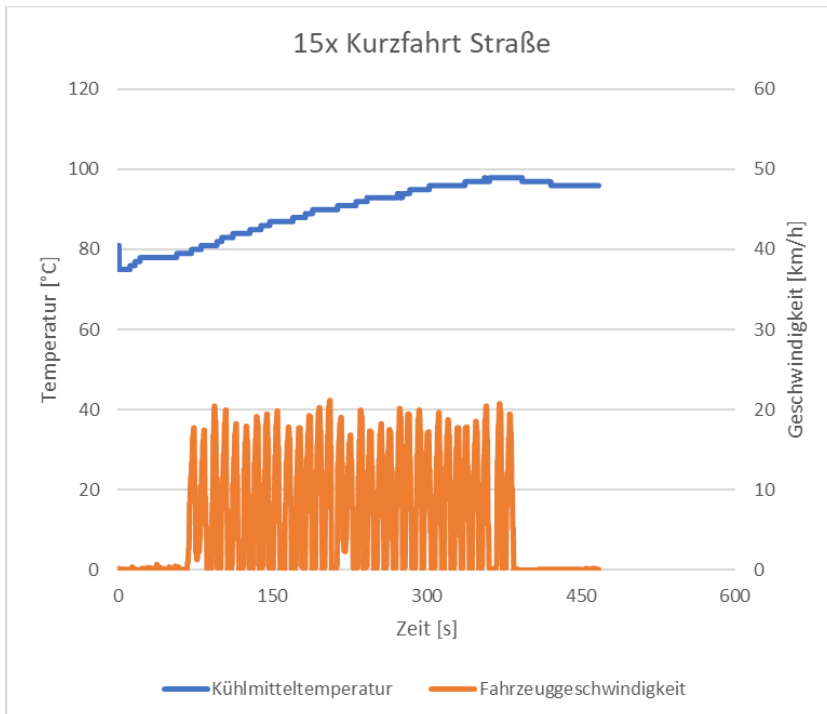
Abbildung 82: Fahrzeug 31 – 15x Kurzfahrt Straße – OBD-Daten und NO_x-Verlauf



Fahrzeug 32: Kia Ceed

Bei Fahrzeug 32 wurde eine Kurzfahrt durchgeführt, das Fahrzeug war bereits warm wie man in Abbildung 83 a anhand der über OBD aufgezeichneten Kühlmitteltemperatur entnehmen kann. NO_x zeigt wie in Abbildung 83 b ersichtlich Werte um 0 ppm, die Beschleunigungen zeigen sich nur als sehr kleine Spitzen beim NO_x-Wert (max. 20 ppm).

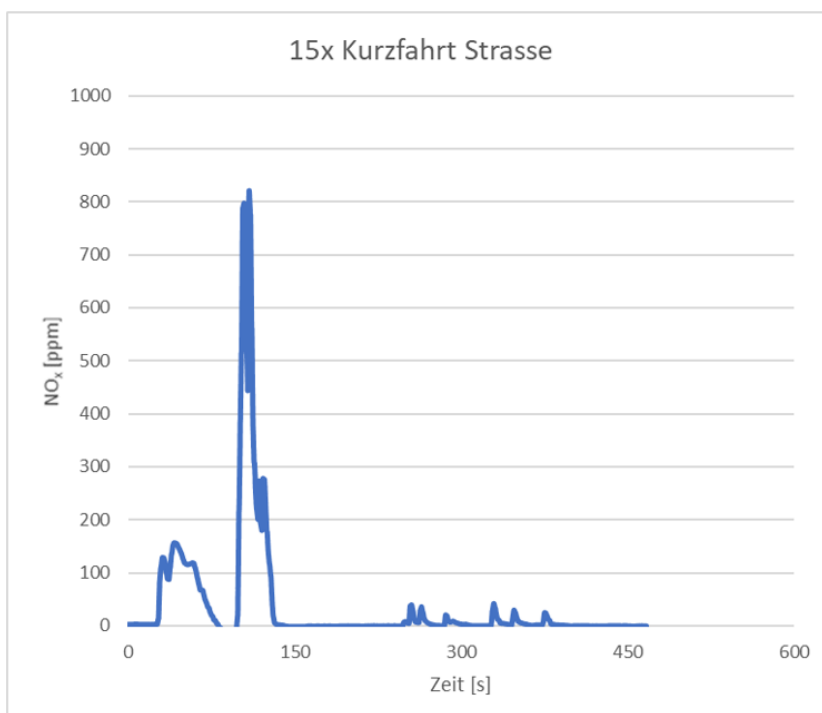
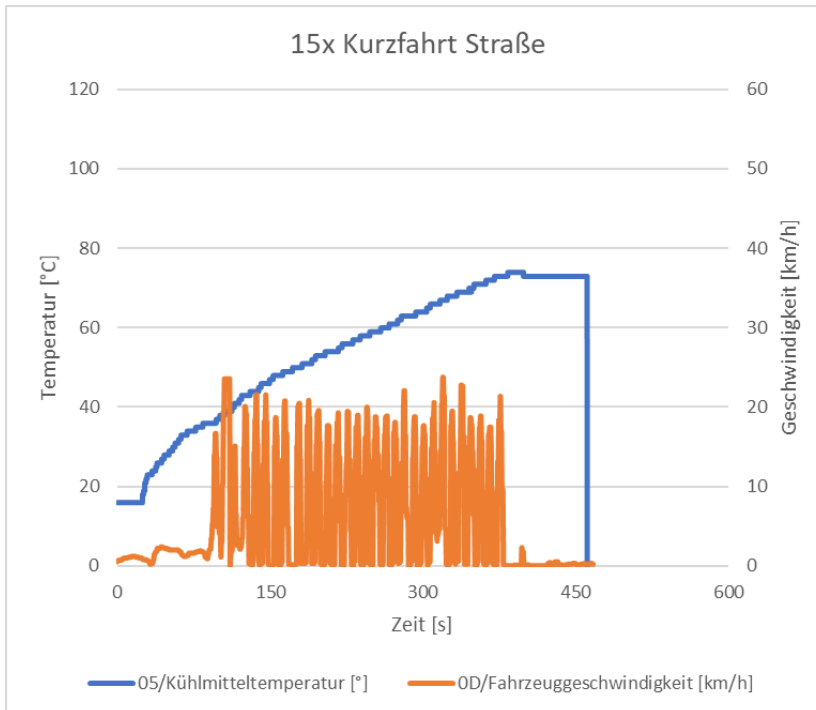
Abbildung 83: Fahrzeug 32 – 15x Kurzfahrt Straße – OBD-Daten und NO_x-Verlauf



Fahrzeug 33: Peugeot 5008

Fahrzeug 33 wurde aus dem kalten Zustand heraus vermessen. Dies kann man sehr deutlich aus Abbildung 84 a entnehmen, die Kühlmitteltemperatur startet bei ca. 18 °C und steigt während der 15 Kurzfahrten stetig auf ca. 75 °C. Der NO_x-Wert in Abbildung 84 b startet mit einem Peak bei 150 ppm, geht dann wieder nach unten und steigt dann kurzzeitig auf einen Wert von 800 ppm. Nach ca. 2 min (Katalysator hat seine Temperatur erreicht) geht der Wert gegen 0 ppm und verharrt dort bei 0 ppm. Die Peaks bei den Zyklen der Kurzstreckenfahrt sind mit ca. 30 ppm sehr klein.

Abbildung 84: Fahrzeug 33 – 15x Kurzfahrt Straße – OBD-Daten und NO_x-Verlauf



Fazit aus den drei Messungen

Sowohl beim ASM20-Zyklus als auch bei der Kurzfahrt sind keine Unterschiede im NO_x-Verlauf erkennbar. Nach dem „Anspringen“ des 3-Wege-Katalysators sinkt der NO_x-Wert auf nahezu 0 ppm. Lange Konditionierungsfahrten sind nicht erforderlich, da für die Reduktion der drei Abgaskomponenten CO, CO₂ und HC die richtige Funktion des 3-Wege-Katalysator verantwortlich ist.

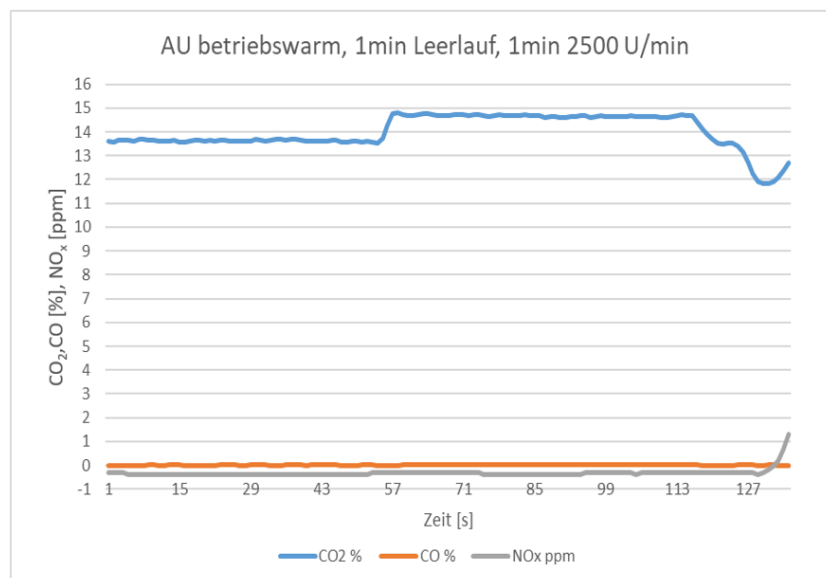
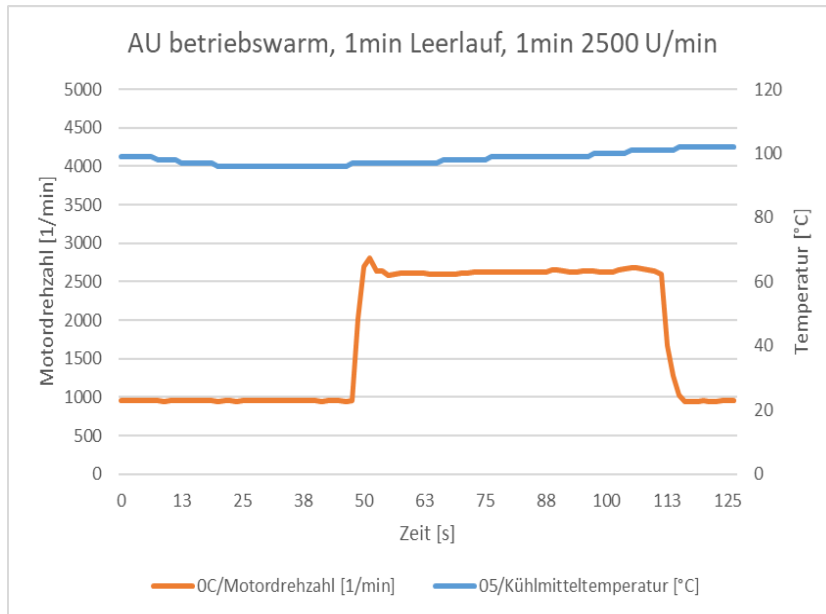
4.12.3 Messung entsprechend AU-Prozedur (Leerlauf + erhöhter Leerlauf)

Da bei der aktuell in Deutschland angewendeten Abgasuntersuchung (AU) [2] die Wirkung des 3-Wege-Katalysators mit Messung des CO-Wertes im hohen Leerlauf (ca. 2.500 1/min) und der Berechnung des Lambda-Wertes aus den Abgaskomponenten CO, CO₂, O₂ und HC nach der sog. Brettschneider-Formel [8] überprüft wird, wurde mit dieser Prozedur an den drei Fahrzeugen parallel zu den für die AU erfassten Abgaswerten über einen 4-Gas-Tester auch noch NO_x über ein separates Messgerät gemessen.

Fahrzeug 31: Seat Ibiza

In Abbildung 85 a sieht man sehr deutlich den über OBD aufgezeichneten Drehzahlverlauf (Fahrzeug warm) mit Anhebung der Drehzahl auf ca. 2500 1/min. Sowohl im CO-Verlauf als auch im NO_x-Verlauf zeigen sich keine Änderungen. Der CO-Wert bleiben stabil bei nahezu 0 % vol. NO_x bleibt wie man Abbildung 85 b entnehmen kann bei 0 ppm.

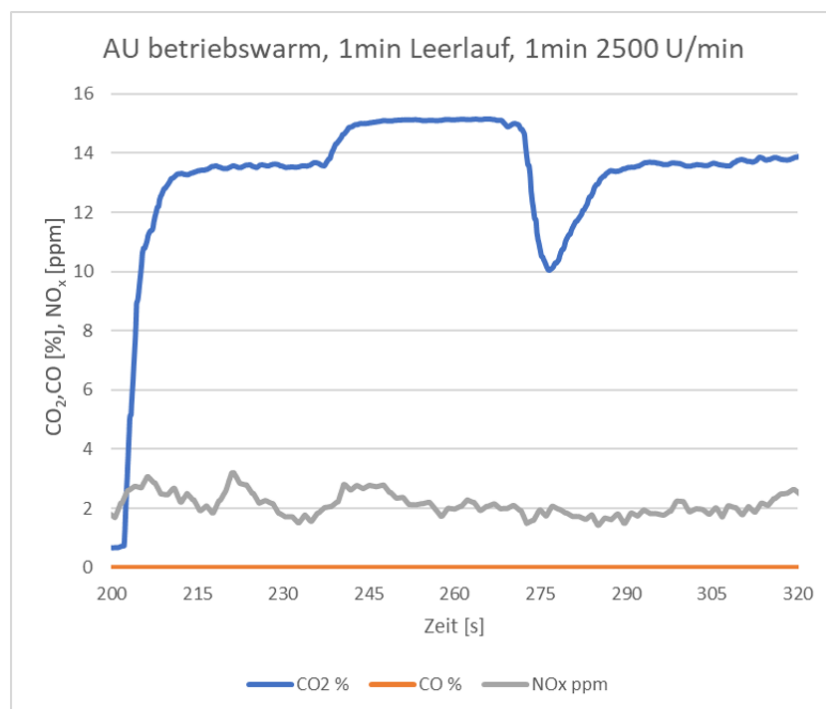
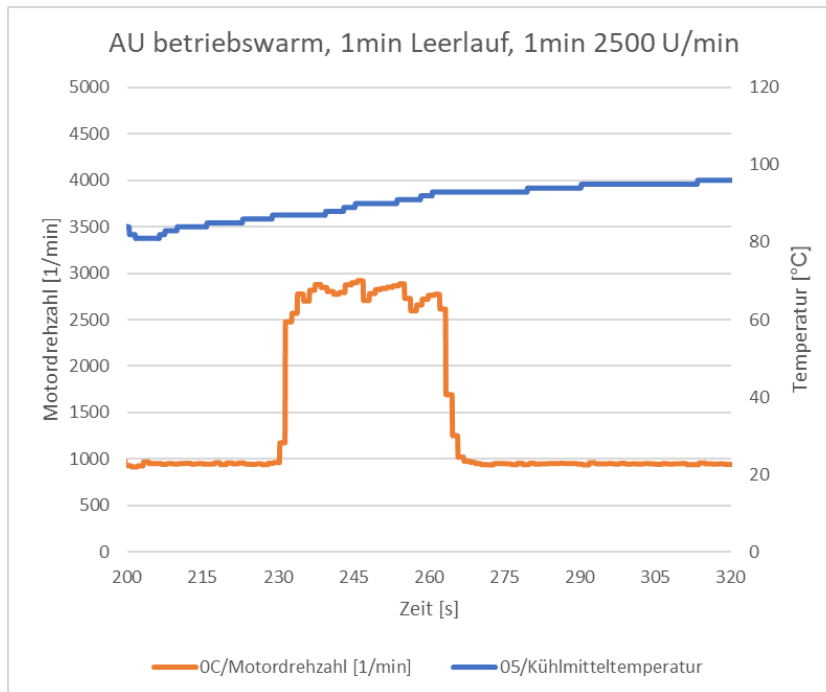
Abbildung 85: Fahrzeug 31 – AU-Prozedur (Leerlauf + erhöhter Leerlauf) – OBD-Daten und NO_x-Verlauf



Fahrzeug 32: Kia Ceed

Auch Fahrzeug 32 zeigt gleiches Verhalten bei der AU-Prozedur wie Fahrzeug 31. Bei der Drehzahlanhebung (Abbildung 86 a) kann man keine Änderung des NO_x-Wertes erkennen, wie man Abbildung 86 b entnehmen kann.

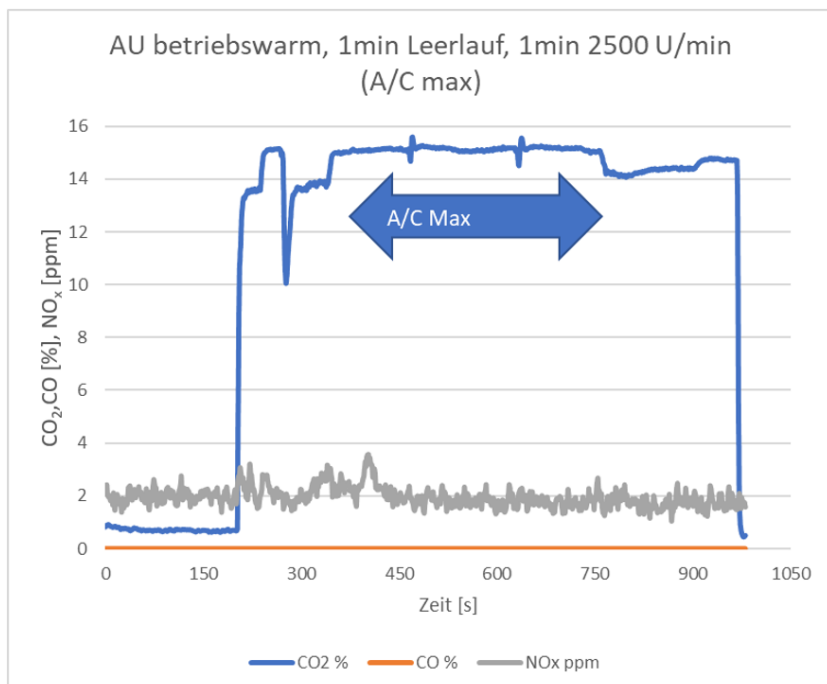
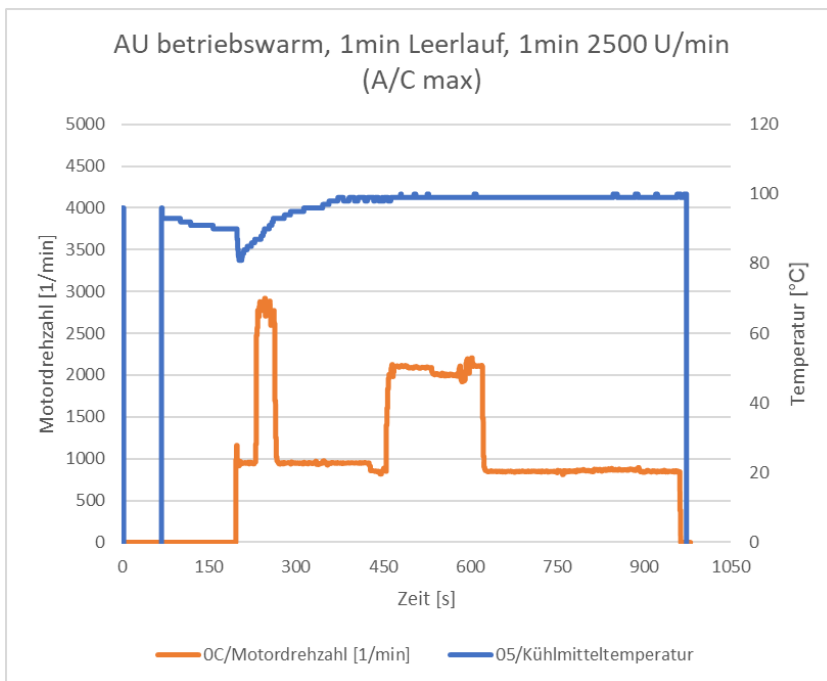
Abbildung 86: Fahrzeug 32 – AU-Prozedur (Leerlauf + erhöhter Leerlauf) – OBD-Daten und NO_x-Verlauf



Bei diesem Fahrzeug wurde zusätzlich zur AU-Prozedur untersucht, ob die Zuschaltung einer Last Einfluss auf das NO_x-Verhalten hat. Gewählt wurde eine sog. Fahrzeug eigene Last mit Zuschaltung der Klimaanlage. Diese verursacht durch die direkte mechanische Kopplung eine

zusätzliche Lastmomentänderung. Bei Zuschaltung anderer Lasten wie z. B. elektrische Verbraucher (Sitzheizung, Heckscheibenheizung etc.), wirkt sich die Laständerung nicht aus, da die Fahrzeugbatterie diese Laständerung puffert und eine Lastmomentänderung erst bei hohen Ladelasten durch die Lichtmaschine auftritt. Wie man Abbildung 87 a entnehmen kann, wird im ersten Schritt eine Drehzahlanhebung ohne Lastzuschaltung durchgeführt, die Drehzahl wird wieder abgesenkt, die Last zugeschaltet und die Drehzahl wieder auf ca. 2.000 1/min angehoben. Über den gesamten Prüfzyklus zeigt sich in Abbildung 87 b keine Änderung im NO_x-Verhalten.

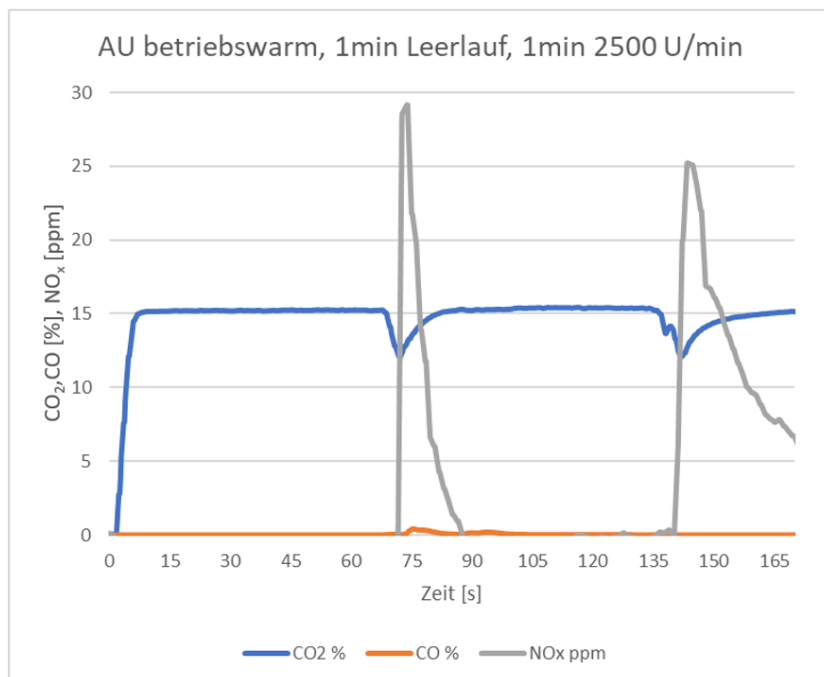
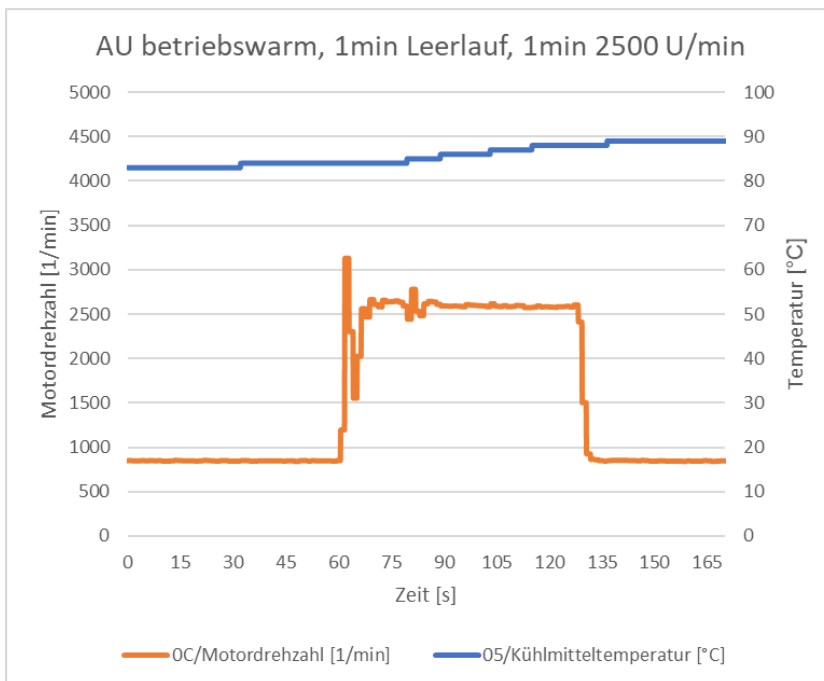
Abbildung 87: Fahrzeug 32 – AU-Prozedur mit eingeschalteten Verbrauchern – OBD-Daten und NO_x-Verlauf



Fahrzeug 33: Peugeot 5008

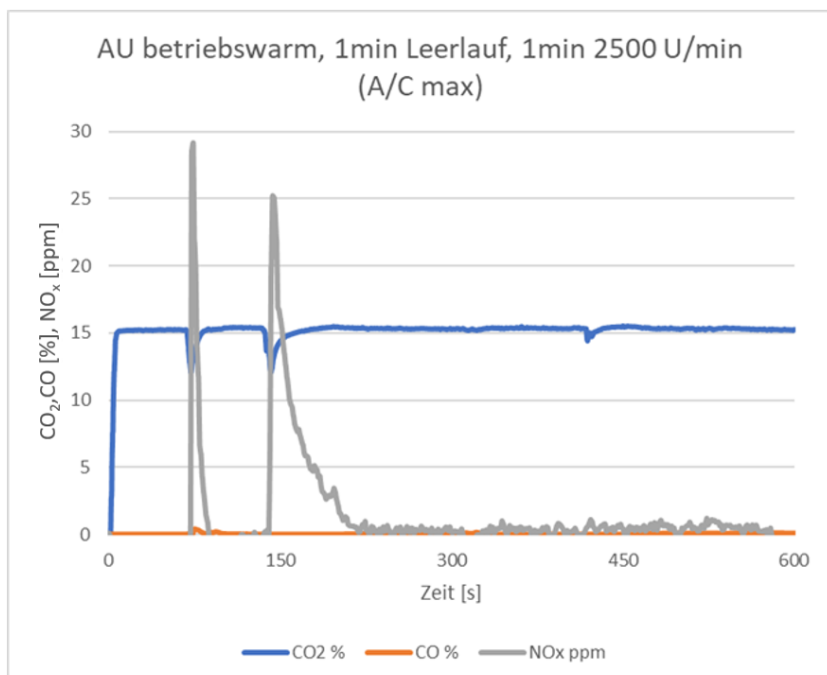
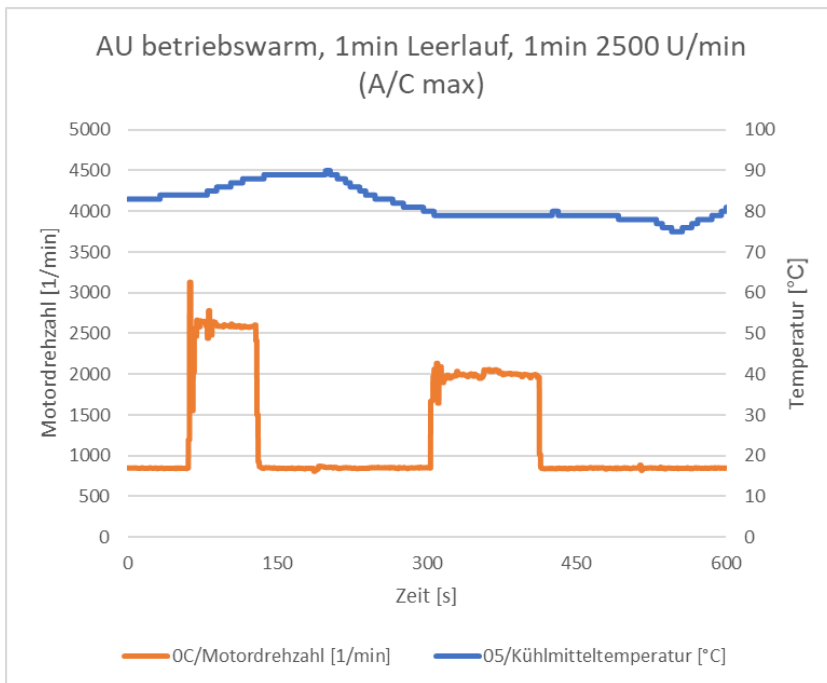
Bei Fahrzeug 33 wurde ebenfalls eine gesetzliche Abgasuntersuchung (AU) durchgeführt (Abbildung 88 a zeigt die Drehzahlanhebung und die Kühlmitteltemperatur über OBD) Die Ergebnisse unterscheiden sich bei diesem Fahrzeug dadurch, dass durch die Drehzahländerung bei der AU wie in Abbildung 88 b ersichtlich erst einmal ein NO_x-Peak von ca. 30 ppm auftritt, der dann von der Lambdaregelung in wenigen Sekunden ausgeglet wird (Wert wieder 0 ppm). Dieses Verhalten tritt auch nach der Wegnahme der Drehzahlanhebung (Abbildung 88 a) auf. NO_x geht auch nach dieser kurzen Ausregelphase wieder auf 0 ppm.

Abbildung 88: Fahrzeug 33 – AU-Prozedur (Leerlauf + erhöhter Leerlauf) – OBD-Daten und NO_x-Verlauf



Bei der Lastaufschaltung in Abbildung 89 a ist ein ähnliches Verhalten erkennbar. Im Gegensatz zu Fahrzeug 32 ist bei diesem Fahrzeug 33 die Lambda-Regelung offenbar „träger“, was aber auf den NO_x-Ausstoß und die Wirksamkeit der Lambda-Regelung keinerlei Einfluss hat. Nach Wegnahme der „Störung“ durch die Last regelt sich NO_x wie man aus Abbildung 89 b erkennen kann, nach wenigen Sekunden auf 0 ppm aus. Die Last hat nach der Ausregelphase keinerlei Einfluss auf den NO_x-Ausstoß.

Abbildung 89: Fahrzeug 33 – AU-Prozedur mit eingeschalteten Verbrauchern – OBD-Daten und NO_x-Verlauf



4.12.4 Fazit zu Untersuchungen an Fahrzeugen mit Benzinmotor

Moderne Fahrzeuge mit Benzinmotor werden bei Lambda 1 betrieben, d. h. es befindet sich genau so viel Sauerstoff im Brennraum, wie für die vollständige Verbrennung der eingespritzten Kraftstoffmenge erforderlich ist. Der Drei-Wege-Katalysator ist das entscheidende Abgasnachbehandlungssystem. Bei einwandfreier Funktion des Drei-Wege-Katalysators und der Regelung des Kraftstoff-Luftgemisches auf Lambda 1 werden die drei Schadstoffkomponenten CO, HC und NO_x gleichzeitig minimiert.

In diesem Vorhaben wurden bei ausgewählten Benzinfahrzeugen die Stickoxide im ASM20-Zyklus, in Straßenkurzfahrten und auch mit der konventionellen AU-Methode im hohen Leerlauf gemessen. Die Messungen zeigen deutlich, dass ein funktionierender Drei-Wege-Katalysator bei einer Regelung des Kraftstoff-Luftgemisches auf Lambda 1 ±0,03 auch die NO_x-Emissionen ausreichend reduziert. Sowohl im ASM20 und bei Straßenkurzfahrten als auch im erhöhten Leerlauf sinkt die Stickoxidkonzentration schon nach kurzer Zeit bei Anspringen des Katalysators auf Werte von nahezu 0 ppm. Grundsätzlich sind alle untersuchten Verfahren auch für Fahrzeuge mit Fremdzündungsmotor anwendbar.

Bei der aktuellen AU für Benzinfahrzeuge mit geregelter Katalysator werden mit Hilfe von 4-Gasmessgeräten die Konzentrationen von CO, HC, CO₂ und O₂ im Abgas bei erhöhter Leerlaufdrehzahl (2.500 1/min) gemessen und daraus der Lambdawert zur Bestimmung des Kraftstoff-Luftverhältnisses berechnet. Die Funktion des Drei-Wege-Katalysators und der Motorregelung lassen sich durch die Messung der Konzentration von Kohlenmonoxid in Verbindung mit einer Bestimmung des Lambdawertes und dem Auslesen der OBD-Informationen (MIL-Status, Readinesscodes, Fehlercodes und Informationen zu Motortemperatur, Drehzahl und Signal der Lambdasonden) zuverlässig bewerten. Eine zusätzliche Messung der Stickoxide ist aufgrund der gegenseitigen Abhängigkeit der Konzentrationen von CO, HC und NO_x nicht erforderlich.

5 Diskussion der Ergebnisse

Insgesamt wurden 30 Fahrzeuge mit Dieselmotor sowie 3 Fahrzeuge mit Ottomotor untersucht. Die ersten 4 Untersuchungen an Fahrzeugen mit Dieselmotor dienten der Ermittlung geeigneter Konditionierungsmethoden. Im weiteren Verlauf wurden die Methoden ASM20/Kurzfahrt an 26 Dieselfahrzeugen validiert. Erweitert wurden diese Messungen durch die Einbeziehung der Hot Idling-Methode an insgesamt 14 Dieselfahrzeugen. An 4 Dieselfahrzeugen wurden zur Überprüfung des Verhaltens der Abgasnachbehandlungssysteme in die SCR-Systeme gezielt Fehler verbaut.

Um Abgasnachbehandlungssysteme zur Reduzierung von NO_x-Emissionen zuverlässig überprüfen zu können ist eine Fahrzeugkonditionierung erforderlich, die zu einer SCR-Temperatur von mindestens 180 °C führt, da die Systeme der in diesem Forschungsprogramm untersuchten Fahrzeuge erst ab diesen Temperaturen ihre volle katalytische Wirkung erreichen. Zur exakten Festlegung der erforderlichen SCR-Temperatur bedarf es individueller Informationen der Fahrzeughersteller (AU-Solldaten).

Die Auswertung der Messergebnisse führen zu folgenden wichtigen Erkenntnissen.

Mindestbedatung OBD erforderlich

Aus den Untersuchungen zur Fahrzeugkonditionierung lassen sich Anforderungen an das OBD-System ableiten, die erfüllt sein müssen, um eine ausreichende Konditionierung sicherzustellen und damit eine belastbare Messung der NO_x-Konzentrationen zu ermöglichen. Dazu sollten idealerweise folgende Parameter gehören:

- ▶ Abgastemperaturen (PID 78)
- ▶ Dosierbereitschaft (PID 88)
- ▶ Dosiermenge Reagenzmittel (PID 85)
- ▶ verbaute NO_x-Sonden (PID 83)

Festzuhalten ist, dass die SCR-Temperatur zwingend unter allen Bedingungen und Fahrzuständen für eine valide NO_x-Messung über OBD verfügbar sein muss, während die übrigen Parameter hilfreiche Ergänzungen für die Prüfung darstellen. Die Fahrzeughersteller sollten angehalten werden Auskunft darüber zu geben welche der verbauten Sonden für die Anzeige der SCR-Temperatur verantwortlich ist und welche Temperatur bzgl. der Aktivierung der Katalyse erreicht werden muss.

Der ASM20-Zyklus ist zur Konditionierung sehr gut geeignet

Der ASM20-Zyklus dient als sehr gute Grundlage für eine verlässliche NO_x-Messung mit der die erforderliche SCR-Temperatur von ca. 180 °C zuverlässig erreicht werden kann. Dabei kann mit einer Temperaturerfassung über OBD die Zuverlässigkeit erhöht und bei Erreichen der erforderlichen Prozesstemperatur die Messzeit verkürzt werden.

Die Kurzfahrt ist für die Konditionierung ungeeignet

Die Kurzfahrt ist in der aktuellen Definition (siehe 3.2.2) nicht geeignet. Bei fünf von 12 Fahrzeugen wurde die erforderliche SCR-Temperatur nicht erreicht, bei 6 Fahrzeugen nur knapp. Eine Weiterentwicklung dieser Methode mit einer zweistufigen Beschleunigung könnte Verbesserungen bringen, müsste aber in einem Folgeprojekt noch näher untersucht werden.

Die NO_x-Werte sind im ASM20-Zyklus und der Kurzfahrt zu volatil und können nicht bewertet werden

Da sich die Messwerte abhängig vom beteiligten System (AGR, NO_x-Speicherkatalysator, SCR) und dessen Temperatur stetig ändern und die Absolutwerte stark variieren, können die NO_x-Werte dieser Messphasen (Beschleunigungsphasen bei ASM20 und Kurzfahrt) für eine Beurteilung nicht herangezogen werden.

Eine Verhältnisbetrachtung zwischen Kalt- und Warmphase ist demzufolge nicht zielführend (siehe 4.5.2 und 4.5.3).

Die NO_x-Werte in der Leerlaufphase bleiben nach Warmfahrt stabil

Sinnvoll und zielführend ist eine Messung des NO_x-Verhaltens in einer Leerlaufphase nach einer Warmfahrt (ASM20, Stadtfahrt oder ähnlich), da damit bei allen gemessenen Fahrzeugen stabile Werte erzielt wurden. Die vergleichend gemessenen NO_x-Werte in der Leerlaufphase und bei arbeitendem SCR-System sind nahezu 0 bzw. unter 10 ppm bei M1 Fahrzeugen und unter 20 ppm bei N1 Fahrzeugen. Diese niedrigen Werte stellen besondere Anforderungen an die Messtechnik.

Die Fehlersimulationen konnten teilweise kompensiert werden

Die Unterschiede der Messwerte bei den im SCR-System mit Fehlern verbauten Fahrzeugen waren bei diesen Lastverhältnissen sehr gering (ca. 50 ppm), da die anderen Systeme eine gewisse Kompensation übernommen haben. Dies wurde bereits im Forschungsbericht „Fortentwicklung der Abgasuntersuchung (FKZ 37 17 57 1010)“ in Kapitel 5 ausführlich untersucht [1]. So kann beispielsweise ein defektes SCR-System teilweise durch eine erhöhte Abgasrückführrate kompensiert werden.

Schlussfolgerungen aus den Messergebnissen

Nach der Untersuchung aller 33 Fahrzeuge lässt sich feststellen, dass die ASM20-Methode und Kurzfahrt nicht vollumfänglich für die Bewertung der NO_x-Emissionen herangezogen werden können.

Dagegen bietet die in Kapitel 4.5 beschriebene Hot Idling Methode in Kombination mit der vorgenannten Fahrzeugkonditionierung (ASM20) ein für die NO_x-Messung geeignetes Messverfahren.

Funktionierende SCR-Systeme zeigen folgendes Verhalten:

- ▶ Niedrige NO_x-Werte (≤ 10 ppm bei M1-Fahrzeugen und ≤ 20 ppm bei N1-Fahrzeugen)
- ▶ Kein bzw. geringer NO_x-Anstieg innerhalb der Abkühlphase (z. B. 300 s)
- ▶ Lange Haltedauer der niedrigen NO_x-Werte (≥ 180 s)

Nicht funktionierende SCR-Systeme zeigen folgendes Verhalten:

- ▶ Hohe NO_x-Werte (> 10 ppm bei M1-Fahrzeugen und > 20 ppm bei N1-Fahrzeugen) trotz erreichter Systemtemperatur (≥ 180 °C)
- ▶ Starker NO_x-Anstieg unmittelbar nach Beginn der Leerlaufphase
- ▶ Keine bzw. geringe Haltedauer der NO_x-Werte

Die Unterschiede zwischen M1- und N1-Fahrzeugen spiegeln die unterschiedlichen Grenzwertstufen im Rahmen der Typgenehmigung wieder (vgl. Tabelle 4). Bei Fahrzeugen mit

mehreren komplexen Abgasnachbehandlungssystemen kann durch Kompensationsmaßnahmen der Abgassteuerung ein Defekt möglicherweise nicht sicher erkannt werden (siehe hierzu Beschreibung zu Abbildung 74), da die Detektionsschwelle im gegebenen Verfahren nicht überschritten wird.

Es besteht Handlungsbedarf bei Benzinfahrzeugen in Europa

NO_x muss bei Benzinfahrzeugen nicht extra erfasst werden, die derzeit erfassten Werte sind ausreichend, um entsprechende Rückschlüsse auf eine ausreichende NO_x-Minderung zu ziehen. Da in Europa gemäß Richtlinie 2014/45/EU [12] allerdings das OBD-Verfahren angewendet wird, ist die Wiedereinführung der Endrohrprüfung auch beim Benziner Grundvoraussetzung, damit neben CO, auch automatisch eine Aussage zur NO_x Konversion gemacht werden kann.

6 Arbeitspaket 3: Revisionsvorschlag für Richtlinie 2014/45/EU über die regelmäßige technische Überwachung von Kraftfahrzeugen

Die Richtlinie 2014/45/EU bildet für alle Mitgliedsstaaten der Europäischen Union den Rahmen für die Durchführung der periodisch technischen Überwachung von Kraftfahrzeugen. Der Erwägungsgrund 4 der Richtlinie räumt den Mitgliedstaaten ein, strengere Prüfkriterien als in dieser Richtlinie gefordert festzulegen. In den Erwägungsgründen 7 bis 9 stellt der europäische Richtliniengeber fest, dass Fahrzeuge mit schlecht funktionierenden Emissionsminderungssystemen in höherem Maße zur Umweltverschmutzung beitragen als angemessen gewartete Fahrzeuge. Demnach trägt ein System regelmäßiger technischer Überwachung zu einem besseren Umweltschutz durch Verringerung der durchschnittlichen Fahrzeugemissionen bei. Darüber hinaus sollten die Mitgliedstaaten geeignete Maßnahmen in Betracht ziehen, um unsachgemäßen Manipulationen oder Eingriffen an Fahrzeugteilen und Komponenten vorzubeugen, welche die erforderlichen sicherheits- und umwelttechnischen Eigenschaften des Fahrzeugs beeinträchtigen könnten. Der regelmäßigen technischen Überwachung wird hier in diesem Zusammenhang besondere Bedeutung beigemessen. Der Erwägungsgrund 9 der Richtlinie 2014/45/EU ist damit der ursächliche Auftrag für den hier vorliegenden Forschungsbericht. Bereits zum Zeitpunkt des Inkrafttretens der Richtlinie wurde konstatiert, dass zwar zum einen in den letzten 20 Jahren die Anforderungen für die Typgenehmigung im Bereich der Fahrzeugemissionen kontinuierlich verschärft wurden, aber sich die Luftqualität, trotz verschärfter Emissionsnormen für Fahrzeuge, vor allem im Hinblick auf Stickstoffoxide (NO_x) und Feinstaub nicht in dem prognostizierten Maße verbesserte. „Um Lösungen für die Zukunft zu erarbeiten, sollten Möglichkeiten einer Verbesserung der Prüfzyklen zur Simulation realer Betriebsbedingungen umfassend geprüft und Testmethoden für die Messung der NO_x-Werte sowie Grenzwerte für den NO_x-Ausstoß festgelegt werden“². Vor diesem Hintergrund wird nachfolgenden Übersichten, basierend auf den Erkenntnissen aus den durchgeführten Messungen und daraus abgeleiteten Prüfmethode, ein Vorschlag für ein NO_x Messverfahren im Rahmen der AU erarbeitet. Um bei Fahrzeugen mit Benzinmotor sicherzustellen, dass der Konvertierungsgrad des 3-Wege-Katalysators für die NO_x-Emissionen im optimalen Bereich liegt, muss unbedingt die bestehende Möglichkeit einer reinen OBD-Überprüfung für Euro 6/VI Fahrzeuge wieder rückgängig gemacht werden (siehe dazu Kapitel 4.12.4). Mit der Prüfprozedur „hoher Leerlauf“ und Kalkulation des Lambda-Wertes aus den im Endrohr gemessenen Abgaswerten CO, CO₂, NO_x und O₂ wird gewährleistet, dass auch die NO_x-Konversion optimal arbeitet und in einem sehr kleinen Bereich liegt.

Hierzu müssten in der Richtlinie 2014/45/EU, Anhang I die „Inhalte und Methoden der Prüfung sowie die Bewertung von Mängeln an Fahrzeugen“ unter Ziffer 8.2.1.2. Gasförmige Emissionen und 8.2.2.2. Abgastrübung wie folgt ergänzt werden:

² Erwägungsgrund 9 der Richtlinie 2014/45/EU des Europäischen Parlaments und des Rates über die regelmäßige technische Überwachung von Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeuganhängern und zur Aufhebung der Richtlinie 2009/40/EG.

Tabelle 7: Revisionsvorschlag für Richtlinie 2014/45/EU über die regelmäßige technische Überwachung von Kraftfahrzeugen

Text Richtlinie 2014/45/EU, Anhang I, Ziffer 8 „Abgasemissionen“	Änderungsvorschlag	Begründung
<p>8.2.1.2 Gasförmige Emissionen</p> <p>Bei Fahrzeugen bis zu den Emissionsklassen Euro 5 und Euro V: Messung mit Hilfe eines den Vorschriften entsprechenden Abgasanalysegeräts oder Auslesen des bordeigenen Diagnosesystems. Grundsätzlich erfolgt die Abgasprüfung anhand der Kontrolle der Auspuffabgase. Die Mitgliedstaaten können auf der Grundlage einer Gleichwertigkeitsbewertung und unter Berücksichtigung der einschlägigen Typgenehmigungsvorschriften die Verwendung des bordeigenen Diagnosesystems zulassen, wobei die Empfehlungen des Fahrzeugherstellers und andere Anforderungen beachtet werden müssen.</p> <p>Bei Fahrzeugen ab den Emissionsklassen Euro 6 und Euro VI: Messung mit Hilfe eines vorschriftsgemäßen Abgasanalysegeräts oder Auslesen des bordeigenen Diagnosesystems unter Beachtung der Empfehlungen des Herstellers und anderer Anforderungen. Bei Zweitaktmotoren werden keine Messungen vorgenommen.</p>	<p>Bei Fahrzeugen bis zu den Emissionsklassen Euro 5 und Euro V: Messung mit Hilfe eines den Vorschriften entsprechenden Abgasanalysegeräts. oder Auslesen des bordeigenen Diagnosesystems. Grundsätzlich erfolgt die Abgasprüfung anhand der Kontrolle der Auspuffabgase. Die Mitgliedstaaten können auf der Grundlage einer Gleichwertigkeitsbewertung und unter Berücksichtigung der einschlägigen Typgenehmigungsvorschriften die Verwendung des bordeigenen Diagnosesystems zulassen, wobei die Empfehlungen des Fahrzeugherstellers und andere Anforderungen beachtet werden müssen.</p> <p>Bei Fahrzeugen ab den Emissionsklassen Euro 6 und Euro VI: Messung mit Hilfe eines vorschriftsgemäßen Abgasanalysegeräts oder Auslesen des bordeigenen Diagnosesystems unter Beachtung der Empfehlungen des Herstellers und anderer Anforderungen. Bei Zweitaktmotoren werden keine Messungen vorgenommen.</p>	<p>Entfall des reinen Auslesens über OBD, da nur durch eine Messung der Abgase im Endrohr die korrekte Wirkung des 3-Wege-Katgalsators über die Messung der Leitkomponenten CO und Lambda überprüft werden kann. Über diese Messung ist sichergestellt, dass auch NO_x ausreichend reduziert wird.</p>
<p>8.2.2.2. Abgastrübung³</p> <p>Bei Fahrzeugen bis zu den Emissionsklassen Euro 5 und Euro V: Messung der Abgastrübung bei Beschleunigung (ohne Last) von der Leerlauf- bis zur Abregeldrehzahl, wobei sich der Gangschalthebel in neutraler Stellung befindet und die Kupplung nicht betätigt wird, oder Auslesen des OBD. Grundsätzlich erfolgt die Abgasprüfung anhand der Kontrolle der Auspuffabgase. Die Mitgliedstaaten können auf der Grundlage einer</p>	<p>Bei Fahrzeugen bis zu den Emissionsklassen Euro 5 und Euro V: Messung der Abgastrübung bei Beschleunigung (ohne Last) von der Leerlauf- bis zur Abregeldrehzahl, wobei sich der Gangschalthebel in neutraler Stellung befindet und die Kupplung nicht betätigt wird, oder Auslesen des OBD. Grundsätzlich erfolgt die Abgasprüfung anhand der Kontrolle der Auspuffabgase. Die Mitgliedstaaten können auf der Grundlage einer</p>	<p>Entfall des reinen Auslesens über OBD, da nur durch eine Messung der Abgase im Endrohr die korrekte Wirkung der Abgasnachbehandlung bei Dieselfahrzeugen überprüft werden kann.</p> <p>Mit diesen Streichungen kann auch die Empfehlung der EU-Kommission zur</p>

³ Fahrzeuge, die vor dem 1. Januar 1980 zugelassen oder in Betrieb genommen wurden, sind von dieser Vorschrift ausgenommen.

Text Richtlinie 2014/45/EU, Anhang I, Ziffer 8 „Abgasemissionen“	Änderungsvorschlag	Begründung
<p>Gleichwertigkeitsbewertung die Verwendung des OBD zulassen, wobei jedoch die Empfehlungen des Herstellers und andere Anforderungen zu beachten sind.</p> <p>Bei Fahrzeugen ab den Emissionsklassen Euro 6 und Euro VI:</p> <p>Messung der Abgastrübung bei Beschleunigung (ohne Last) von der Leerlauf- bis zur Abregeldrehzahl, wobei sich der Gangschalthebel in neutraler Stellung befindet und die Kupplung nicht betätigt wird, oder Auslesen des OBD unter Beachtung der Empfehlungen des Herstellers und anderer Anforderungen [...]</p> <p>8.2.2.3 NO_x-Messverfahren (neu)</p>	<p>Gleichwertigkeitsbewertung die Verwendung des OBD zulassen, wobei jedoch die Empfehlungen des Herstellers und andere Anforderungen zu beachten sind.</p> <p>Bei Fahrzeugen ab den Emissionsklassen Euro 6 und Euro VI:</p> <p>Messung der Abgastrübung bei Beschleunigung (ohne Last) von der Leerlauf- bis zur Abregeldrehzahl, wobei sich der Gangschalthebel in neutraler Stellung befindet und die Kupplung nicht betätigt wird, oder Auslesen des OBD unter Beachtung der Empfehlungen des Herstellers und anderer Anforderungen</p> <p>[...]</p> <p>Bei Fahrzeugen ab Euro 6d-TEMP Messung der NO_x-Konzentration im Leerlauf unmittelbar nach einer Konditionierungsfahrt (Stadtfahrt) oder anderen geeigneten Konditionierungsmethoden (z. B. Rolle unter Last mind. 500 N). Dabei ist sicherzustellen, dass die Temperatur im SCR-System mindestens 180 °C erreicht hat (z. B. Messen über EOBD PID78, Angabe der zu verwendenden Temperatur-Sonde nach Herstellervorgabe)</p> <p>1. Vorkonditionierung des Fahrzeugs:</p> <p>Stadtfahrt mit max. 50 km/h wechselnde Lastbedingungen, ca. 3 – 4 km. SCR-System-Temperatur muss über 180 °C liegen</p> <p>Alternativ:</p> <p>Warmfahrt auf einer Rolle mit ca. 500 N Last so lange, bis eine SCR-Temperatur von mind. 180 °C erreicht ist. Dabei über EOBD (PID78) die Abgastemperatur aufnehmen und nach Herstellervorgabe die entsprechende Sondenummer verwenden. Falls PID78 nicht bedatet ist dafür sorgen, dass die SCR-System-Temperatur erreicht ist.</p>	<p>PN-Messung [14] in die EU-Richtlinie übernommen werden.</p> <p>Ziffer 8.2.2.3 wird erforderlich um den Erwägungsgrund 9 der Richtlinie 2014/45/EU des Europäischen Parlaments und des Rates umzusetzen und somit das in diesem Forschungsbericht beschriebene NO_x-Messverfahren in die künftige PTI-Richtlinie zu integrieren.</p>

Text Richtlinie 2014/45/EU, Anhang I, Ziffer 8 „Abgasemissionen“	Änderungsvorschlag	Begründung
	<p>Die NO_x-Messung ist unmittelbar und unvermittelt nach Erreichen der SCR-Temperatur auszuführen (Abkühlung vor der Messung unbedingt vermeiden, Motor nach der Konditionierung nicht abstellen, sondern weiterlaufen lassen)</p> <p>2. Prüfverfahren:</p> <p>Messung der NO_x-Konzentration mit einem geeigneten Messgerät im Leerlauf unmittelbar und unvermittelt nach Erreichen der SCR-Temperatur.</p> <p>Nach jeweils weiteren 30 s bis zu einem Zeitraum von 300 s Messen und Speichern der NO_x-Werte und der dazu korrespondierenden SCR-Temperatur</p> <p>Liegt die NO_x-Konzentration bei M1 Fahrzeugen unter 10 ppm bzw. 20 ppm bei N1 Fahrzeugen, dann i. O.</p> <p>Ist NO_x-Wert größer als 10 ppm jedoch kleiner als 20 ppm bzw. größer als 20 ppm (N1) und kleiner als 40 ppm, ist zusätzlich die Speicherzeit des SCR-Systems zu messen</p> <p>NO_x (LL) zu NO_x (30 s) < 1,5 i. O.</p> <p>Ist NO_x-Wert größer als 20 ppm bzw. größer als 40 ppm (N1), dann n. i. O.</p>	

Für die Anpassung bzw. Ergänzung der nationalen Vorschriften bedarf es der Aufnahme eines möglichen NO_x-Messverfahrens in die einschlägigen Vorschriften der Straßenverkehrszulassungs-Ordnung (StVZO) und der AU-Richtlinie [2]. Für die Anpassung/Ergänzung der AU-Richtlinie wird nachfolgend ein Anpassungsvorschlag für die NO_x-Messung gemacht. In den Punkt 3.6.8 ist in der AU-Richtlinie die Funktionsprüfung Abgas mit NO_x Messung einzufügen:

Funktionsprüfung NO_x Messung (für Fahrzeuge ab Euro 6dtemp)

Fahrzeugkonditionierung:

1. Konditionierungsfahrt ca. 3 – 4- km mit max. 50 km/h wechselnde Lastbedingungen (Stadtfahrt mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten und Anhalten/Beschleunigen an Verkehrszeichen). SCR-System-Temperatur muss über 180 °C liegen

Alternativ:

2. Warmfahrt auf einer Rolle mit ca. 500 N Last so lange, bis eine SCR-Temperatur von mind. 180 °C erreicht ist. Dabei über EOBD (PID78) die Abgastemperatur aufnehmen und nach Herstellervorgabe die entsprechende Sondenummer verwenden. Falls PID78 nicht bedatet ist, dafür sorgen, dass die SCR -Temperatur von mind. 180 °C erreicht ist.

Alternativ eine andere geeignete Konditionierungsmethode unter Last bei der zuverlässig eine SCR- Temperatur von mind. 180 °C erreicht wird

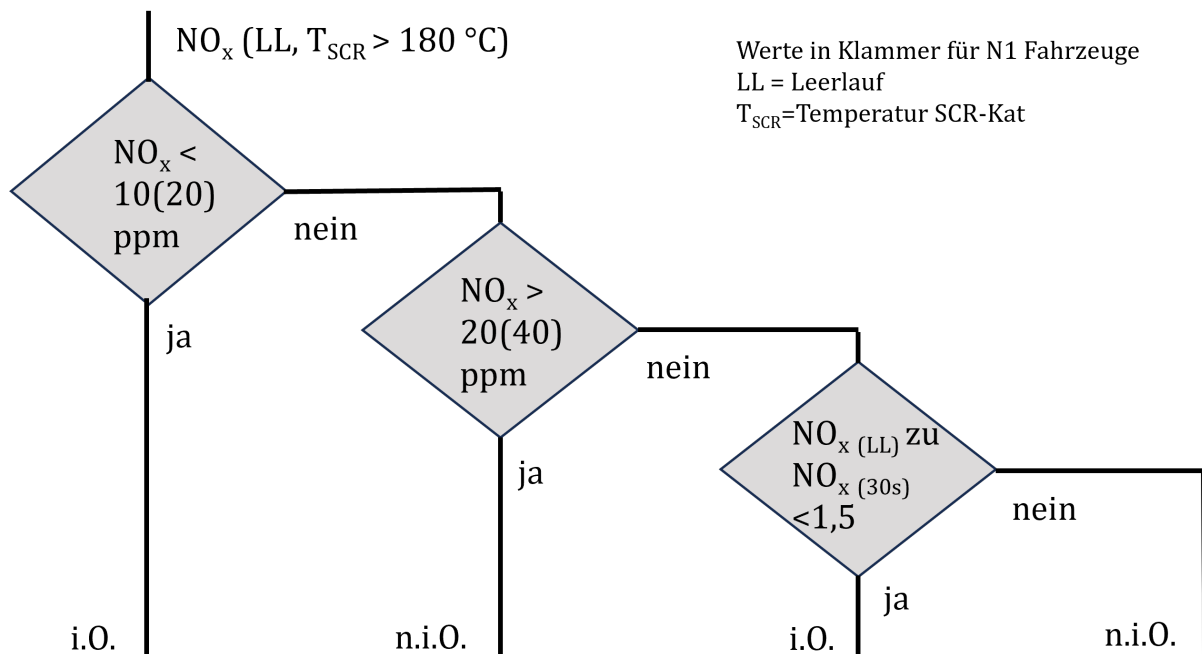
Prüfverfahren:

3. Messung der NO_x Konzentration mit einem NO_x-Messgerät im Leerlauf unmittelbar nach Erreichen der SCR-Temperatur von mind. 180 °C (Abkühlung vor der Messung unbedingt vermeiden)
4. Über einem Zeitraum von 300 s alle 30 s den NO_x-Wert messen und speichern, SCR-Temperatur ebenfalls erfassen (über OBD PID78 falls verfügbar) und speichern

Bewertung Ergebnis:

5. Liegt NO_x Konzentration unmittelbar nach Warmfahrt bei M1 Fahrzeugen unter 10 ppm bzw. 20 ppm bei N1 Fahrzeugen, dann i.O.
6. Ist NO_x-Wert größer als 10 ppm jedoch kleiner als 20 ppm bzw. größer als 20 ppm (N1) und kleiner als 40 ppm unmittelbar nach Warmfahrt, ist zusätzlich die Speicherzeit des SCR-Systems zu messen. Verhältnis $NO_{x(LL)}$ zu $NO_{x(30s)} < 1,5$ i. O.
7. Ist der NO_x-Wert größer als 20 ppm bzw. größer als 40 ppm (N1), dann n. i. O.

Abbildung 90: Ablaufdiagramm zu Prüfablauf "Hot Idling"



Im Rahmen der Abgastypprüfung werden neben den Messungen der Abgasemissionen auf dem Rollenprüfstand (Prüfung Typ 1, Auspuffemissionen nach Kaltstart) und im realen Straßenverkehr (Prüfung Typ 1a, RDE) auch die Leerlaufemissionen ermittelt (Typ 2 Prüfung). Die Typ 2 Prüfung wird direkt im Anschluss an die Typ 1 Prüfung durchgeführt und dient ebenfalls der Ermittlung von Daten für die technische Überwachung. Für Fahrzeuge mit Fremdzündungsmotor werden die CO-Konzentrationen sowie der Lambda-Wert im Leerlauf und bei einer erhöhten Leerlaufdrehzahl ermittelt. Für Fahrzeuge mit Kompressionszündungsmotor wird die Typ 2 Prüfung bisher nicht angewendet. Für eine Bewertung der NO_x-Konzentrationen von Dieselfahrzeugen im Rahmen der periodischen AU wäre eine Ermittlung geeigneter Vergleichsdaten bereits bei der Typprüfung sehr hilfreich. Eine Definition der entsprechenden Typ 2 Prüfung einschließlich der Ermittlung von Daten für die Technische Überwachung müsste in die europäischen Vorschriften für die Abgastypprüfung aufgenommen werden. Neben den gemessenen NO_x-Konzentrationen sollten auch die bei der Technischen Überwachung zu berücksichtigenden Randbedingungen, wie Motortemperatur und Temperatur am SCR-Katalysator, ermittelt werden. So könnten für die Bewertung der NO_x-Konzentrationen von Fahrzeugen mit Kompressionszündungsmotoren bei der periodischen AU typspezifische Grenzwerte herangezogen werden. Nur für den Fall, dass derartige spezifische Werte nicht vorliegen, ist ein noch zu definierender genereller Grenzwert heranzuziehen.

7 Quellenverzeichnis

- [1] Schneider, F.; Hahn, H.; Schulz, W.; Schmidt, H.; Wangrin, G.; Wecking, M.; Langwald, F.; (2020): Fortentwicklung der Abgasuntersuchung, Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau
- [2] AU-Richtlinie, Verkehrsblatt 20/2022, Seite 682; Änderung der Richtlinie für die Durchführung der Untersuchung der Abgase von Kraftfahrzeugen nach Nummer 6.8.2 der Anlage VIIIa Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung StVZO („AU-Richtlinie“)
- [3] KBA-Statistik (2020), Fahrzeugzulassungen (FZ), Bestand an Kraftfahrzeugen nach Umwelt-Merkmalen, 1. Januar 2020, FZ 13, https://www.kba.de/SharedDocs/Downloads/DE/Statistik/Fahrzeuge/FZ13/fz13_2020_pdf.pdf?__blob=publicationFile&v=1 (aufgerufen am 13. März 2024)
- [4] CITA International Motor Vehicle Inspection Committee. (2017). CITA SET II Project – Sustainable Emissions Testing. <https://citainsp.org/wp-content/uploads/2019/03/SET-II.pdf> (aufgerufen am 13. März 2024)
- [5] Knestel Technologie & Elektronik; NO_x-Messmethode „Kick-Down-NO_x“ für die zyklische Abgasuntersuchung. https://knestel.de/wp-content/uploads/2021/01/CLD_D-1.pdf (aufgerufen am 13. März 2024)
- [6] Jacopo Franzetti, J., Selleri, T., Ferrarese, C., Melas, A., Manara, D., Giechaskiel, B. and Suarez-Bertoa, R.; Assessment of a NO_x Measurement Procedure for Periodic Technical Inspection (PTI) of Light-Duty Diesel Vehicles (2023), <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC134215> (aufgerufen am 13. März 2024)
- [7] Selbststudienprogramm 526 von Volkswagen (2014), Die Dieselmotoren-Baureihe EA288 mit Abgasnorm EU6 – Konstruktion und Funktion, https://esperformance.net/ssp/vw/SSP_526_DE.pdf (aufgerufen am 13. März 2024)
- [8] Ost, T., Hartmann, M., Schmidt, H., Vogel, A. (2023); Leitfaden zur Begutachtung der Bedienerführung von AU-Messgeräten (Bedienerführung), Version 6 vom 01. Februar 2023
- [9] Fachartikel Zeitschrift „Krafthand“ (2018) „Der SCR-Katalysator – Aufbau und Funktion“ <https://www.krafthand.de/artikel/der-scr-katalysator-33839/> (aufgerufen am 13. März 2024)
- [10] Fachartikel Zeitschrift „Krafthand“ (2020) „Das Twindosing-System des VAG-Konzerns“ <https://www.krafthand.de/artikel/das-twindosing-system-des-vag-konzerns-53180/> (aufgerufen am 13. März 2024)
- [11] Verordnung (EG) Nr. 715/2007 (20. Juni 2007) <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32007R0715&from=de> (aufgerufen am 13. März 2024)
- [12] Richtlinie 2014/45/EU des Europäischen Parlaments und des Rates über die regelmäßige technische Überwachung von Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeuganhängern und zur Aufhebung der Richtlinie 2009/40/EG (3. April 2014), <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32014L0045&from=IT> (aufgerufen am 13. März 2024)
- [13] Lohninger, H., Fachartikel „Chemie im Alltag“, Abgaskatalysator (2013), <http://anorganik.chemie.vias.org/abgaskatalysator.html> (aufgerufen am 13. März 2024)

- [14] EMPFEHLUNG DER KOMMISSION vom 20.3.2023 über die Messung der Partikelzahl bei der regelmäßigen technischen Prüfung von Fahrzeugen mit Selbstzündungsmotor;
https://transport.ec.europa.eu/system/files/2023-03/C_2023_1796_DE.pdf (aufgerufen am 13. März 2024)

- [15] Umweltbundesamt, Luftdaten, Jahresbilanz, Stand 9. Februar 2024
<https://www.umweltbundesamt.de/daten/luft/luftdaten/jahresbilanzen/eJxrWpScv9B0UWXqEiMDI2MAMNQFuA==> (aufgerufen am 18. März 2024)

- [16] WHO Global Air quality guidelines (2021),
<https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/345329/9789240034228-eng.pdf?sequence=1&isAllowed=y> (aufgerufen am 18. März 2024)

A Anhang

A.1 Überblick Bedatung der Fahrzeuge

Abbildung 91: OBD-Bedatung der Fahrzeuge

Fahrzeug Nr.		1	2	3	4
Text		AP_1_1	AP_1_2	AP1_3	AP_1_4
Hersteller		Volkswagen	Mercedes	Skoda	Volkswagen
Typ		PASSAT	C-Klasse 220d	KODIAQ	TIGUAN
Leistung		2.0 140KW	2.0 143KW	2.0 176KW	2.0/110KW
Emission Code		36DG	36AG	36DG	36AG
Erstzulassung		12.12.2019	17.01.2019	08.10.2019	10.10.2018
PID Nr.	PID Bezeichnung	Abdeckung (Summe)			
01	Readinesscode	x	x	x	x
04	Berechneter Lastwert 1)	x		x	x
05	Kühlmitteltemperatur	x	x	x	x
0C	Motordrehzahl	x	x	x	x
0D	Fahrgeschwindigkeit	x	x	x	x
2C	AGR Rate				
2D	AGR Fehler				
69	AGR Rate	x		x	x
78/79	Abgastemperatur	x (4)		x (4)	x (4)
7A/7B	Differenzdruck Partikelfilter				
7C	Partikelfilter Temperatur				
7D	NO _x NTE Kontrollsystem Status				
7E	PM NTE Kontrollsystem Status				
83	NO _x Sensor Unterstützung und Wert	x (2)		x (2)	x (2)
85	NO _x Kontroll System (Info zu Reagenz)	x	x	x	x
86	Partikelsensor				
88	SCR-Anreizsystem (aktueller Status)	x	x	x	x
8B	Diesel Abgasnachbehandlungssystem	x		x	x
8F	Partikelmasse Sensor				

Anmerkung:

(n) bedeutet n Sensoren verfügbar

(0) bedeutet supportet aber kein Wert

1) erst später mit einem SW-Update hinzugefügt, deshalb nicht bewertet

		Fahrzeug Nr.	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
		Text	AP2.1_5	AP2.1_6	AP2.1_7	AP2.1_8	AP2.1_9	AP2.1_10	AP2.1_11	AP2.1_12	AP2.1_13	AP2.1_14	AP2.1_15	AP2.1_16
		Hersteller	Mercedes	Mercedes	Mercedes	Peugeot	Citroen	Ford	Volvo	VW	Opel	Ford	Mitsubishi	Audi
		Typ	B180d	CLS400d	C300d	508	Jumper N1	Kuga	V60	Crafter N1	Vivaro N1	Mondeo	ASX	A3
		Leistung	2.0/85KW	3.0/243KW	2.0/195KW	1.5/96KW	2.2/121KW	2.0/140KW	2.0/145KW	2.0/103 KW	2.0/110KW	2.0/140KW	2.2/110KW	2.0/135KW
		Emission Code	36AP	36AP	36AP	36AP	36A0	36AP	36AP	36AR	36AN	36DG	36W0 (6b)	36W0 (6b)
		Erstzulassung	29.06.2021	28.01.2022	13.01.2022	09.04.2021	15.06.2020	15.06.2021	02.06.2021	12.05.2022	20.07.2021	02.04.2020	01.01.2017	01.01.2014
		Abdeckung (Summe)												
PID Nr.	PID Bezeichnung													
01	Readinesscode	37	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
04	Berechneter Lastwert 1)					x	x					x	x	x
05	Kühlmitteltemperatur	37	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
0C	Motordrehzahl	37	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
0D	Fahrgeschwindigkeit	37	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
2C	AGR Rate	12				x	x		x	x	x		x	
2D	AGR Fehler	12				x	x		x	x	x		x	
69	AGR Rate	25						x	x	x		x		x
78/79	Abgastemperatur	25						x(2)		x(4)		x(2)		x(4)
7A/7B	Differenzdruck Partikelfilter	18				x	x	x		x	x	x		
7C	Partikelfilter Temperatur	2												
7D	NO _x NTE Kontrollsystem Status	0												
7E	PM NTE Kontrollsystem Status	0												
83	NO _x Sensor Unterstützung und Wert	25				x(1)	x(1)	x(1)	x(0)	x(2)	x (2)	x(2)		
85	NO _x Kontroll System (Info zu Reagenz)	30	x	x	x	x		x	x	x		x		
86	Partikelsensor	0												
88	SCR-Anreizsystem (aktueller Status)	33	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		
8B	Diesel Abgasnachbehandlungssystem	28	x	x	x			x	x	x		x		
8F	Partikelmasse Sensor	11				x		x	x	x		x		

Anmerkung:
(n) bedeutet n Sensoren verfügbar
(0) bedeutet supportet aber kein Wert
1) erst später mit einem SW-Update hinzugefügt, deshalb nicht bewertet

TEXTE Weiterentwicklung der Abgasuntersuchung (AU) – Erprobung von NO_x-Messverfahren in der Fläche“–Schlussbericht

Fahrzeug Nr.	Text	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
		AP2.2_17	AP2.2_18	AP2.2_19	AP2.2_20	AP2.2_21	AP2.2_22	AP2.2_23	AP2.2_24	AP2.2_25	AP2.2_26	AP2.2_27	AP2.2_28	AP2.2_29	AP2.2_30
Hersteller	BMW	Mercedes	Renault	Hyundai	MAN	Opel	BMW	Hyundai	Skoda	VW	Fiat	Mitsubishi	VW	Audi	
Typ	520d	Sprinter	Kangoo	Tucson	TGE	Vivaro	540d	Tucson	Ocatvia	Touran	Tipo	L200	Touran	A7	
Leistung	2.0/140KW	2.0/125 KW	1.5/85 KW	1.6/100 KW	2.0/130 KW	2.0/90 KW	3.0/250 KW	1.6/100 KW	2.0/110 KW	2.0/110 KW	1.3/70kW	2.3/110kW	2.0/110 KW	2.0/150kW	
Emission Code	36AP M1	36AR N1/III	36CH N1/II	36DG M1	36CI N1/III	36AN N1/II	36AP M1	36AP M1	36AP M1	36AP M/N1	36DG M1	36CI N1/III	36DG M1	36AP M1	
Erstzulassung	08.10.2021	23.06.2022	28.11.2019	09.09.2019	01.2020	15.07.2021	14.04.2022	19.09.2022	12.07.2022	13.09.2022	04.09.2019	21.09.2021	01.09.2020	09.2022	
PID Nr.	PID Bezeichnung	Abdeckung (Summe)													
01	Readinesscode	37	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
04	Berechneter Lastwert 1)						x		x	x	x			x	x
05	Kühlmitteltemperatur	37	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
0C	Motordrehzahl	37	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
0D	Fahrgeschwindigkeit	37	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
2C	AGR Rate	12			x		x						x		
2D	AGR Fehler	12			x		x						x		
69	AGR Rate	25	x		x	x			x	x	x	x	x	x	x
78/79	Abgastemperatur	25	x(3)		x(4)	x(4)		x	x(4)	x(4)	x(4)	x(4)	x(3)	x(4)	x(4)
7A/7B	Differenzdruck Partikelfilter	18	x		x	x		x(3)	x	x	x	x			x
7C	Partikelfilter Temperatur	2													
7D	NO _x NTE Kontrollsystem Status	0													
7E	PM NTE Kontrollsystem Status	0													
83	NO _x Sensor Unterstützung und Wert	25	x(0)		x(0)		x			x(2)	x(2)	x(2)	x(2)	x(2)	x(0)
85	NO _x Kontroll System (Info zu Reagenz)	30	x	x	x			x(0)		x	x	x	x	x	x
86	Partikelsensor	0						x							
88	SCR-Anreizsystem (aktueller Status)	33	x		x	x	x		x	x	x	x	x	x	x
8B	Diesel Abgasnachbehandlungssystem	28	x	x	x	x		x	x	x	x			x	x
8F	Partikelmasse Sensor	11				x		x	x	x	x				

Anmerkung:

(n) bedeutet n Sensoren verfügbar

(0) bedeutet supportet aber kein Wert

1) erst später mit einem SW-Update hinzugefügt, deshalb nicht bewertet

Fahrzeug Nr.		31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
Text		AP2.2_31	AP2.2_32	AP2.2_33	Fahrzeuge nur OBD-Daten erfasst - keine weiteren NO _x Messungen durchgeführt						
Hersteller		Seat	Peugeot	Kia	Volvo	Dacia	BMW	BMW	Renault	VW	BMW
Typ		Ibiza	5008	Ceed	XC 60 D4	Duster	M550d	318D	Master	Golf	X1 18d
Leistung		1.0TSI/70KW	1.2/96KW	1.0/74KW		1.5/85KW	3.0/250 KW	2.0/110KW	2.3/100KW	1.6/85KW	2.0/110
Emission Code		36DG M1	36AG M1	36AP M1		36AP	36AP	36BG	36CI	36AG	36DG
Erstzulassung		09/2020	12/2018	01/2023		15.12.2020	01.09.2021	29.11.2018	11.03.2021	26.10.2018	16.12.2019
Abdeckung (Summe)											
PID Nr.	PID Bezeichnung										
01	Readinesscode	37	x	x	x	x	x	x	x	x	x
04	Berechneter Lastwert 1)			x	x						
05	Kühlmitteltemperatur	37	x	x	PID67	x	x	x	x	x	x
0C	Motordrehzahl	37	x	x	x	x	x	x	x	x	x
0D	Fahrgeschwindigkeit	37	x	x	x	x	x	x	x	x	x
2C	AGR Rate	12			x	x			x		
2D	AGR Fehler	12			x	x			x		
69	AGR Rate	25			x	x	x	x	x	x	
78/79	Abgastemperatur	25				x(4)	x(4)	x(3)	x(4)	x(4)	
7A/7B	Differenzdruck Partikelfilter	18				x	x	x	x		
7C	Partikelfilter Temperatur	2				x			x		
7D	NO _x NTE Kontrollsystem Status	0									
7E	PM NTE Kontrollsystem Status	0									
83	NO _x Sensor Unterstützung und Wert	25				x(1)		x(2)	x(2)	x(2)	
85	NO _x Kontroll System (Info zu Reagenz)	30			x	x	x	x	x	x	
86	Partikelsensor	0									
88	SCR-Anreizsystem (aktueller Status)	33			x	x	x	x	x	x	
8B	Diesel Abgasnachbehandlungssystem	28			x	x	x	x	x	x	
8F	Partikelmasse Sensor	11	x			x			x		

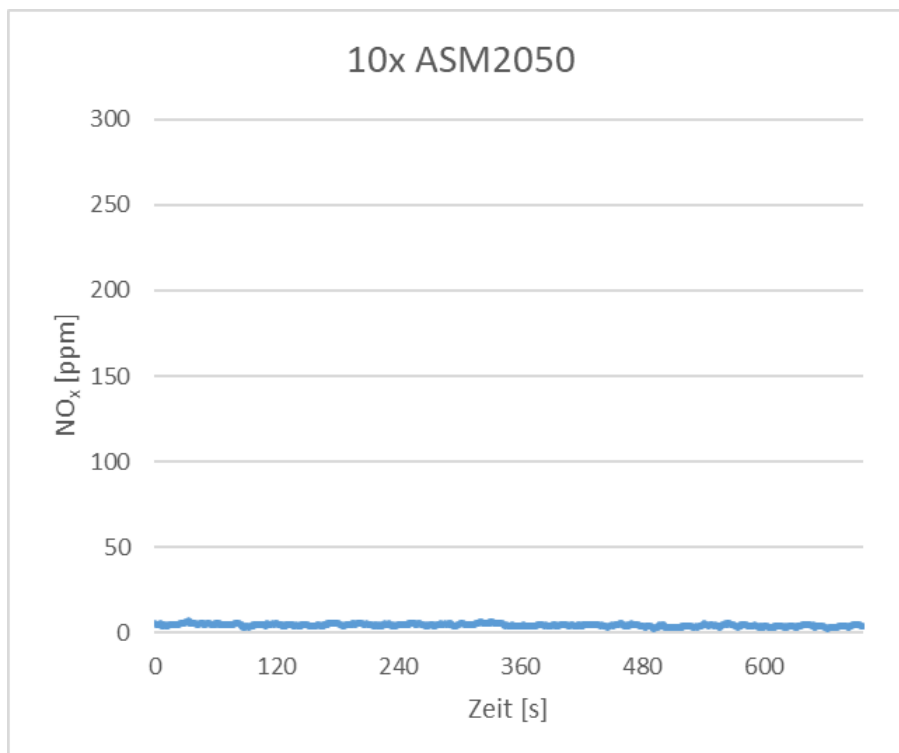
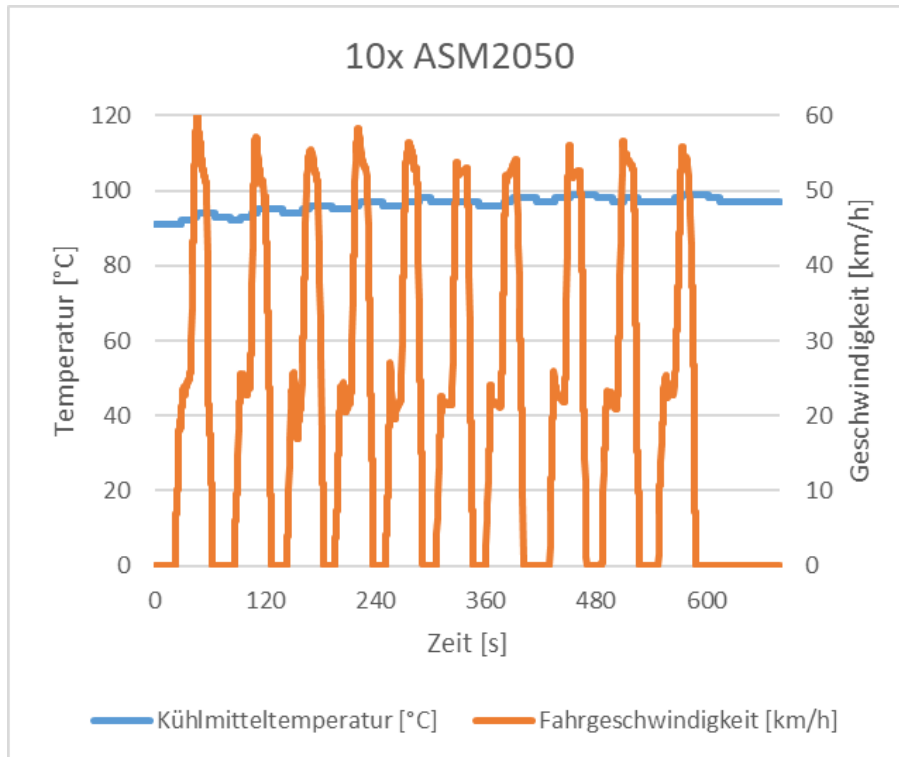
Anmerkung:
(n) bedeutet n Sensoren verfügbar
(0) bedeutet supportet aber kein Wert
1) erst später mit einem SW-Update hinzugefügt, deshalb nicht bewertet

A.2 Messergebnisse Fahrzeug 5-16

A.2.1 ASM20-Fahrzyklen

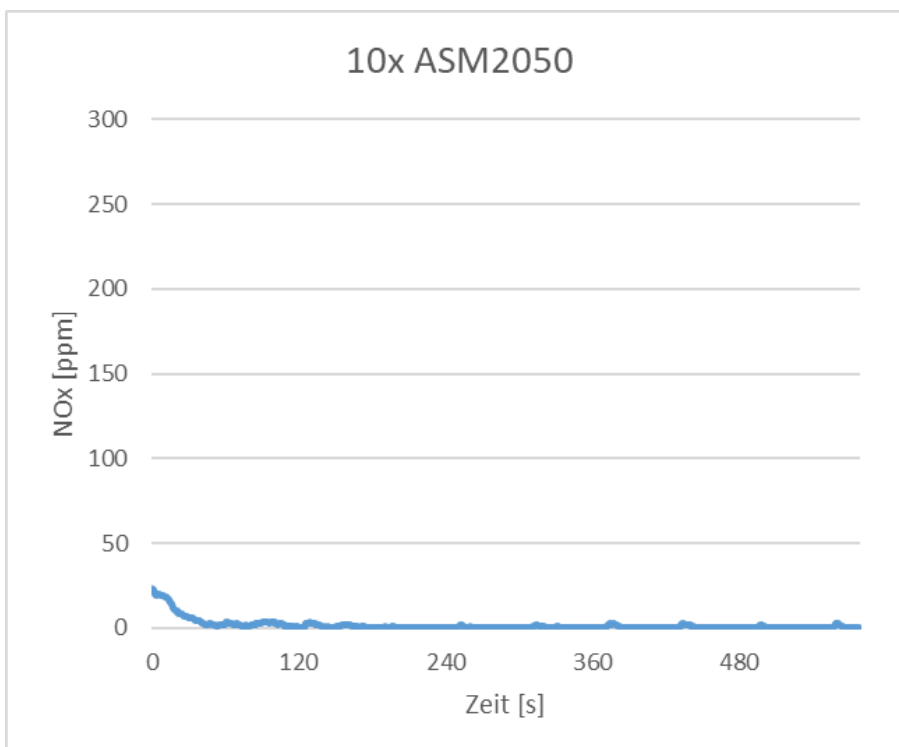
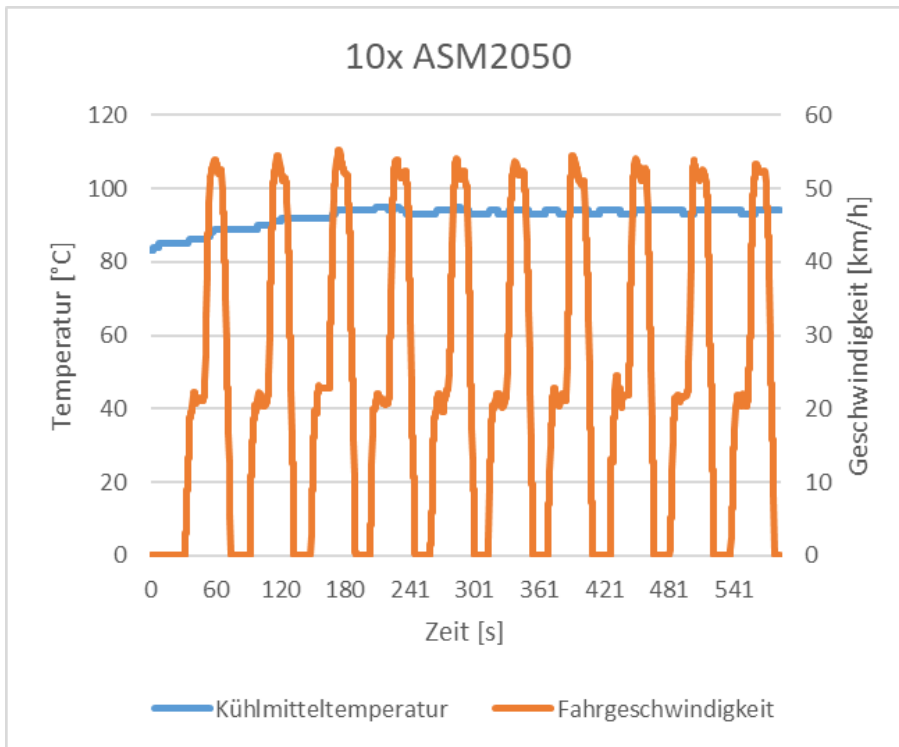
Fahrzeug 5: Mercedes B180d

Abbildung 92: Fahrzeug 5 – 10x ASM2050 – OBD-Daten und NO_x-Verlauf



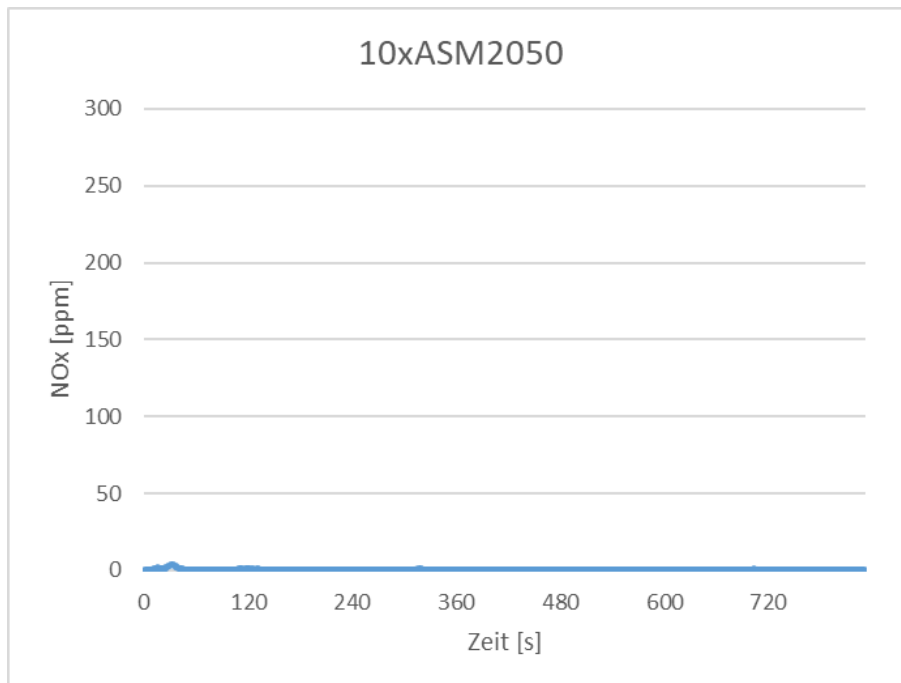
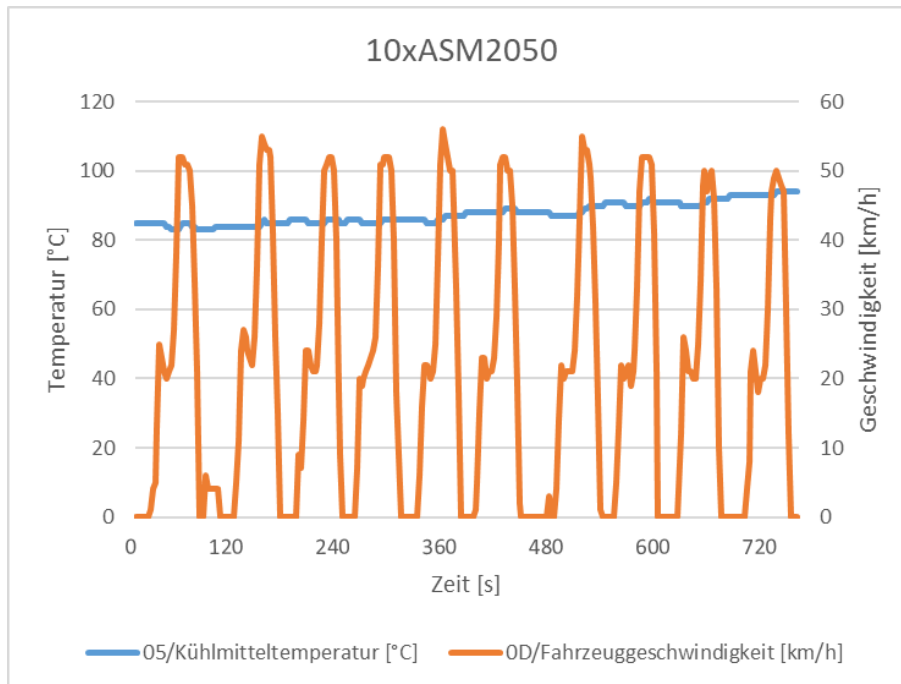
Fahrzeug 6: CLS400d

Abbildung 93: Fahrzeug 6 – 10x ASM2050 – OBD-Daten und NO_x-Verlauf



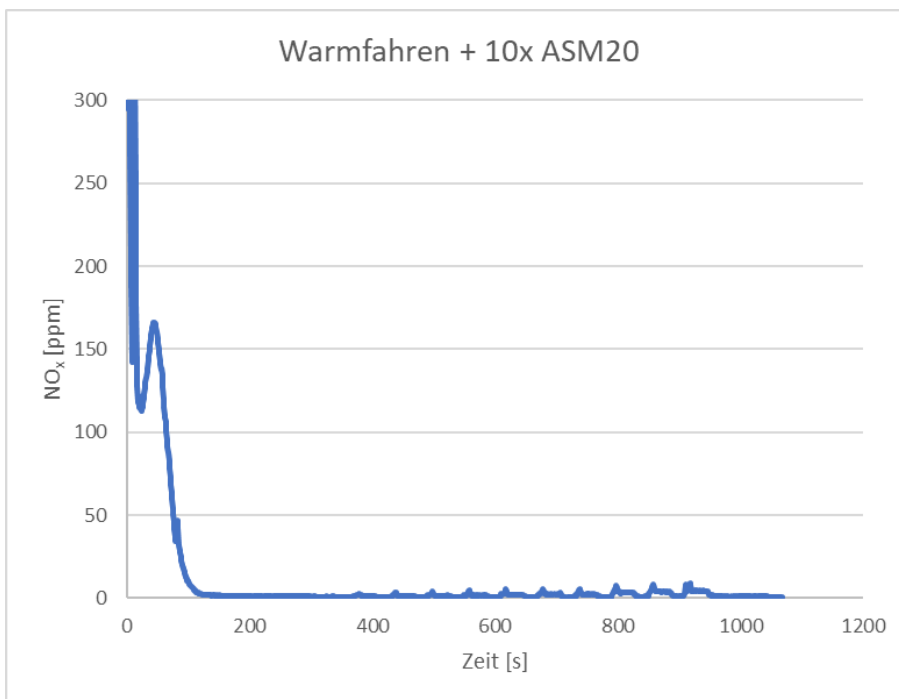
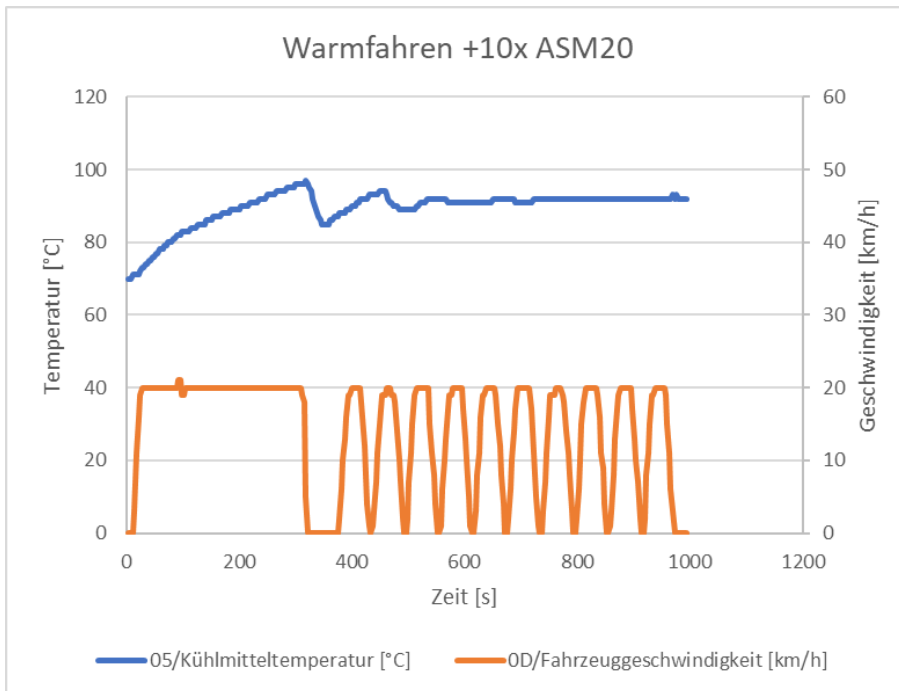
Fahrzeug 7: Mercedes-Benz C300d

Abbildung 94: Fahrzeug 7 – 10x ASM2050 – OBD-Daten und NO_x-Verlauf



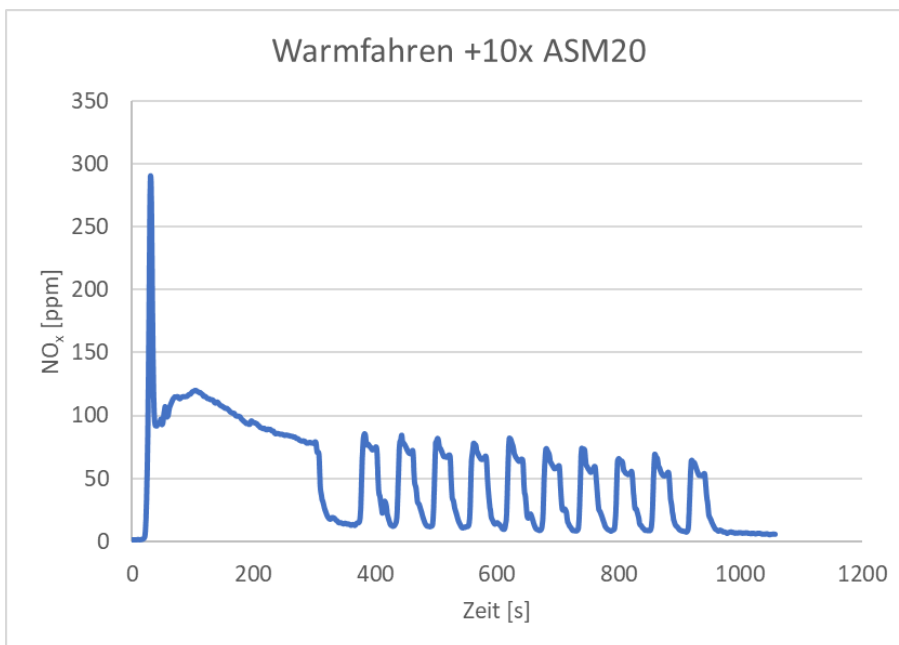
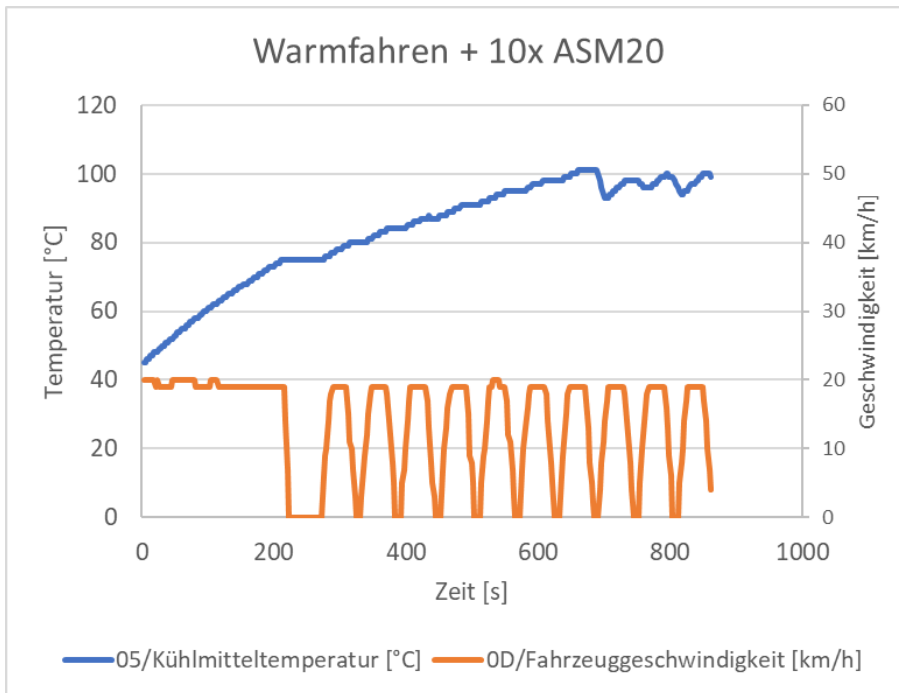
Fahrzeug 8: Peugeot 508

Abbildung 95: Fahrzeug 8 – 10x ASM20 – OBD-Daten und NO_x-Verlauf



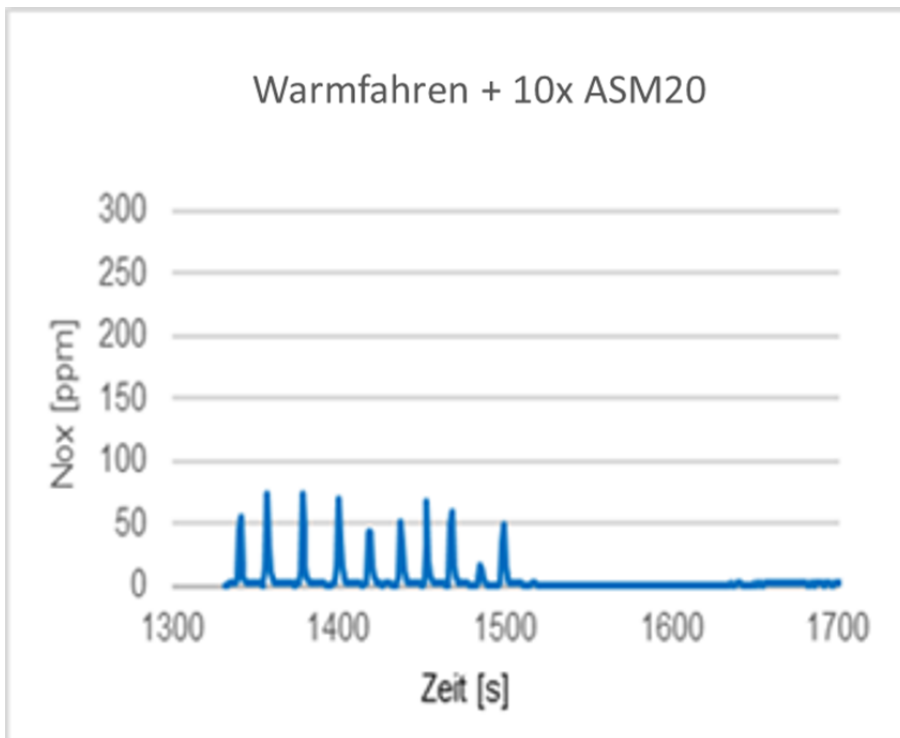
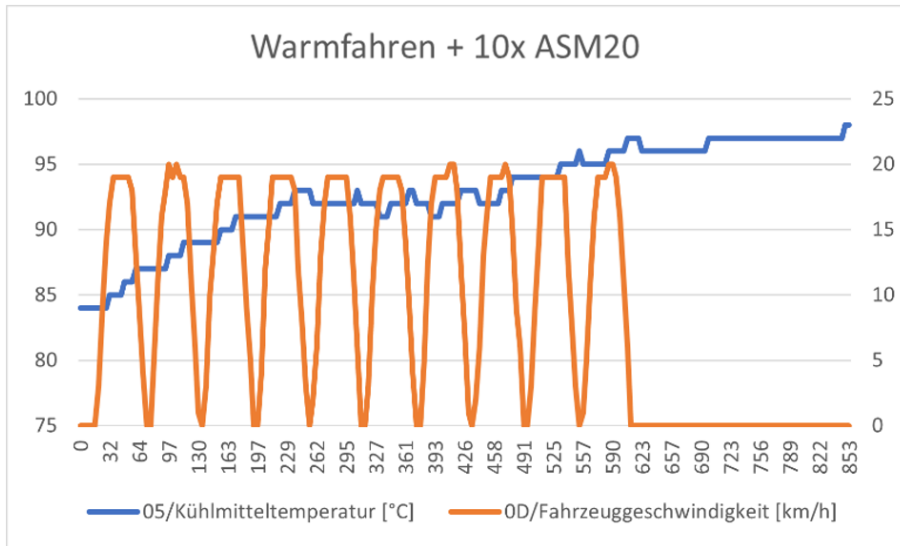
Fahrzeug 9: Citroen Jumper

Abbildung 96: Fahrzeug 9 – 10x ASM20 – OBD-Daten und NO_x-Verlauf



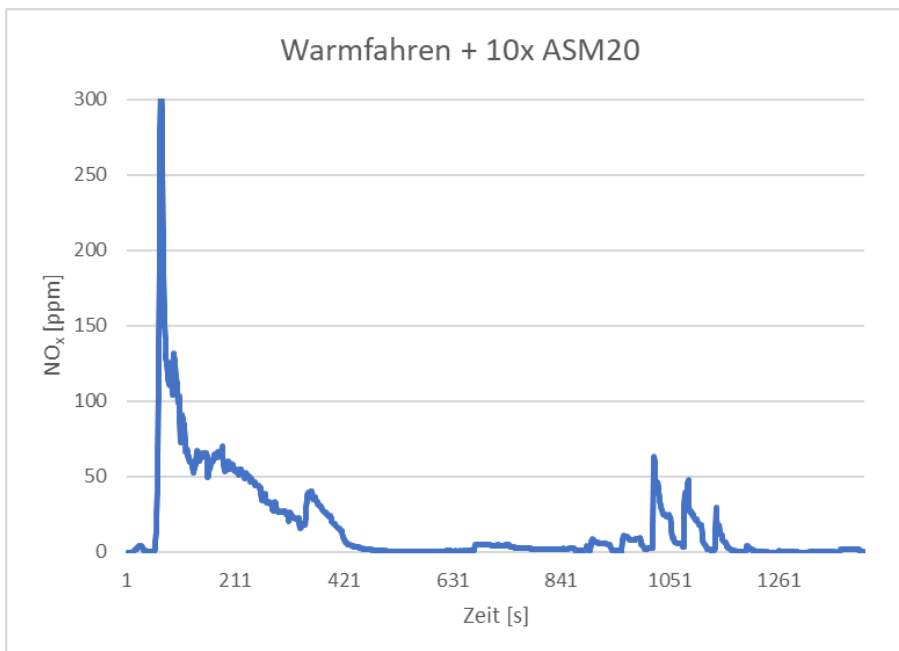
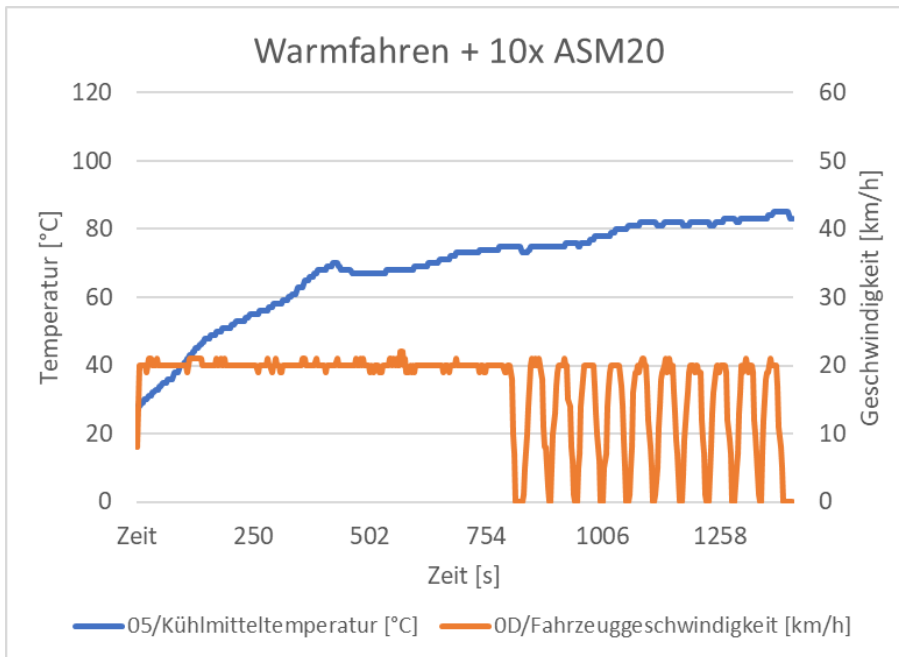
Fahrzeug 10: Ford Kuga

Abbildung 97: Fahrzeug 10 – 10x ASM20 – OBD-Daten und NO_x-Verlauf



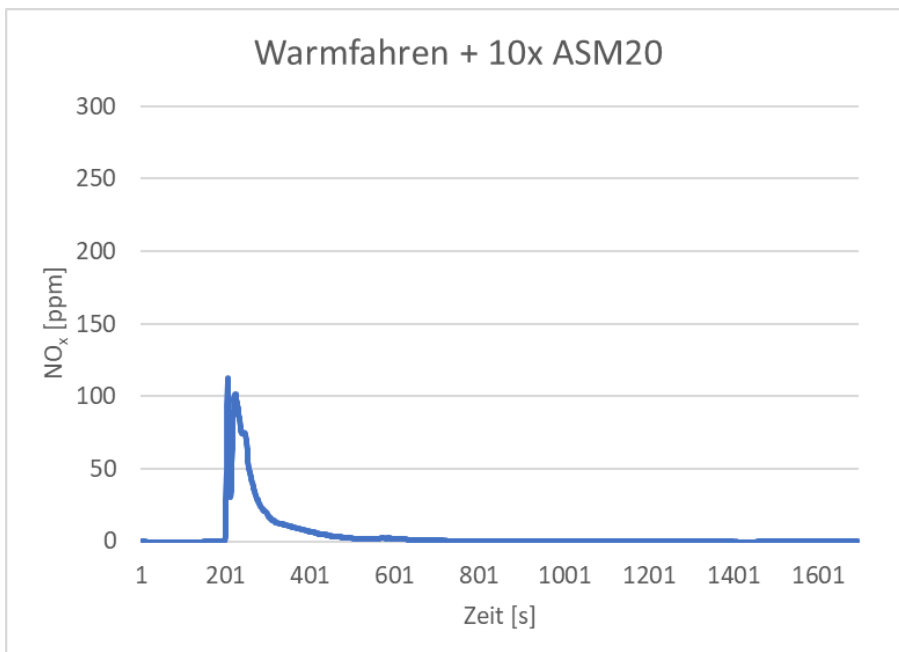
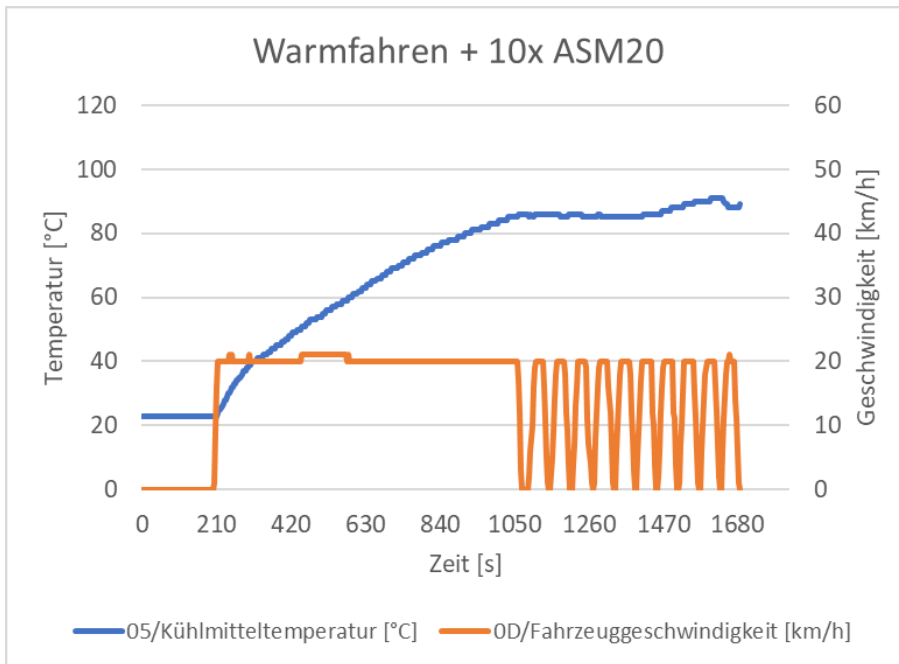
Fahrzeug 11: Volvo V60

Abbildung 98: Fahrzeug 11 – 10x ASM20 – OBD-Daten und NO_x-Verlauf



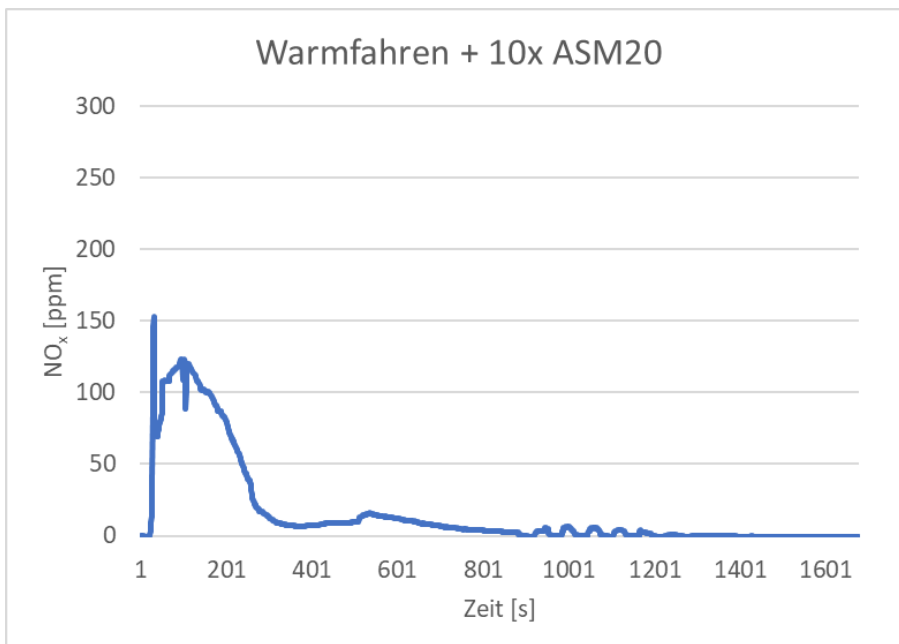
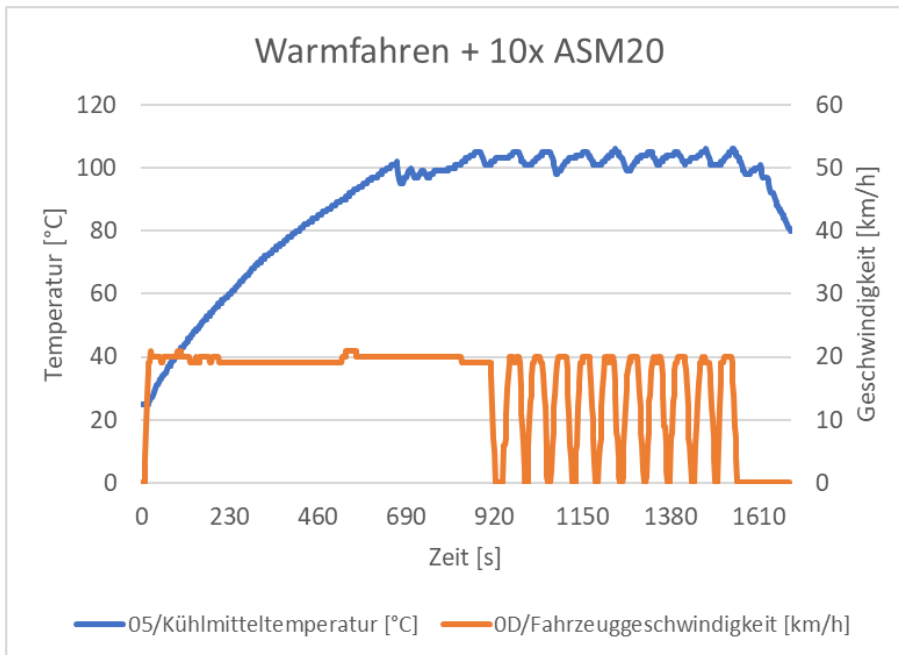
Fahrzeug 12: Volkswagen Crafter

Abbildung 99: Fahrzeug 12 – 10x ASM20 – OBD-Daten und NO_x-Verlauf



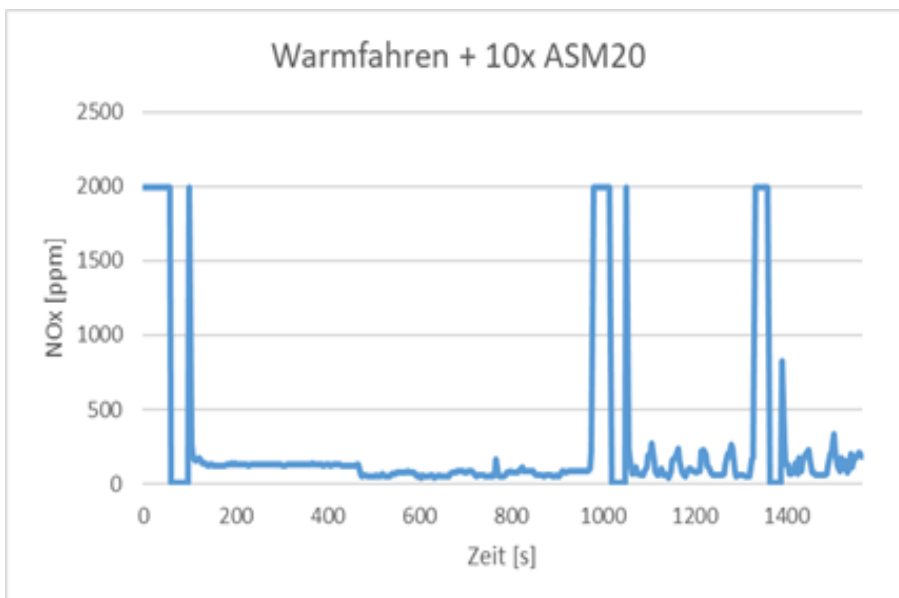
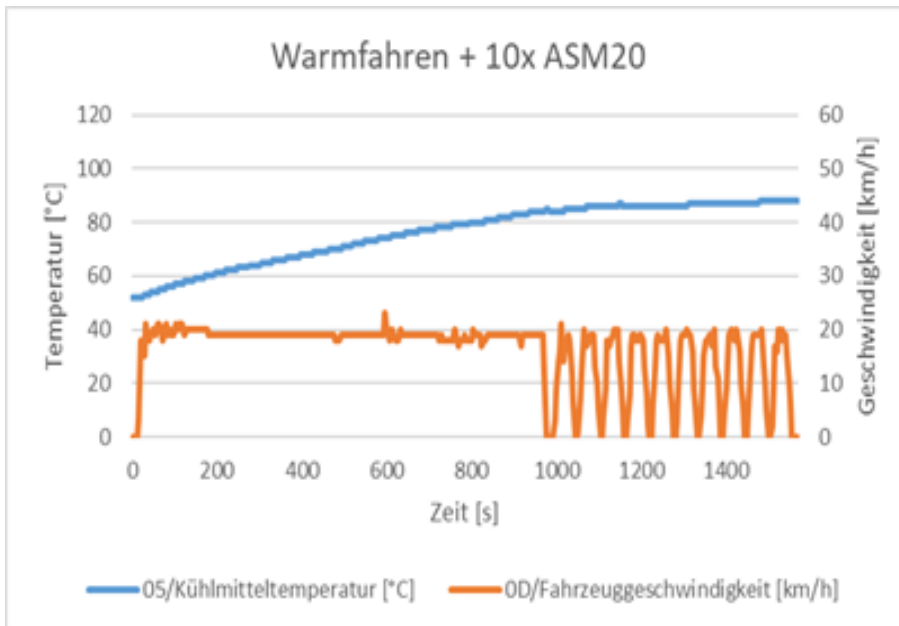
Fahrzeug 13: Opel Vivaro

Abbildung 100: Fahrzeug 13 – 10x ASM20 – OBD-Daten und NO_x-Verlauf



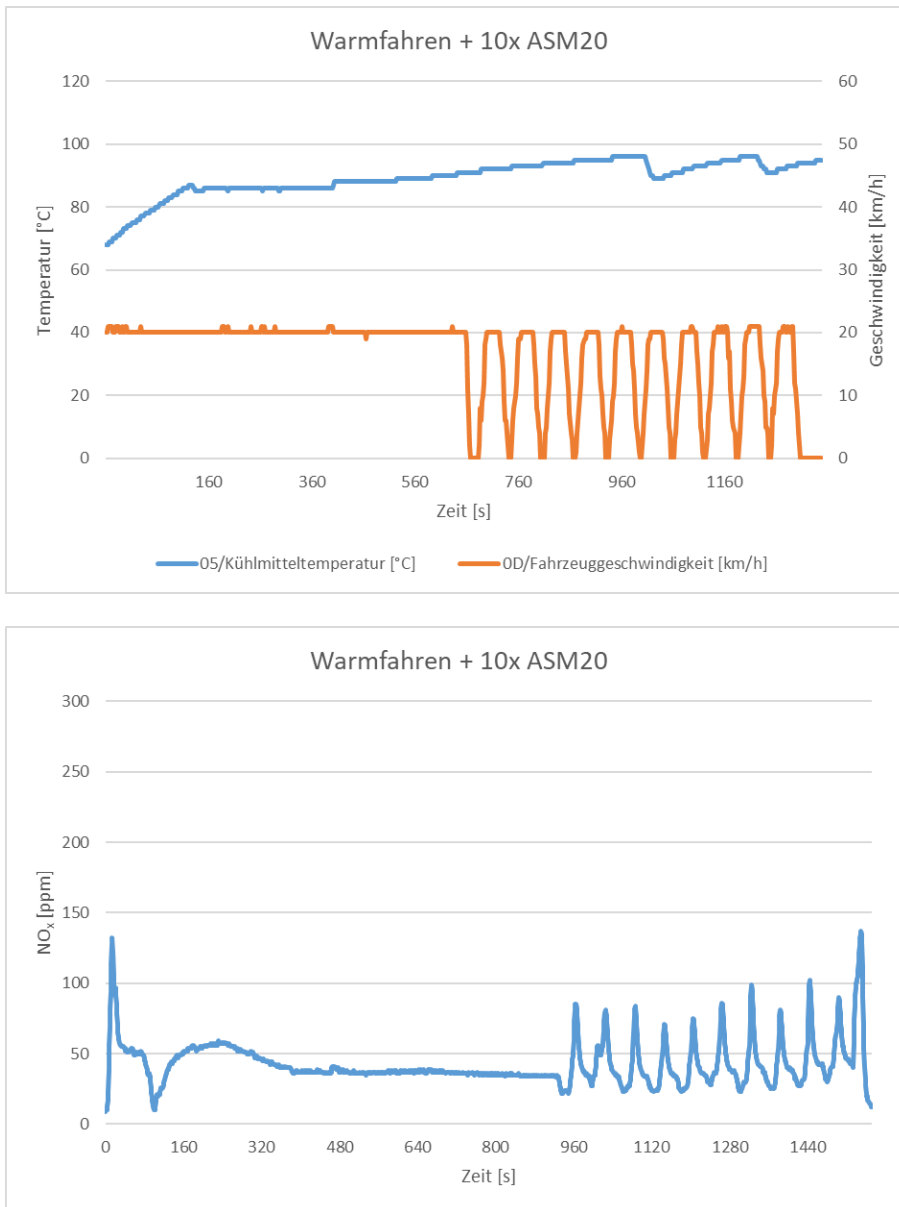
Fahrzeug 14: Ford Mondeo

Abbildung 101: Fahrzeug 14 – 10x ASM20 – OBD-Daten und NO_x-Verlauf



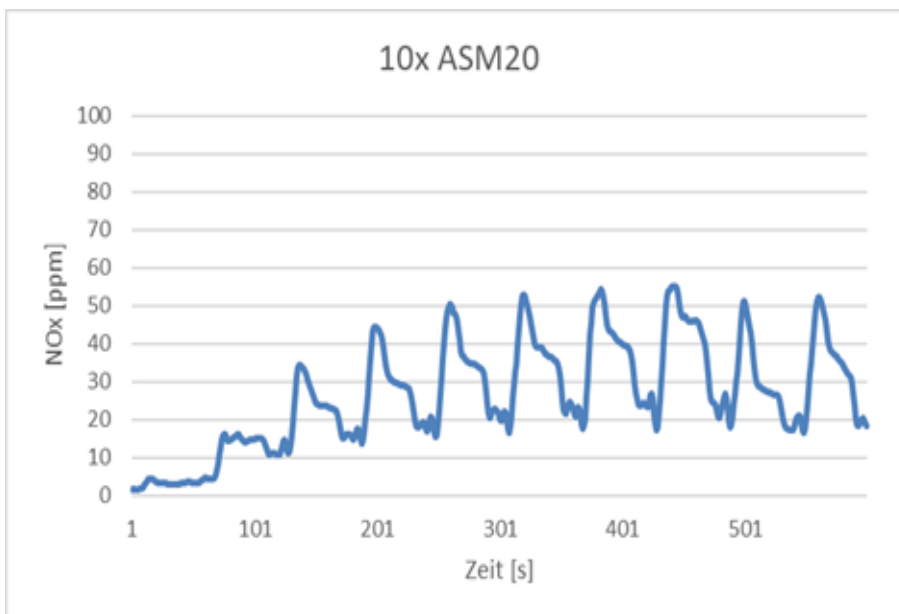
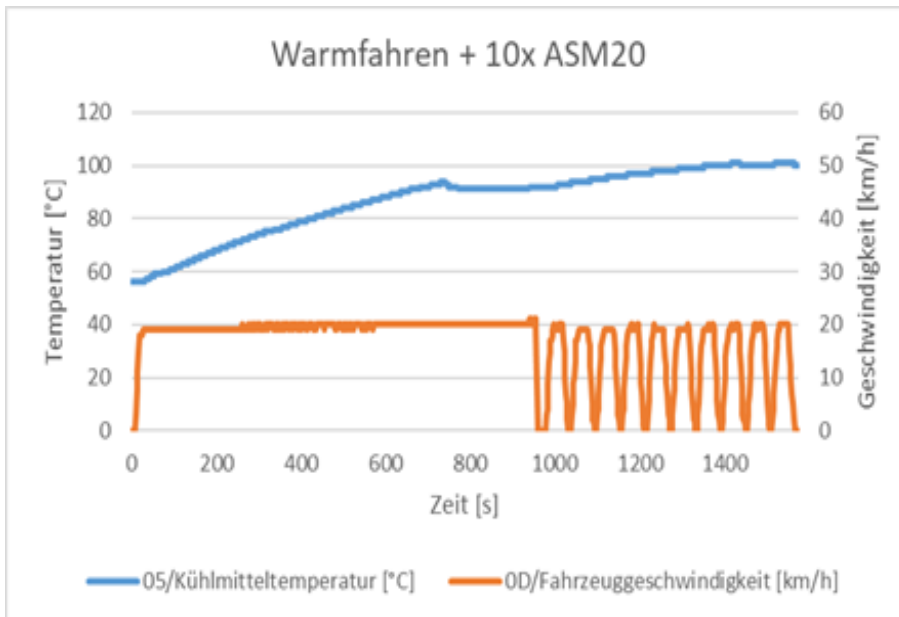
Fahrzeug 15: Mitsubishi ASX (Euro 6b)

Abbildung 102: Fahrzeug 15 – 10x ASM20 – OBD-Daten und NO_x-Verlauf



Fahrzeug 16: Audi A3 (Euro 6b)

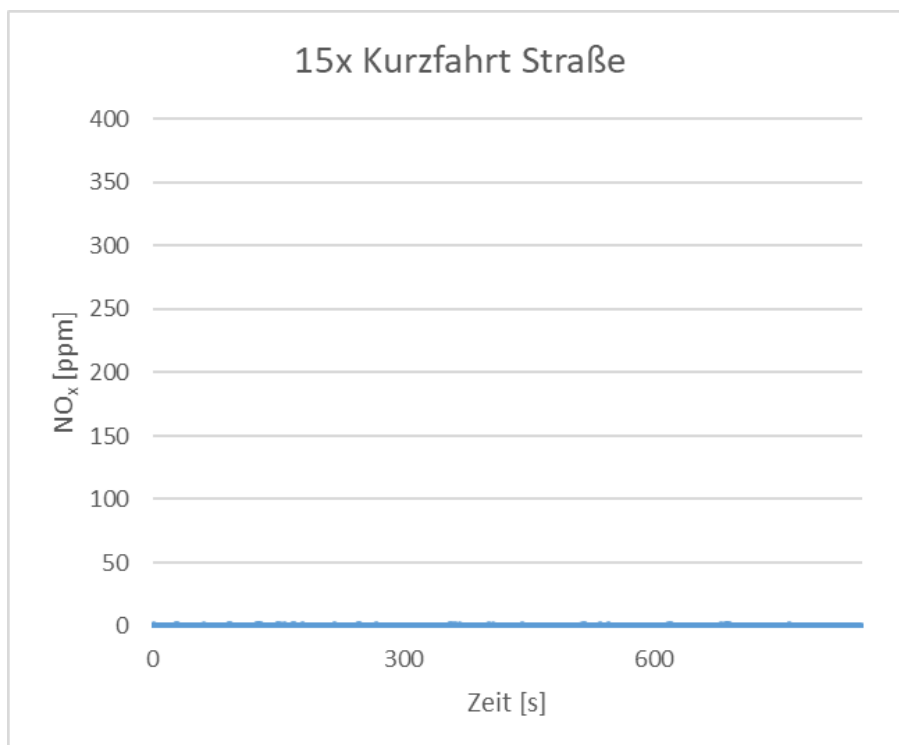
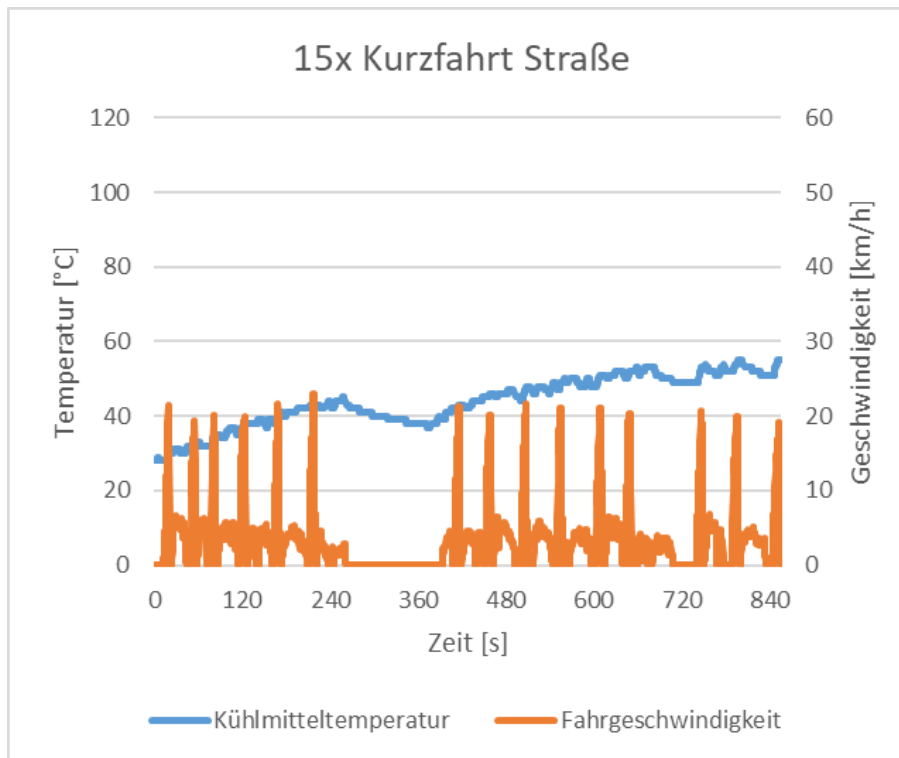
Abbildung 103: Fahrzeug 16 – 10x ASM20 – OBD-Daten und NO_x-Verlauf



A.2.2 Kurzfahrt Straße

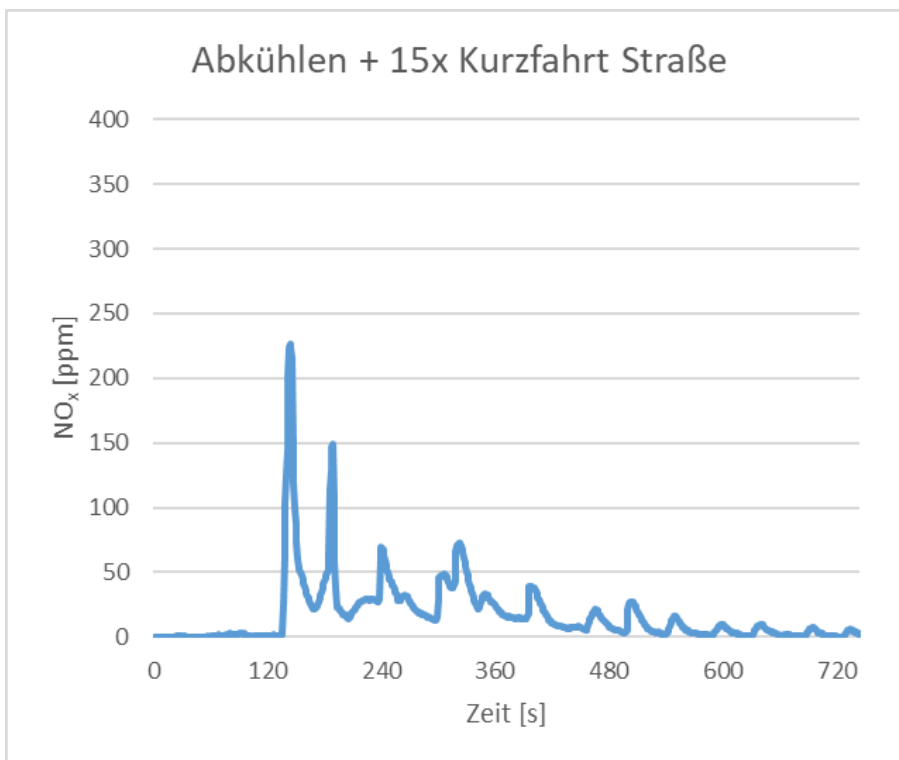
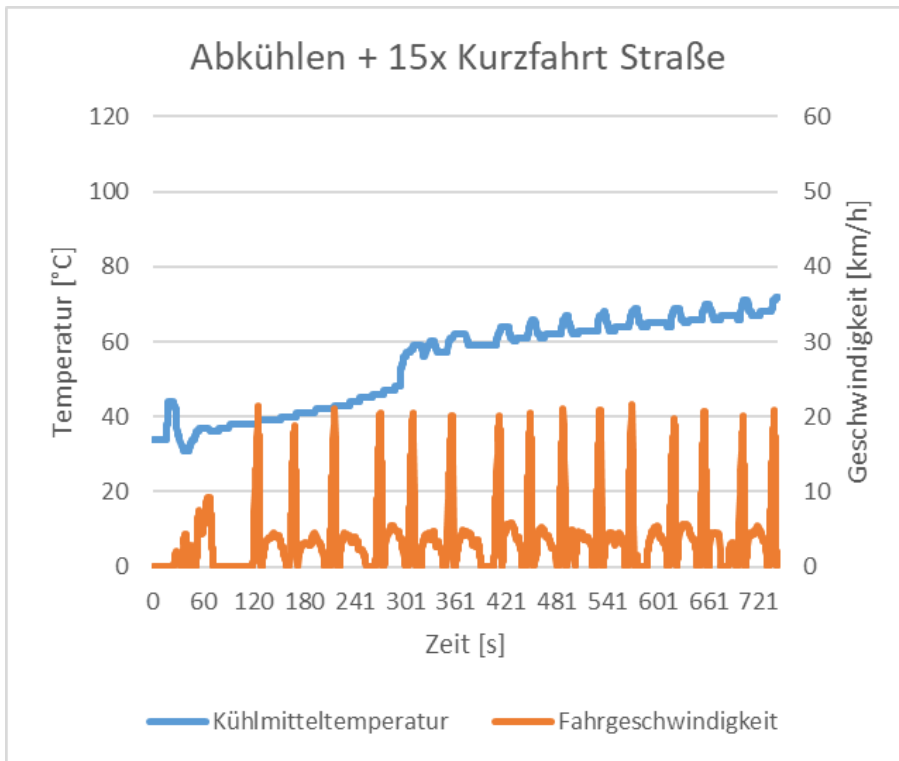
Fahrzeug 5: Mercedes B180d

Abbildung 104: Fahrzeug 5 – 15x Kurzfahrt Straße – OBD-Daten und NO_x-Verlauf



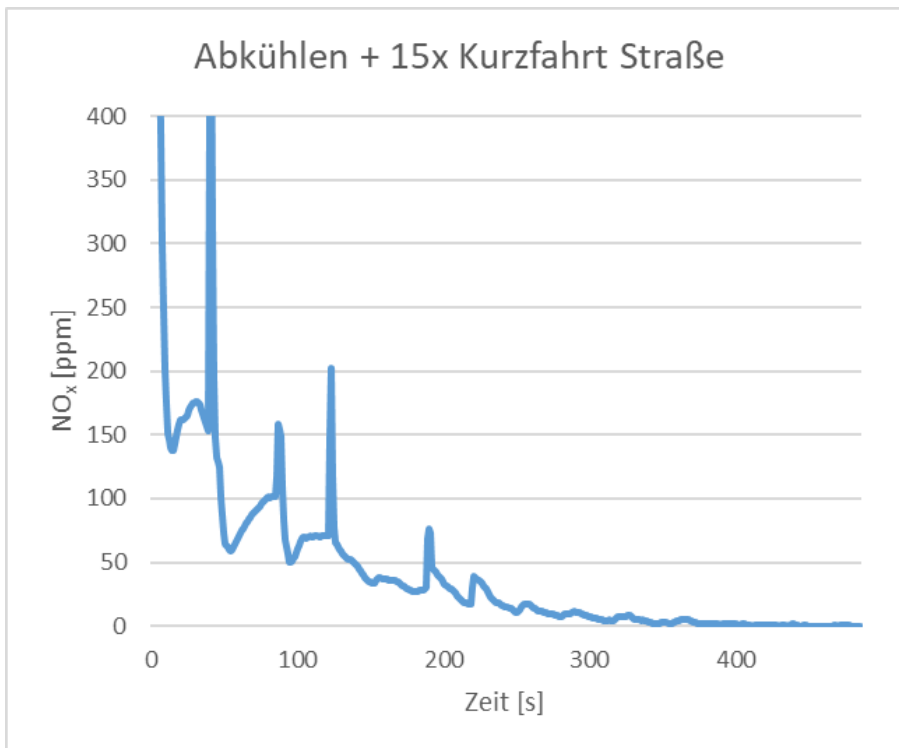
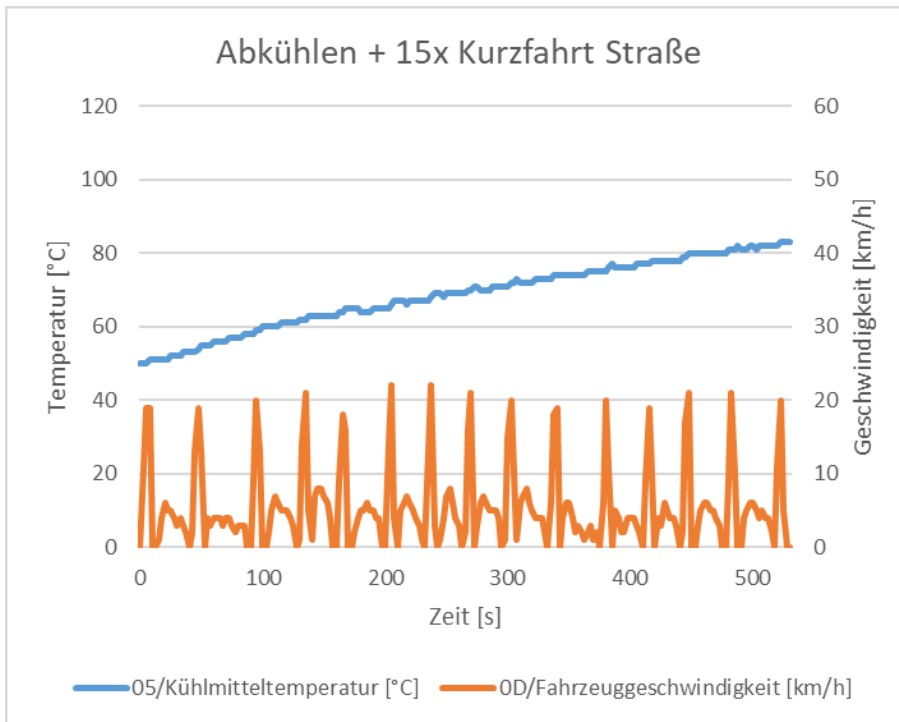
Fahrzeug 6: CLS400d

Abbildung 105: Fahrzeug 6 – 15x Kurzfahrt Straße – OBD-Daten und NO_x-Verlauf



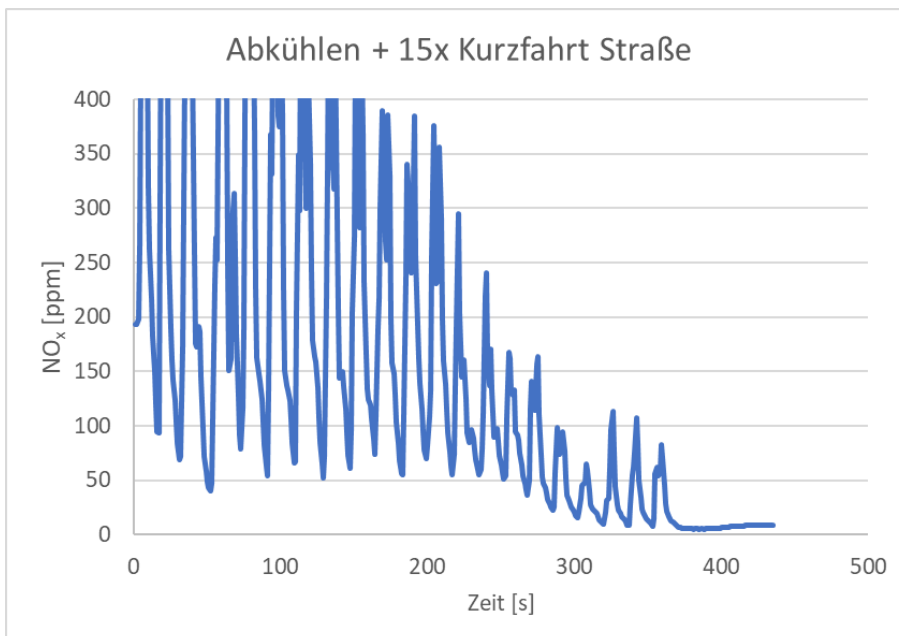
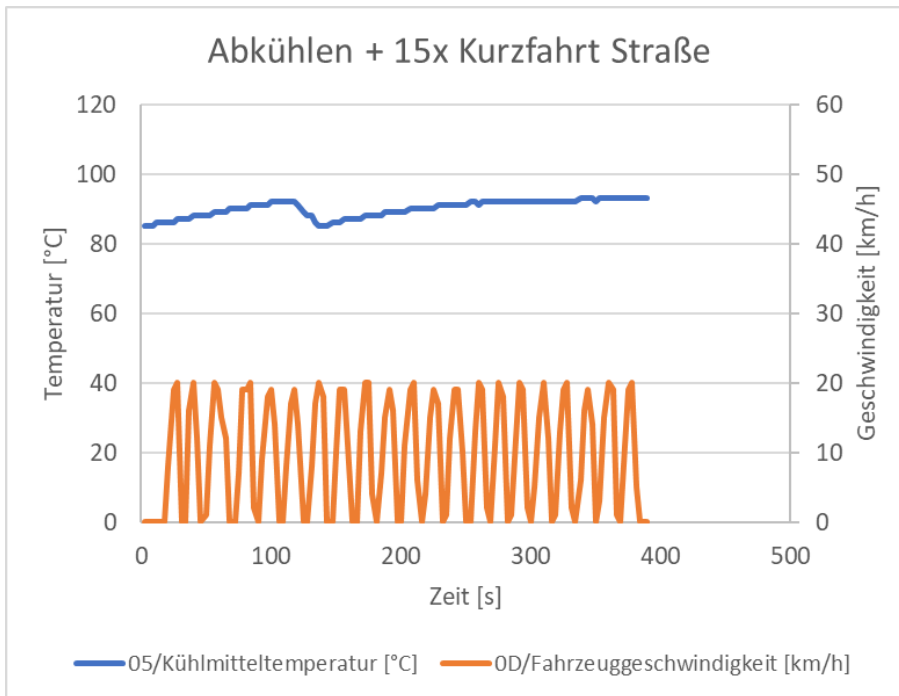
Fahrzeug 7: Mercedes-Benz C300d

Abbildung 106: Fahrzeug 7 – 15x Kurzfahrt Straße – OBD-Daten und NO_x-Verlauf



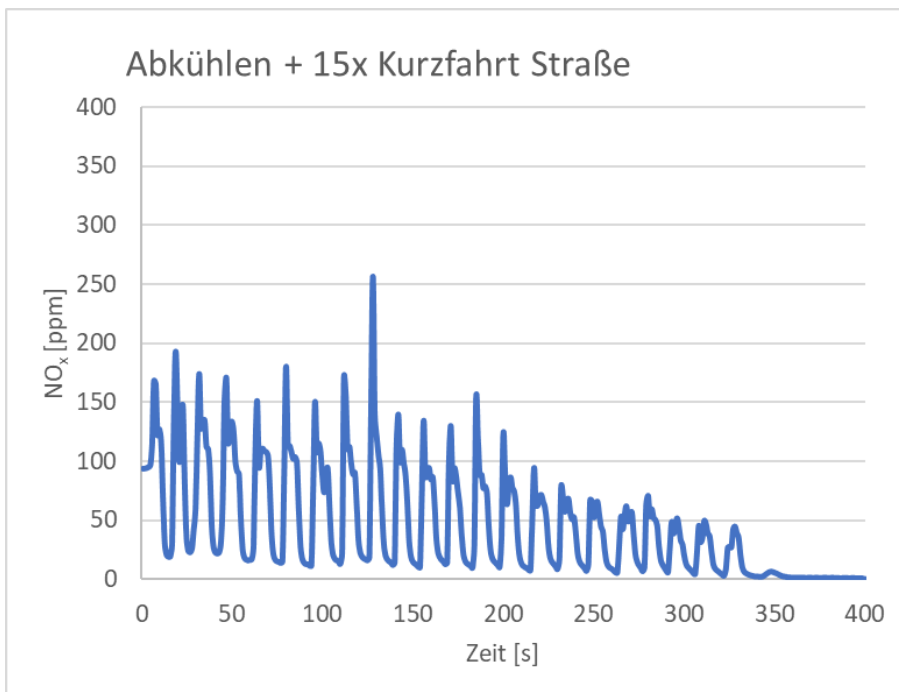
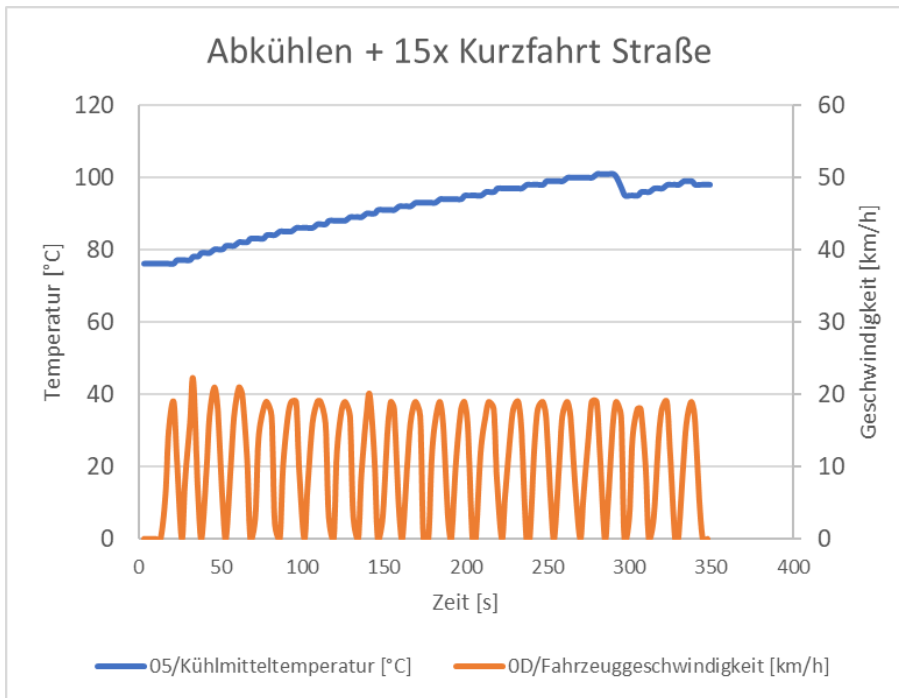
Fahrzeug 8: Peugeot 508

Abbildung 107: Fahrzeug 8 – 15x Kurzfahrt Straße – OBD-Daten und NO_x-Verlauf



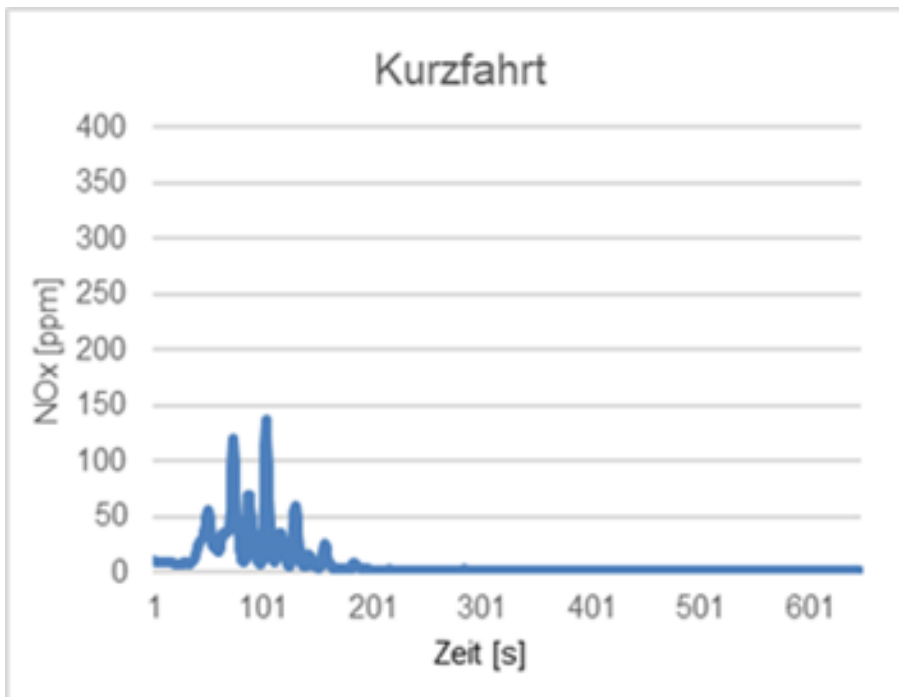
Fahrzeug 9: Citroen Jumper

Abbildung 108: Fahrzeug 9 – 15x Kurzfahrt Straße – OBD-Daten und NO_x-Verlauf



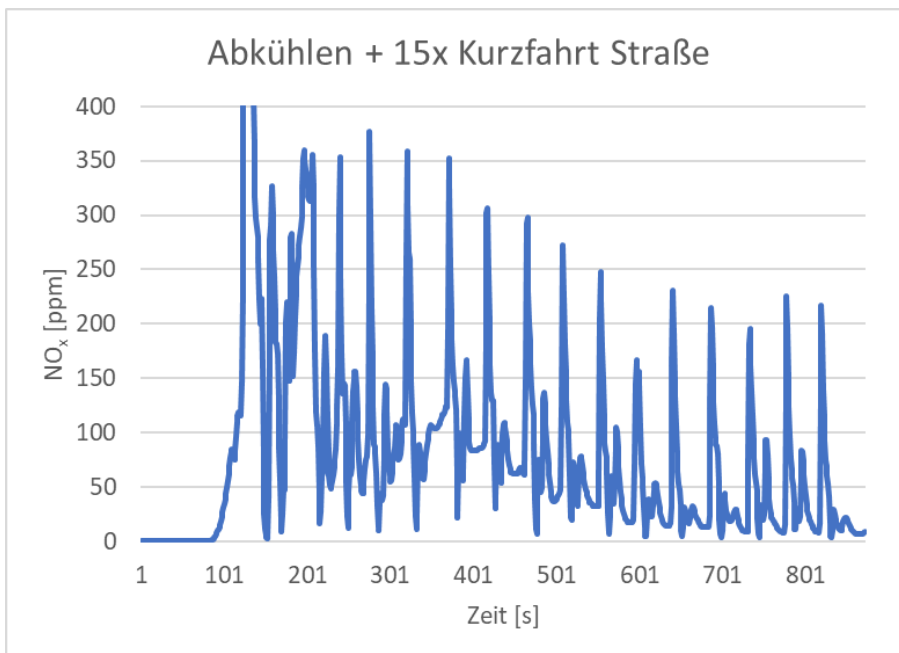
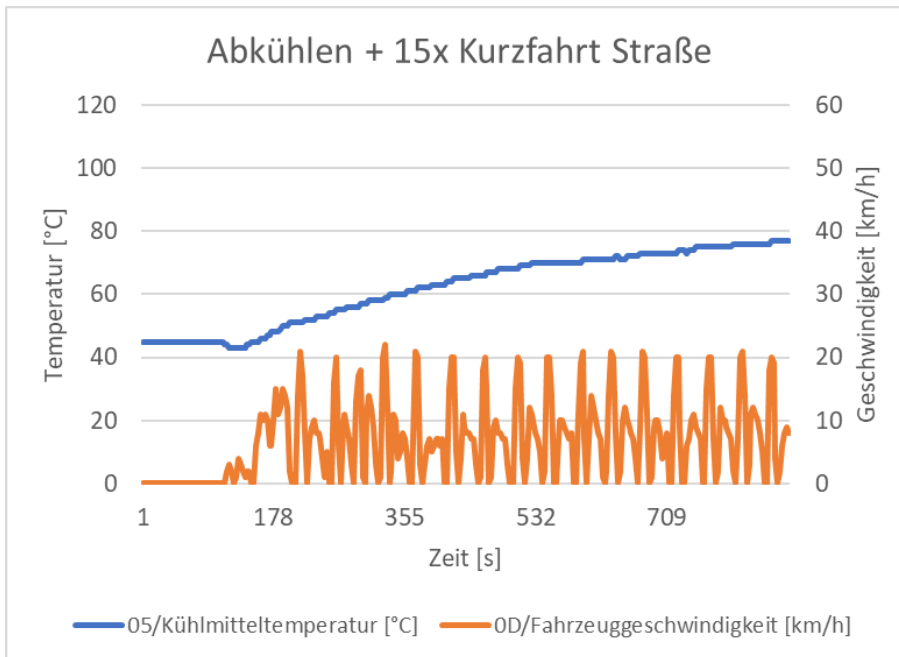
Fahrzeug 10: Ford Kuga

Abbildung 109: Fahrzeug 10 – 15x Kurzfahrt Straße – OBD-Daten und NO_x-Verlauf



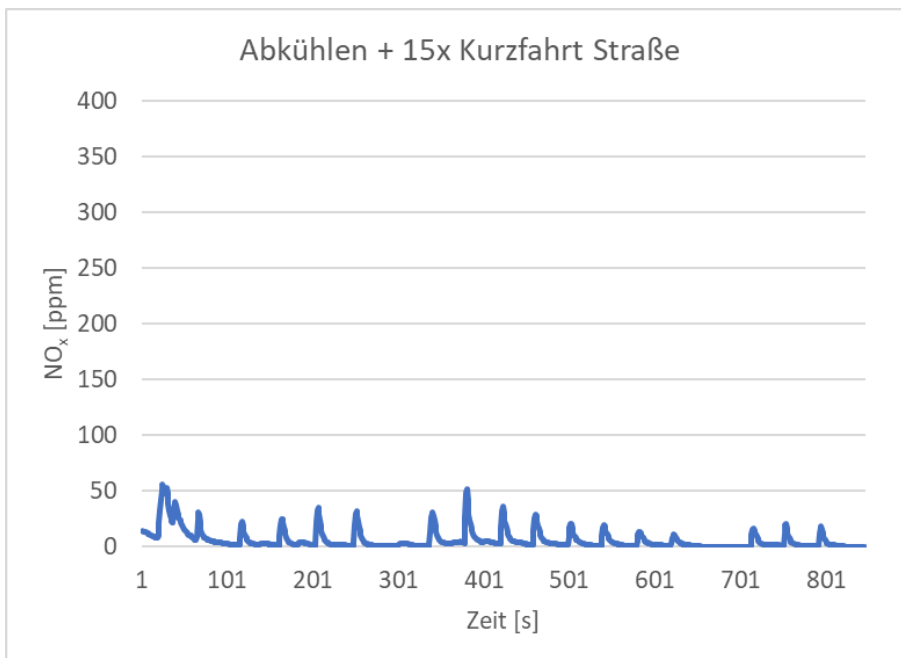
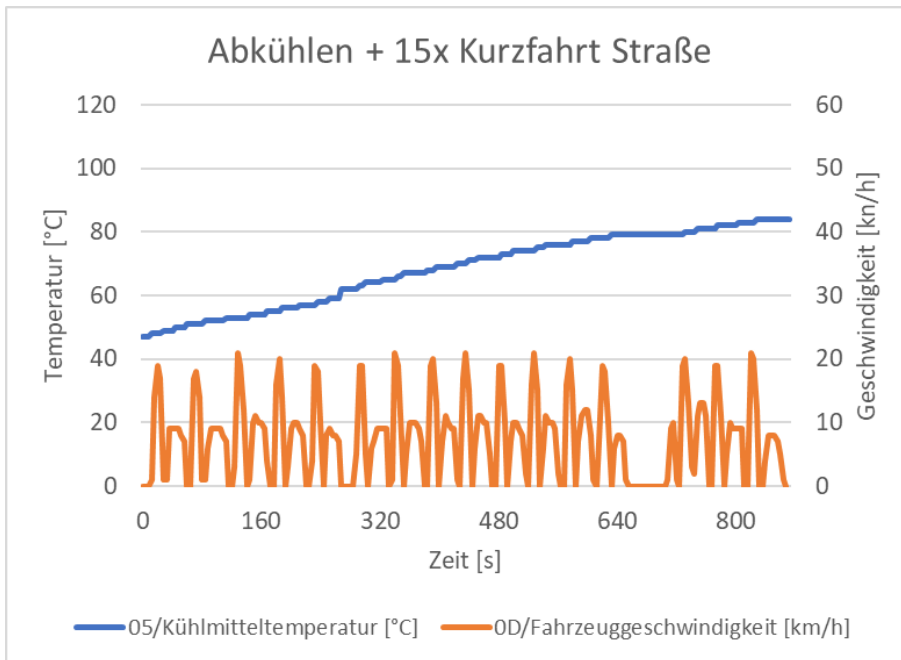
Fahrzeug 11: Volvo V60

Abbildung 110: Fahrzeug 11 – 15x Kurzfahrt Straße – OBD-Daten und NO_x-Verlauf



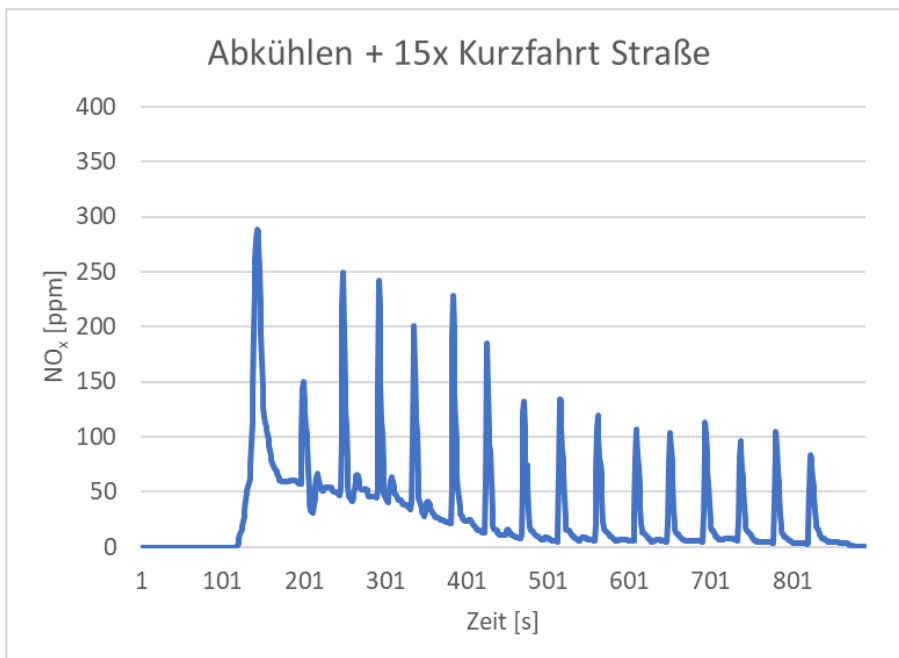
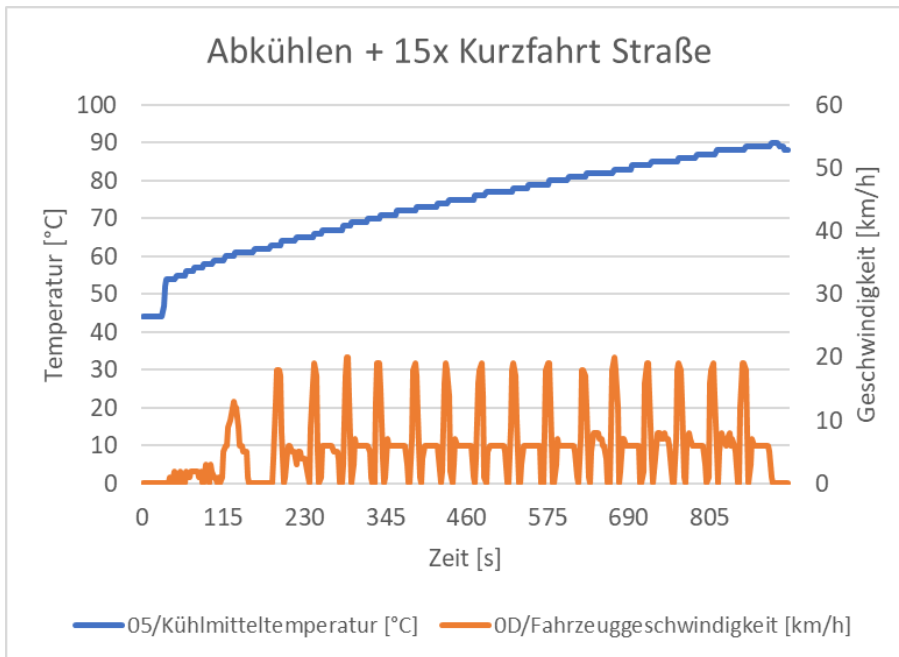
Fahrzeug 12: Volkswagen Crafter

Abbildung 111: Fahrzeug 12 – 15x Kurzfahrt Straße – OBD-Daten und NO_x-Verlauf



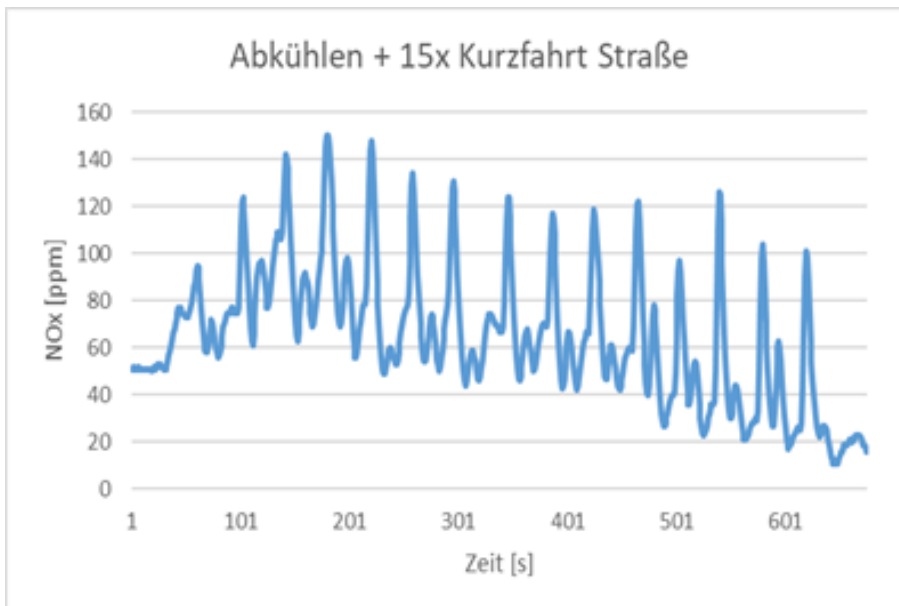
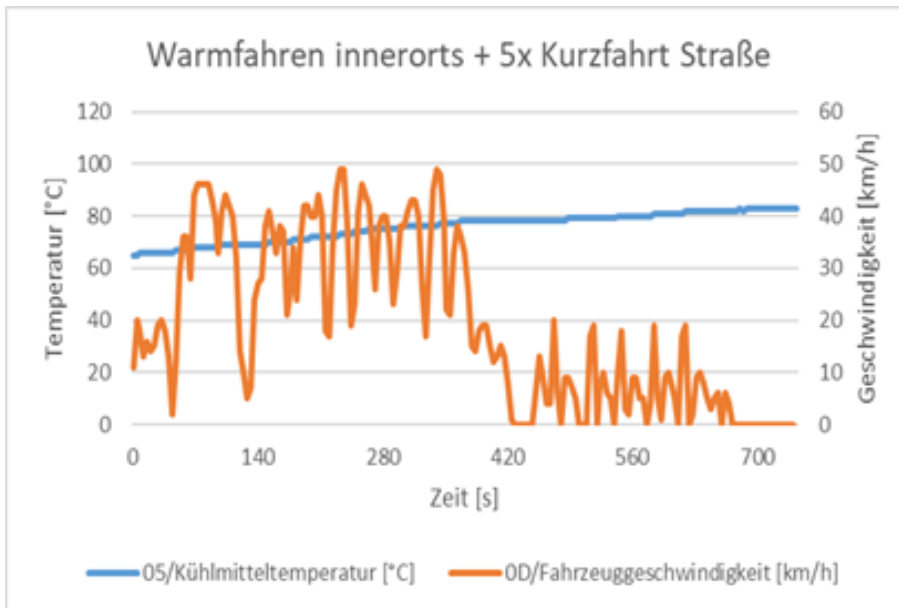
Fahrzeug 13: Opel Vivaro

Abbildung 112: Fahrzeug 13 – 15x Kurzfahrt Straße – OBD-Daten und NO_x-Verlauf



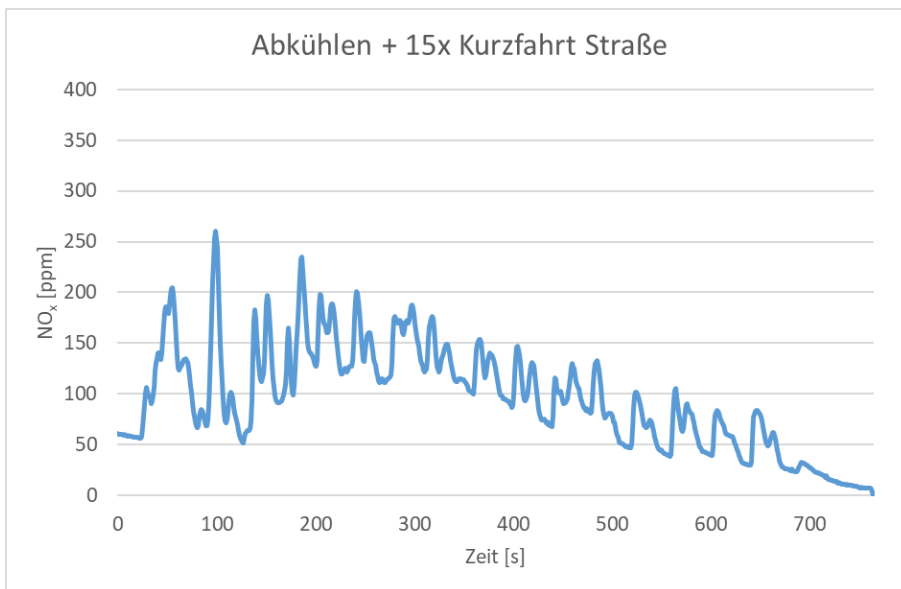
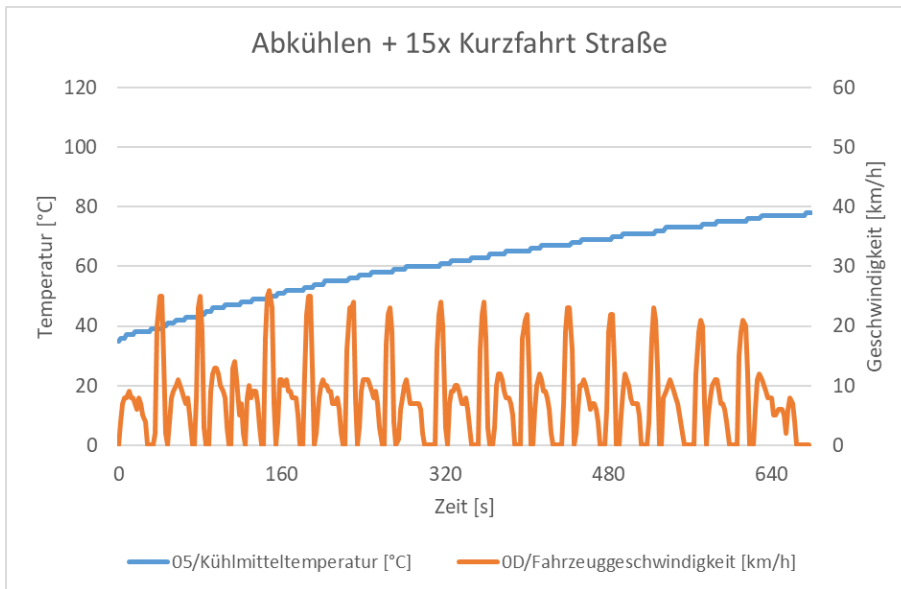
Fahrzeug 14: Ford Mondeo

Abbildung 113: Fahrzeug 14 – 15x Kurzfahrt Straße – OBD-Daten und NO_x-Verlauf



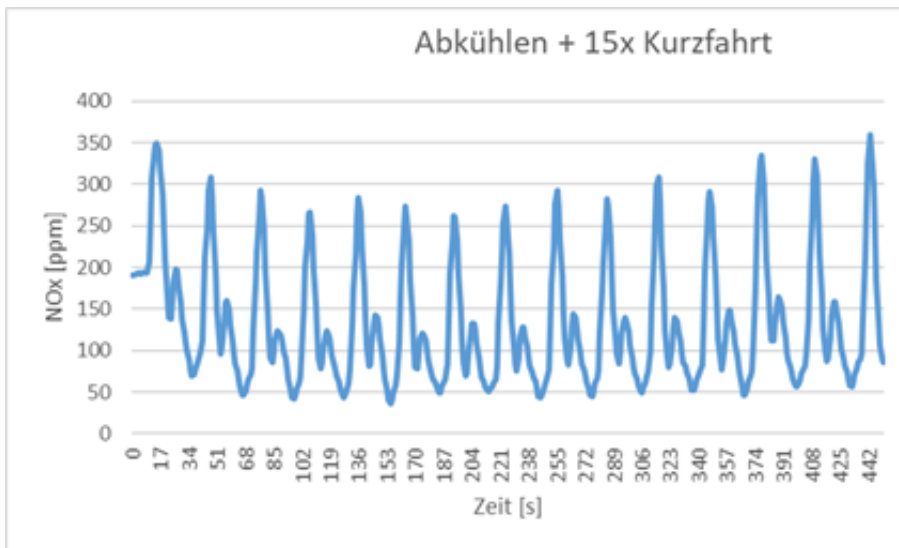
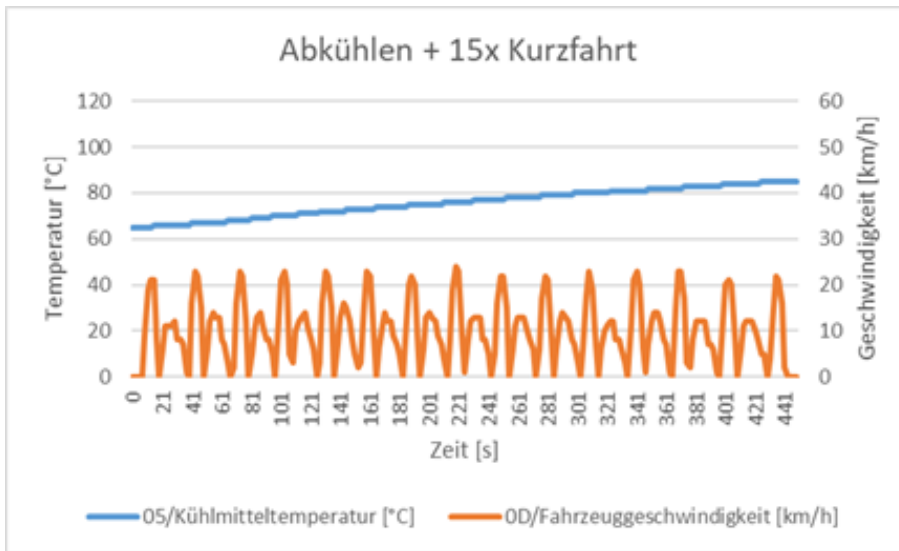
Fahrzeug 15: Mitsubishi ASX (Euro 6b)

Abbildung 114: Fahrzeug 15 – 15x Kurzfahrt Straße – OBD-Daten und NO_x-Verlauf



Fahrzeug 16: Audi A3 (Euro 6b)

Abbildung 115: Fahrzeug 16 – 15x Kurzfahrt Straße – OBD-Daten und NO_x-Verlauf

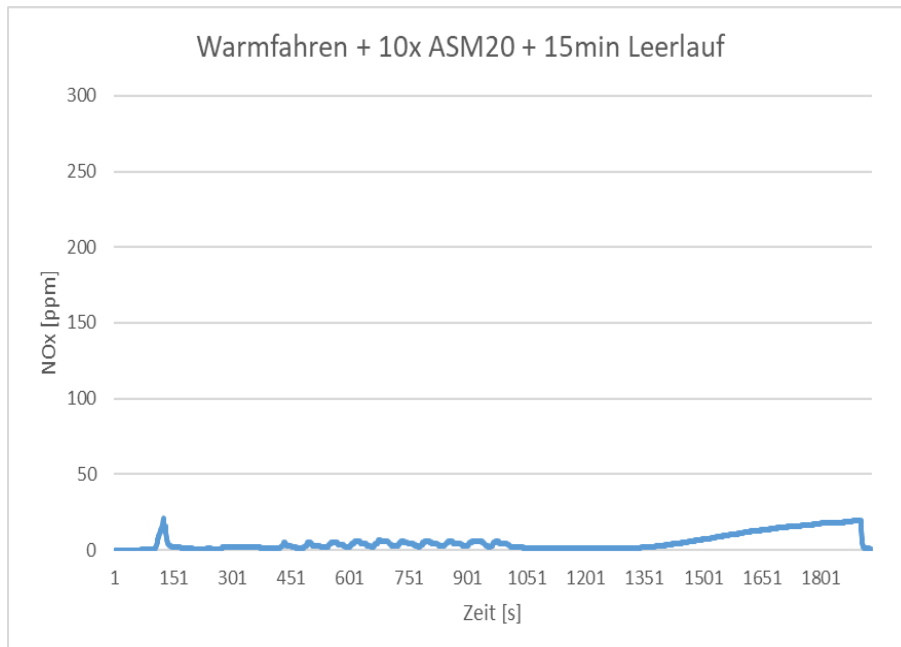
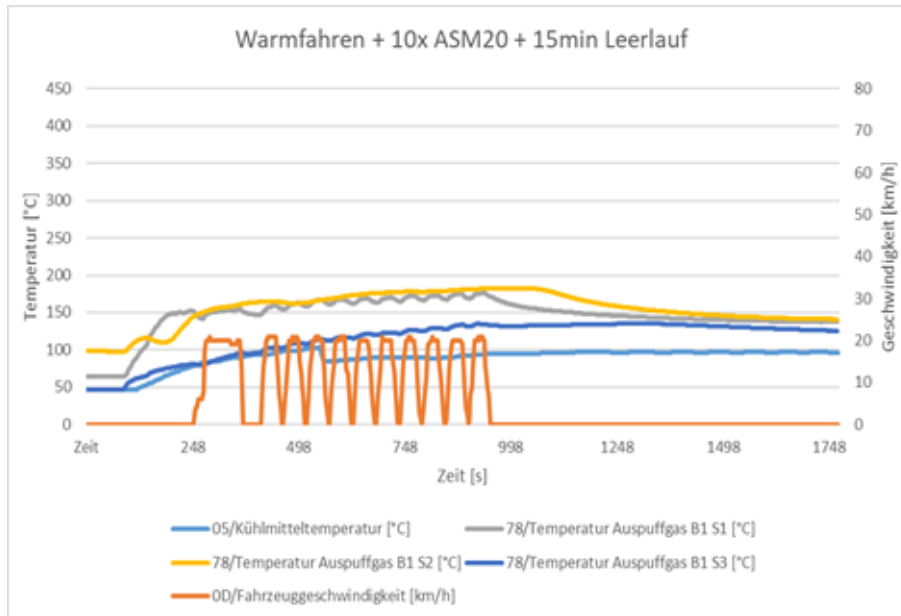


A.3 Messergebnisse Fahrzeug 17-30

A.3.1 Warmfahren + 10xASM20 + 15min Leerlauf

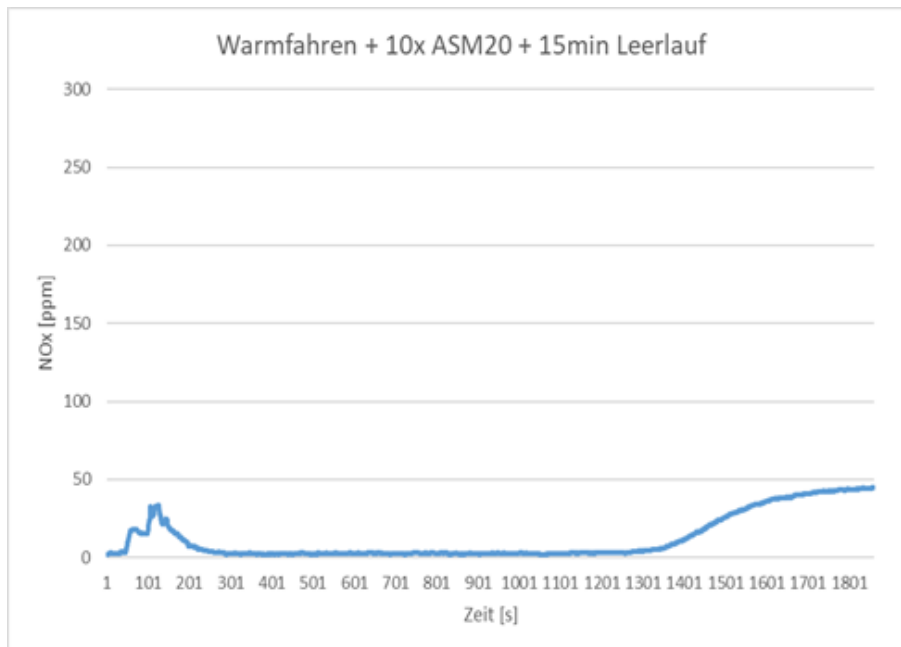
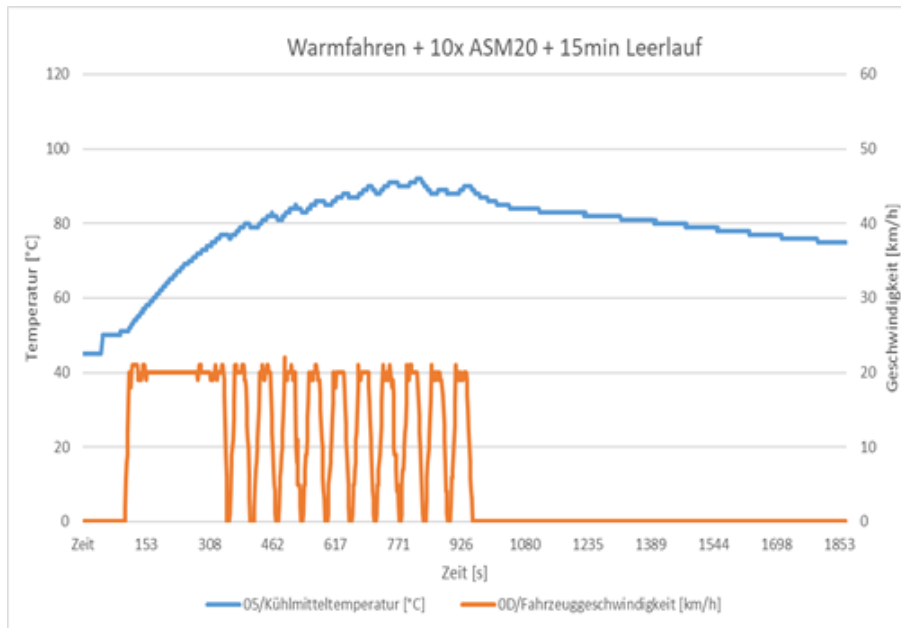
Fahrzeug 17: BMW 520d

Abbildung 116: Fahrzeug 17 – Warmfahren + 10x ASM20 + 15min Leerlauf – OBD-Daten und NO_x-Verlauf



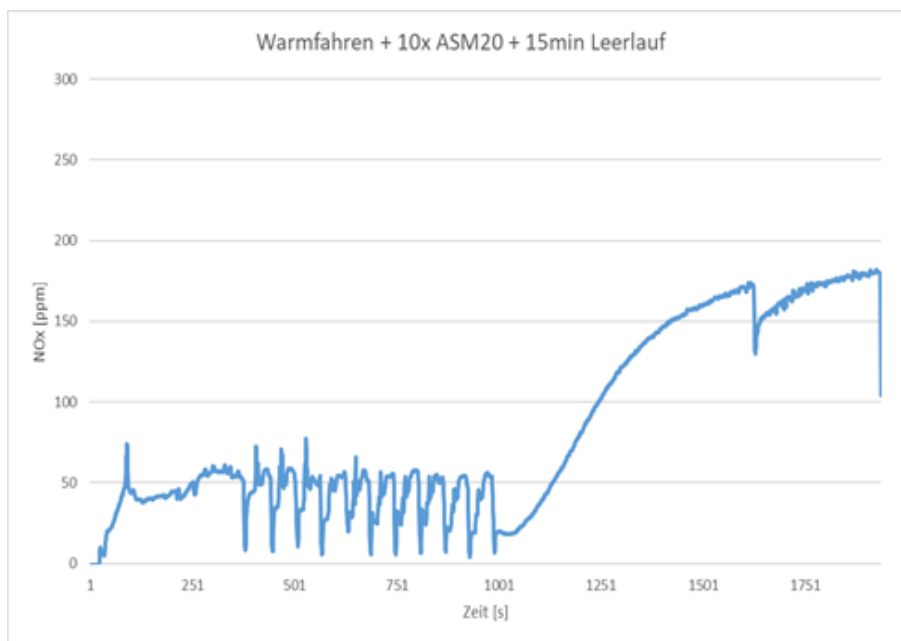
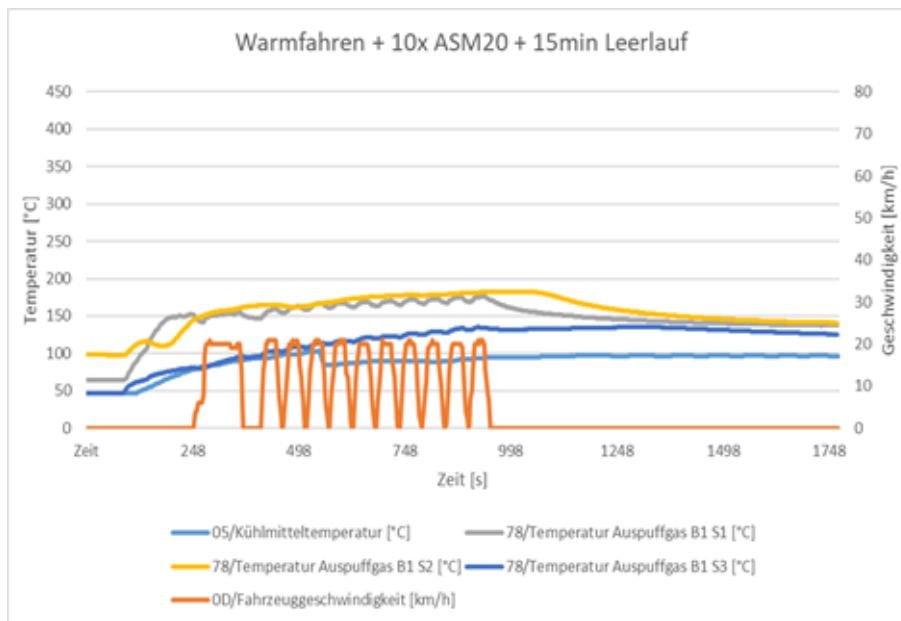
Fahrzeug 18: Mercedes Sprinter

**Abbildung 117: Fahrzeug 18 – Warmfahren + 10x ASM20 + 15min Leerlauf – OBD-Daten und NO_x-
Verlauf**



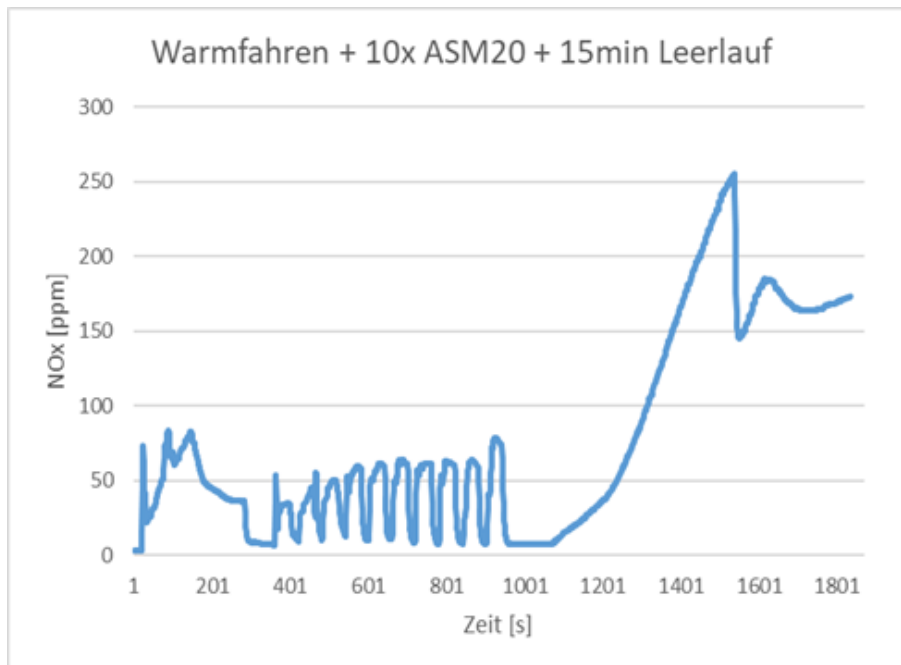
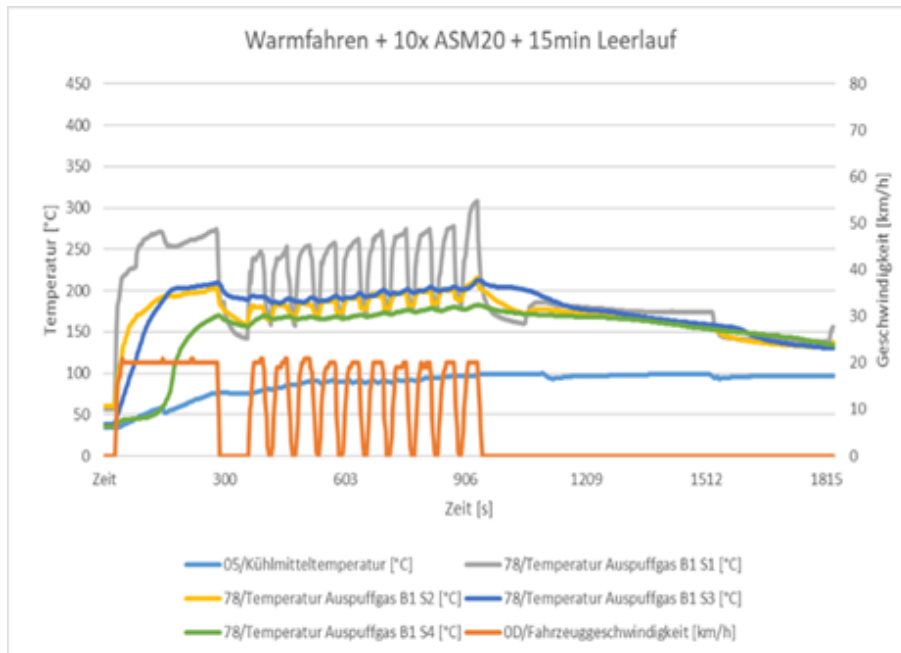
Fahrzeug 19: Renault Kangoo

Abbildung 118: Fahrzeug 19 – Warmfahren + 10x ASM20 + 15min Leerlauf – OBD-Daten und NO_x-
Verlauf



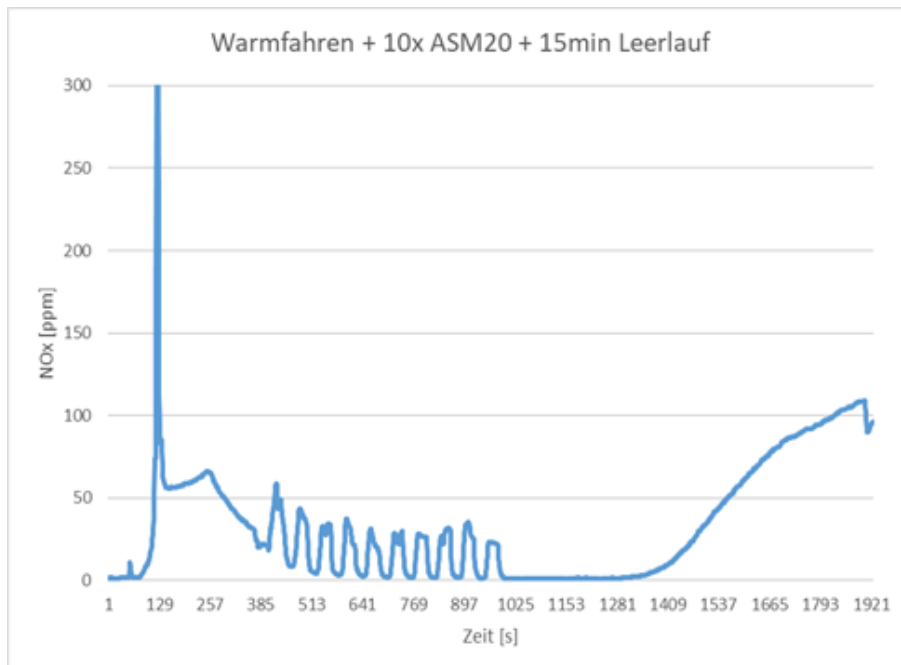
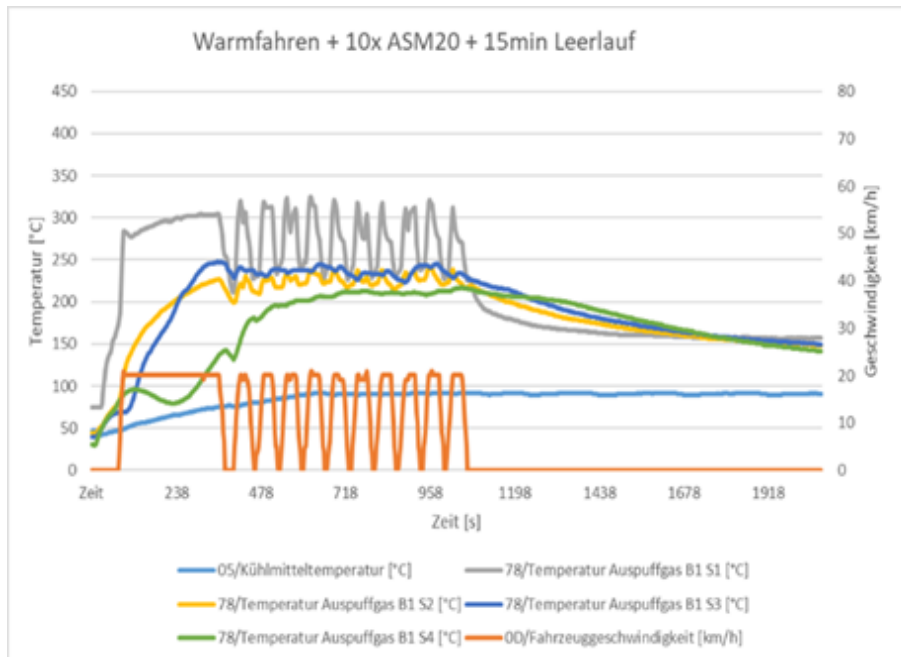
Fahrzeug 20: Hyundai Tucson

Abbildung 119: Fahrzeug 20 – Warmfahren + 10x ASM20 + 15min Leerlauf – OBD-Daten und NO_x-
Verlauf



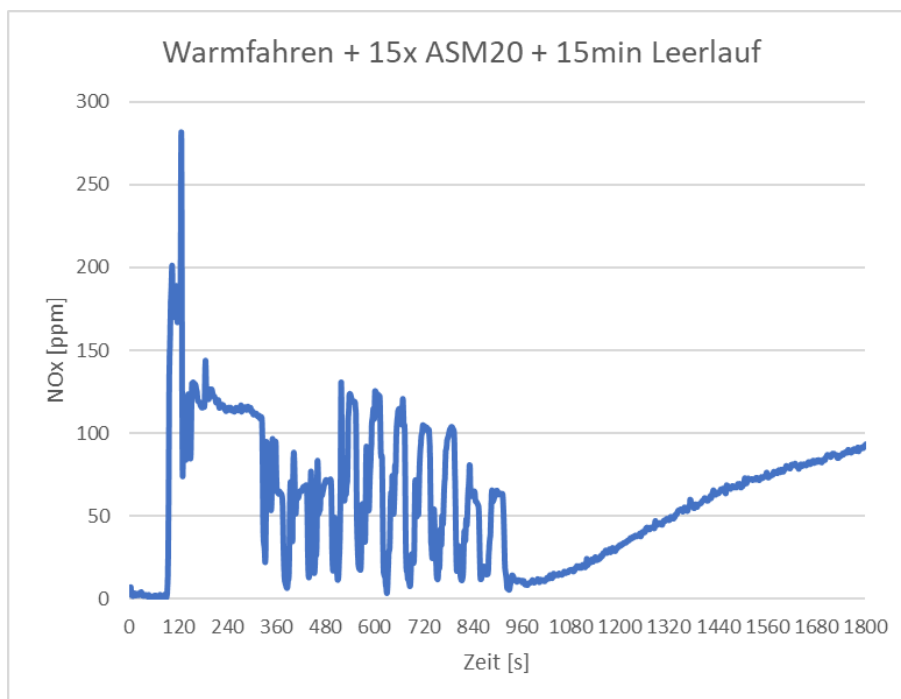
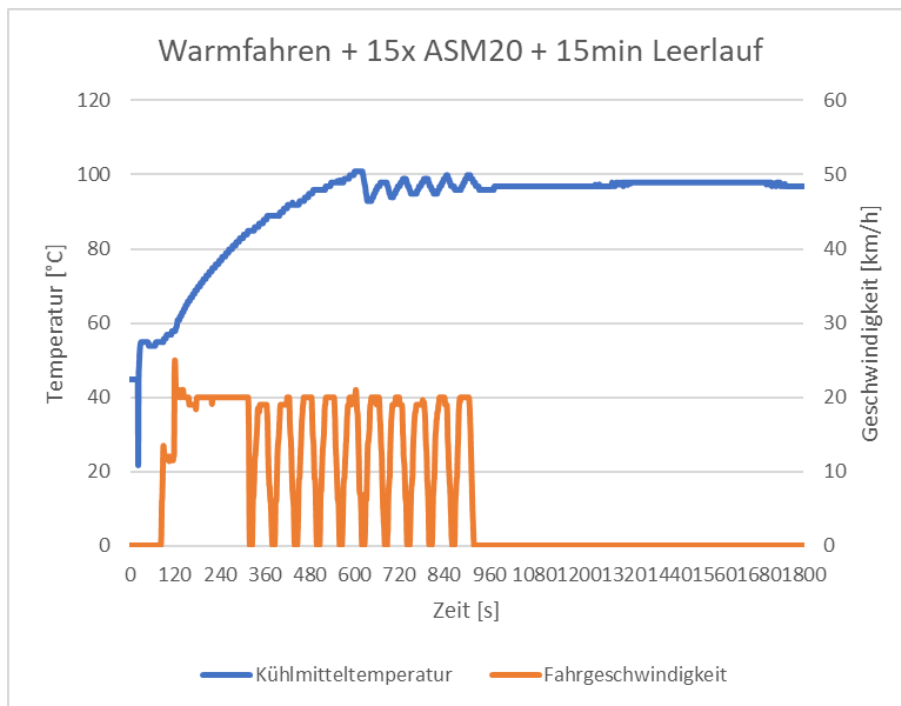
Fahrzeug 21: MAN TGE

Abbildung 120: Fahrzeug 21 – Warmfahren + 10x ASM20 + 15min Leerlauf – OBD-Daten und NO_x-
Verlauf



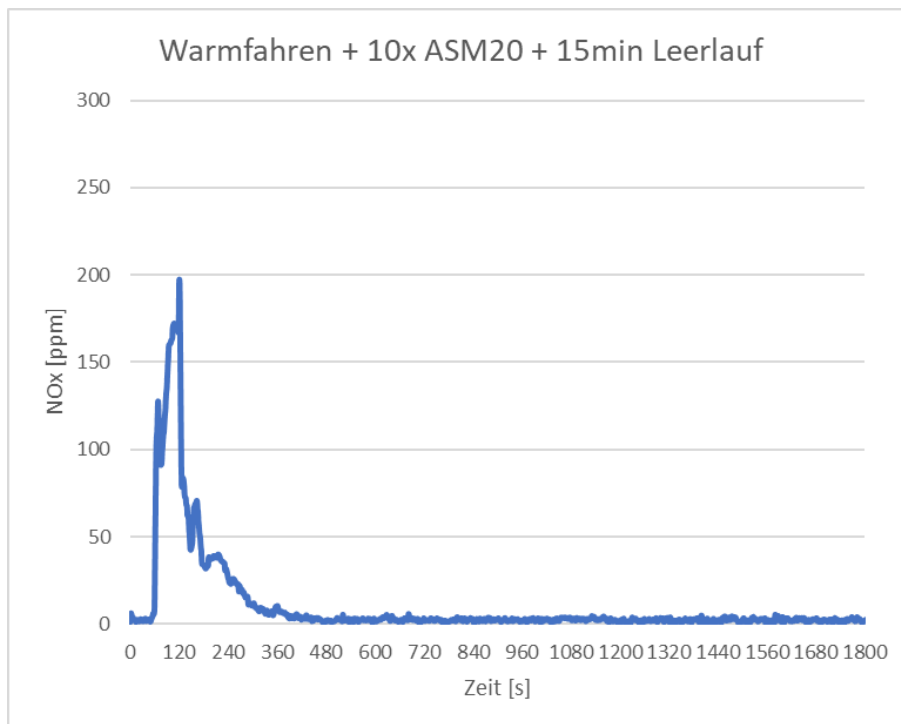
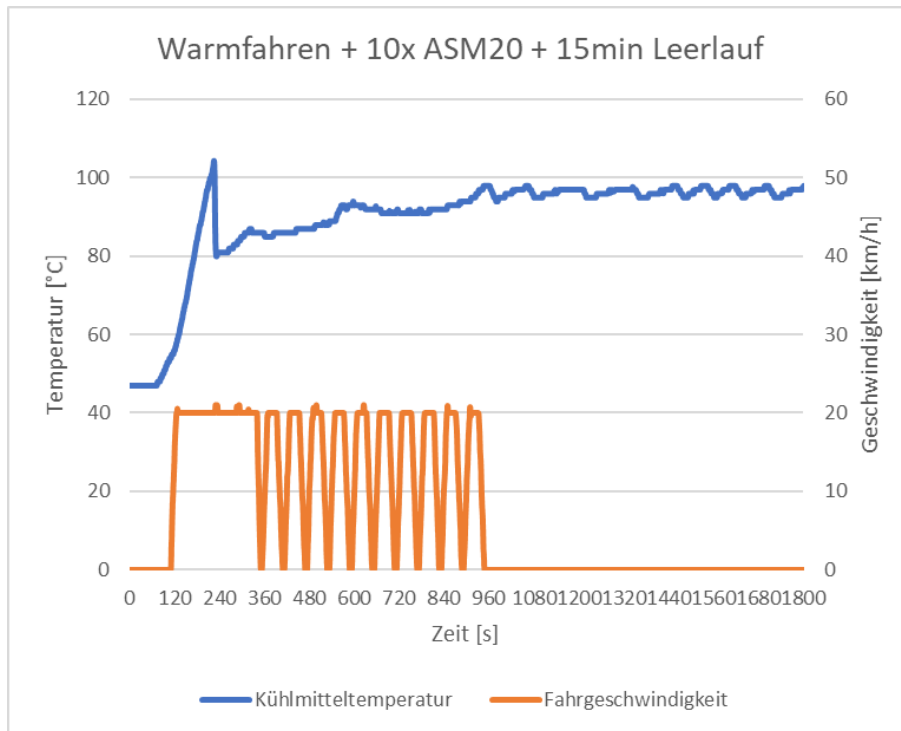
Fahrzeug 22: Opel Vivaro

**Abbildung 121: Fahrzeug 22 – Warmfahren + 10x ASM20 + 15min Leerlauf – OBD-Daten und NO_x-
Verlauf**



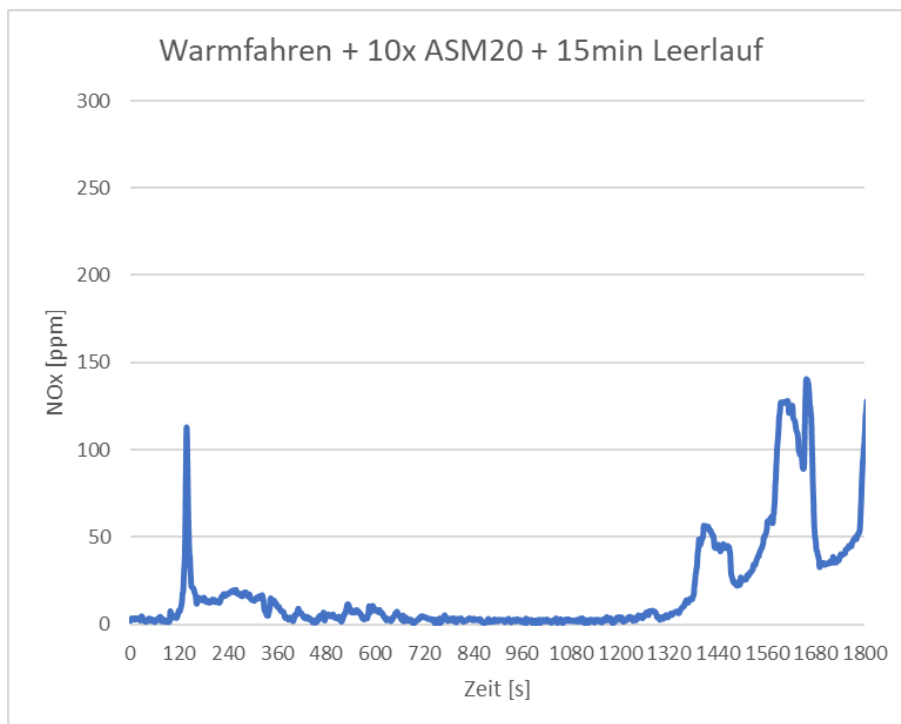
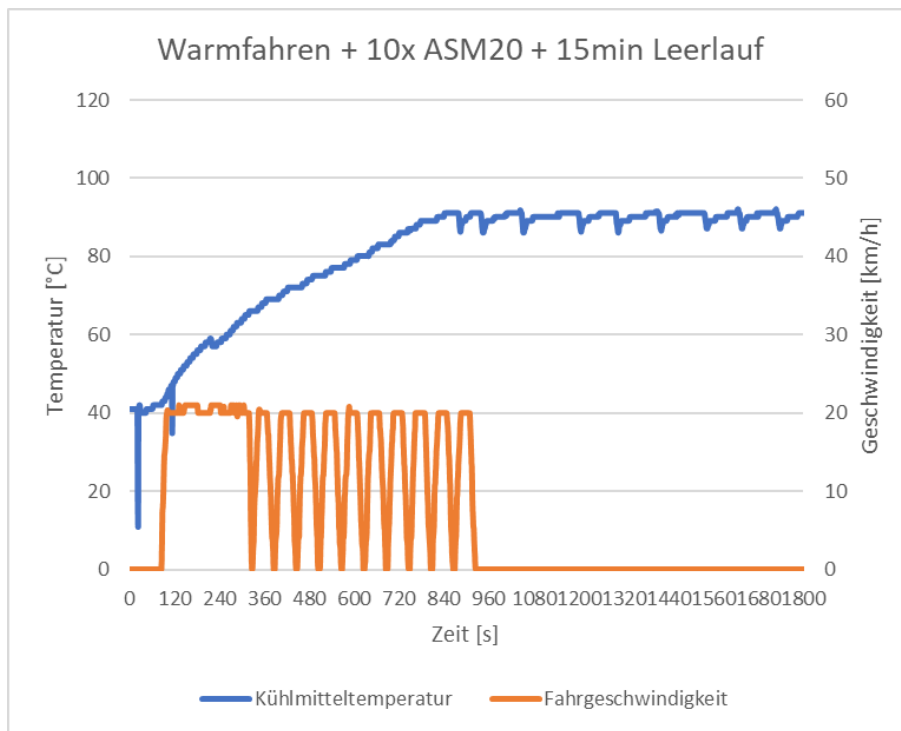
Fahrzeug 23: BMW 540d

**Abbildung 122: Fahrzeug 23 – Warmfahren + 10x ASM20 + 15min Leerlauf – OBD-Daten und NO_x-
Verlauf**



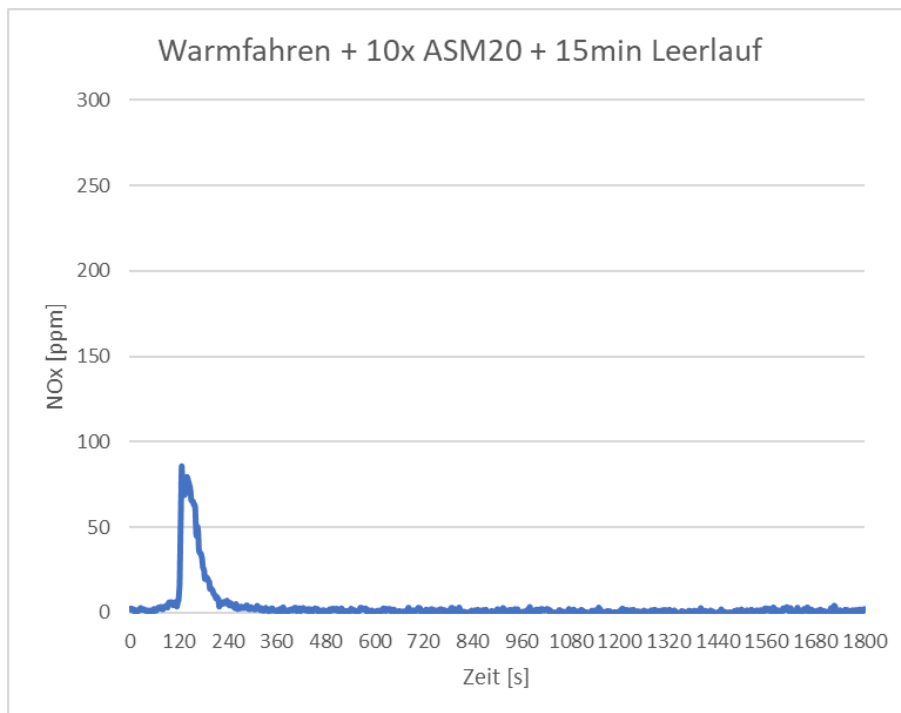
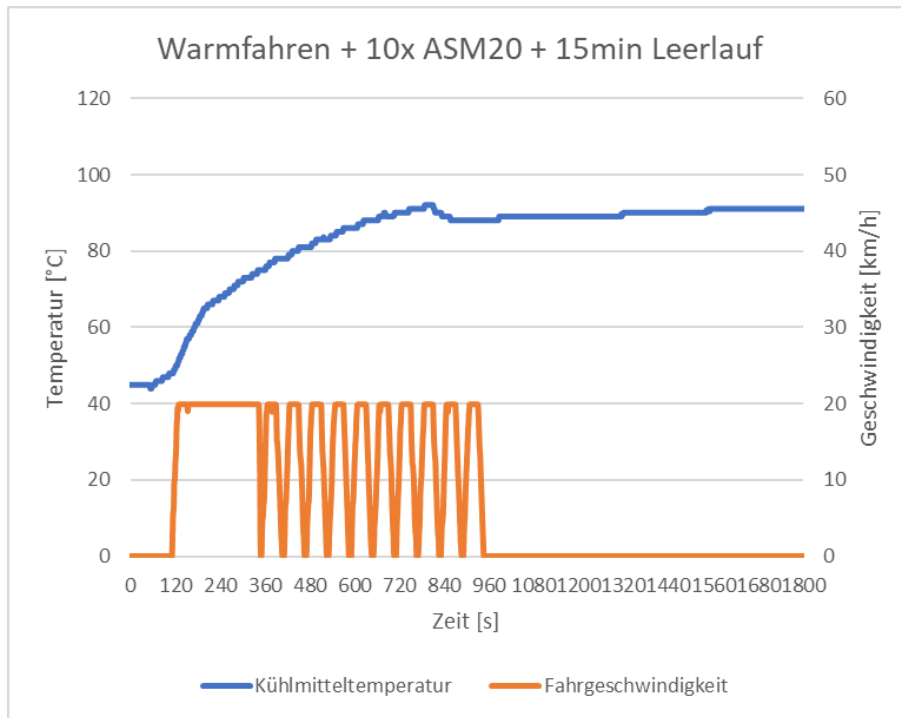
Fahrzeug 24: Hyundai Tucson

**Abbildung 123: Fahrzeug 24 – Warmfahren + 10x ASM20 + 15min Leerlauf – OBD-Daten und NO_x-
Verlauf**



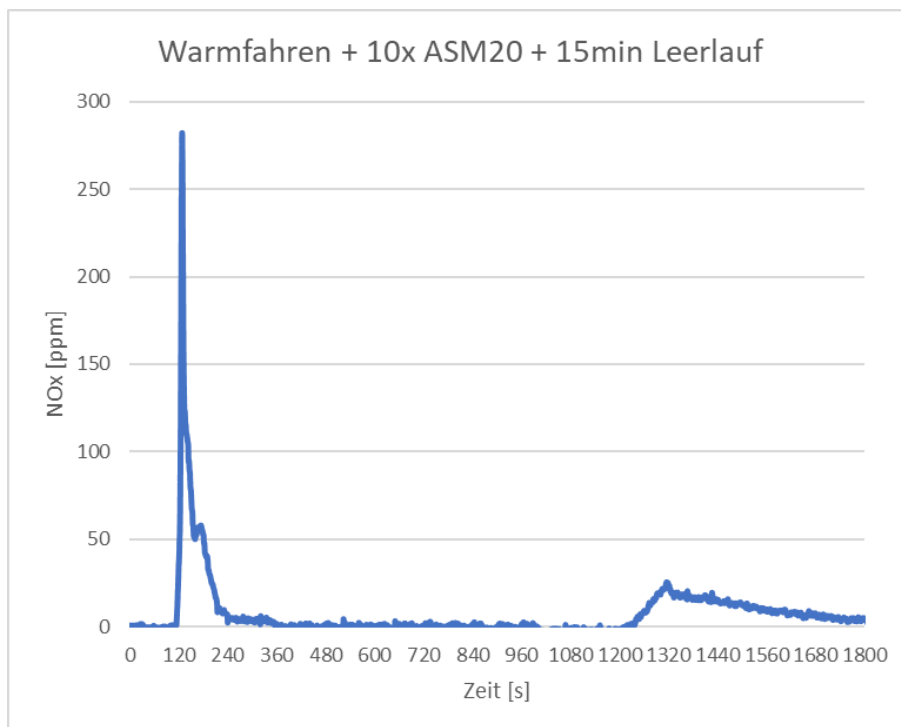
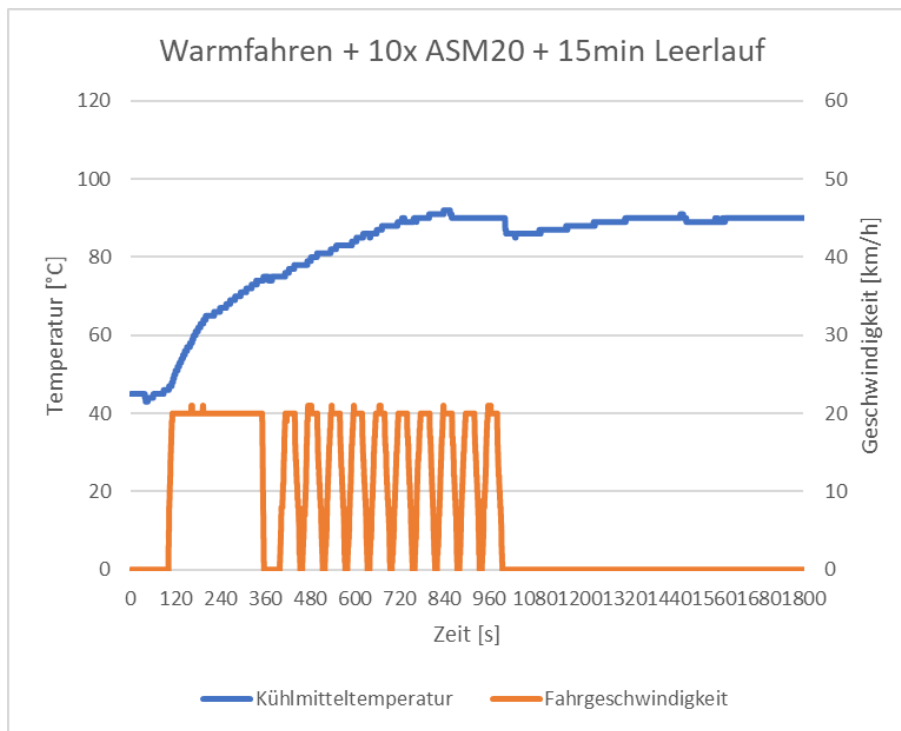
Fahrzeug 25: Skoda Octavia

**Abbildung 124: Fahrzeug 25 – Warmfahren + 10x ASM20 + 15min Leerlauf – OBD-Daten und NO_x-
Verlauf**



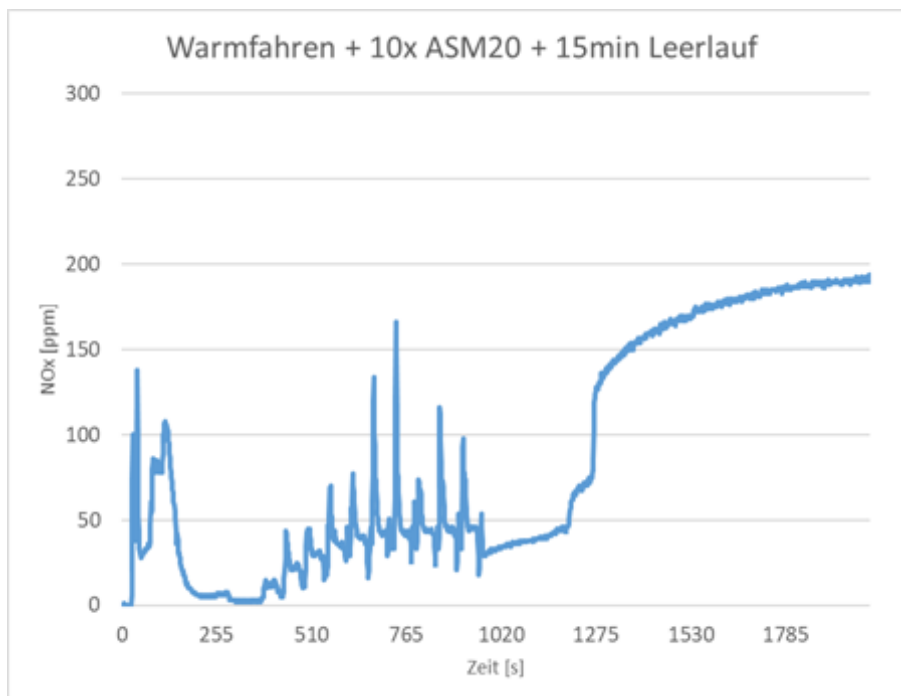
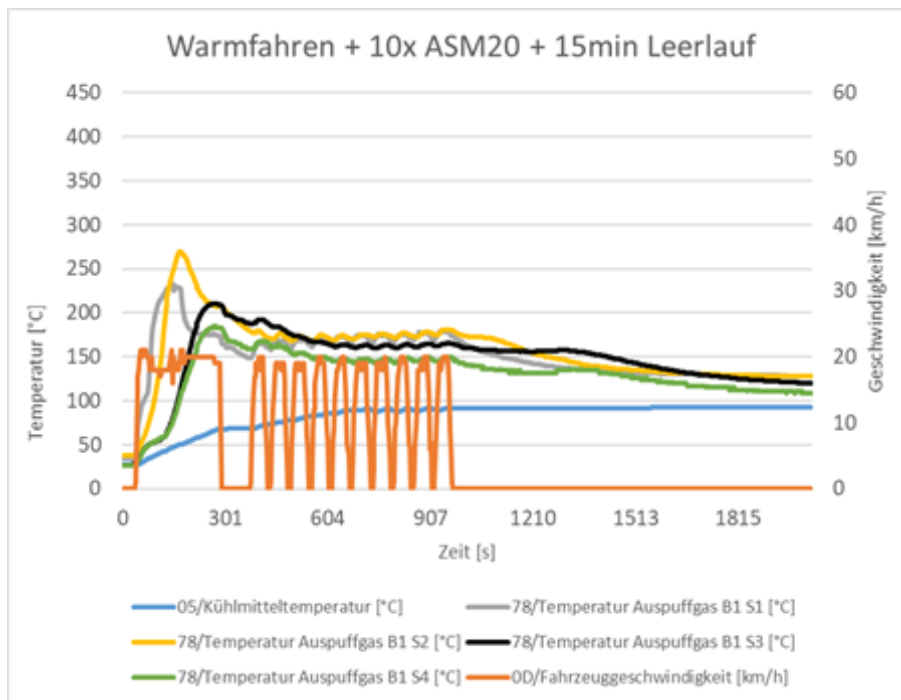
Fahrzeug 26: VW Touran

**Abbildung 125: Fahrzeug 26 – Warmfahren + 10x ASM20 + 15min Leerlauf – OBD-Daten und NO_x-
Verlauf**



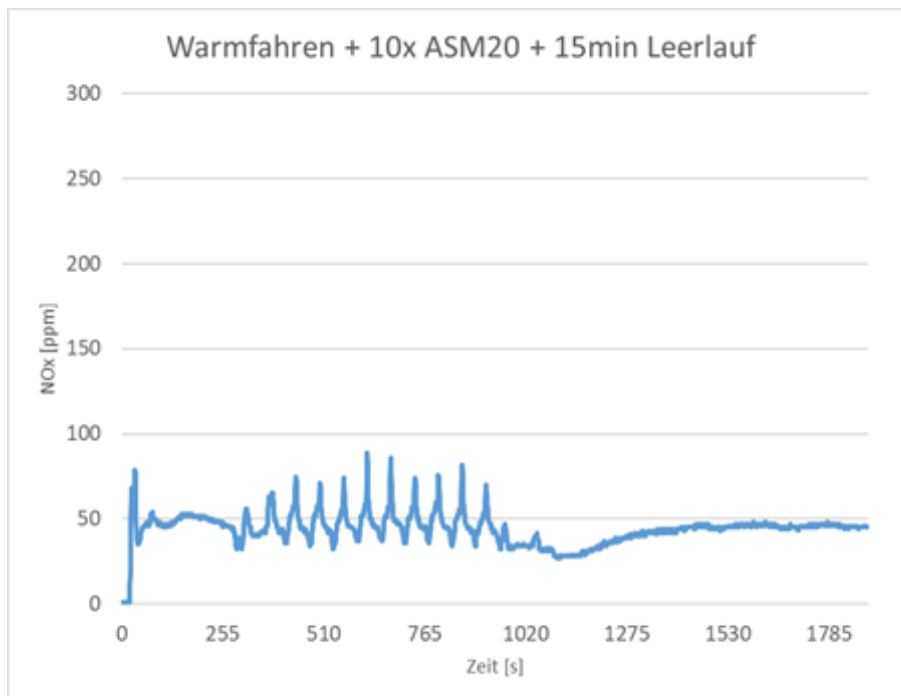
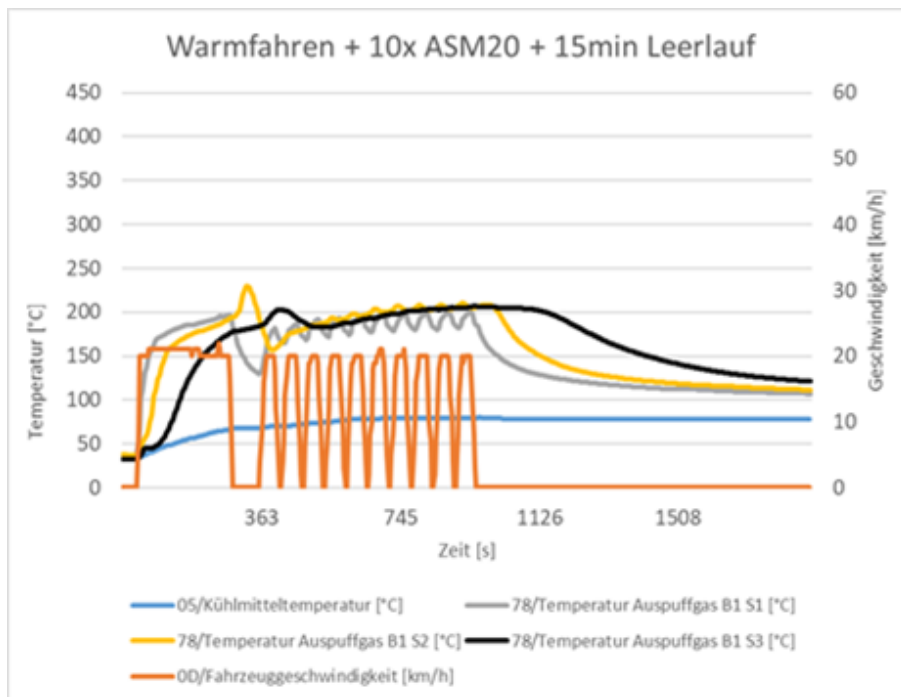
Fahrzeug 27: Fiat Tipo

**Abbildung 126: Fahrzeug 27 – Warmfahren + 10x ASM20 + 15min Leerlauf – OBD-Daten und NO_x-
Verlauf**



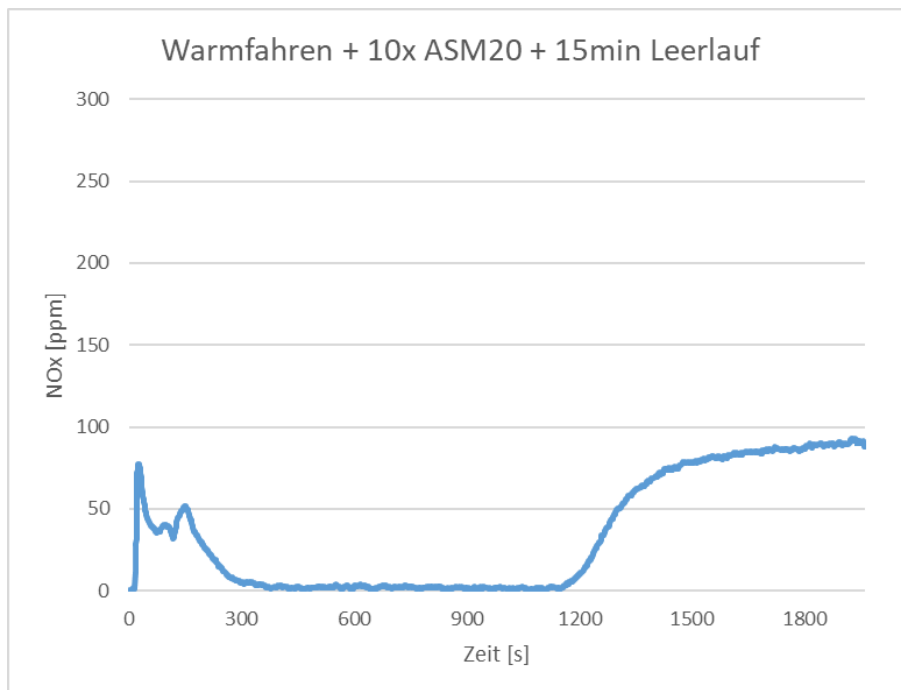
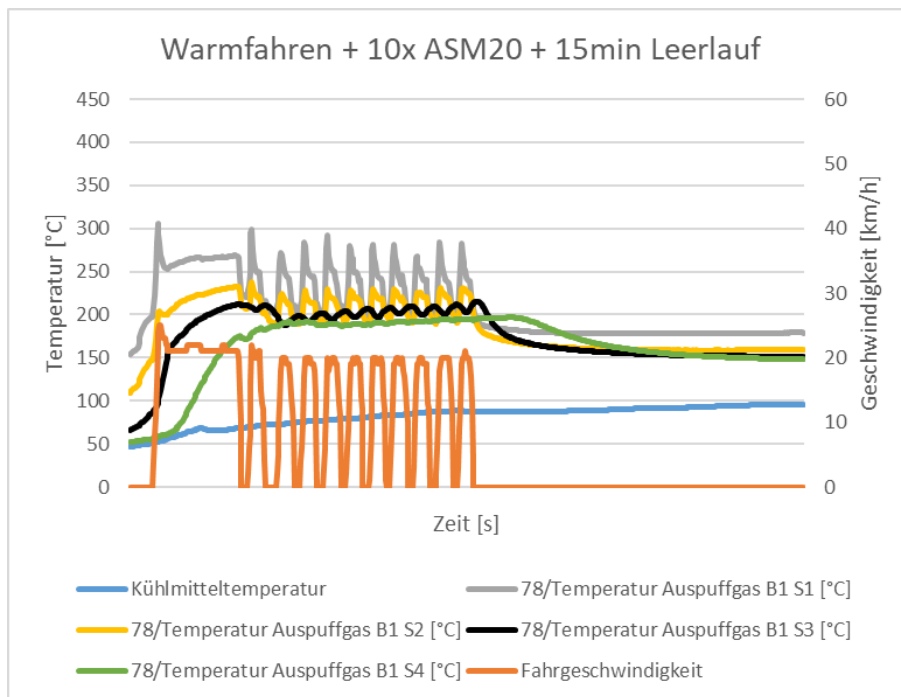
Fahrzeug 28: Mitsubishi L200

**Abbildung 127: Fahrzeug 28 – Warmfahren + 10x ASM20 + 15min Leerlauf – OBD-Daten und NO_x-
Verlauf**



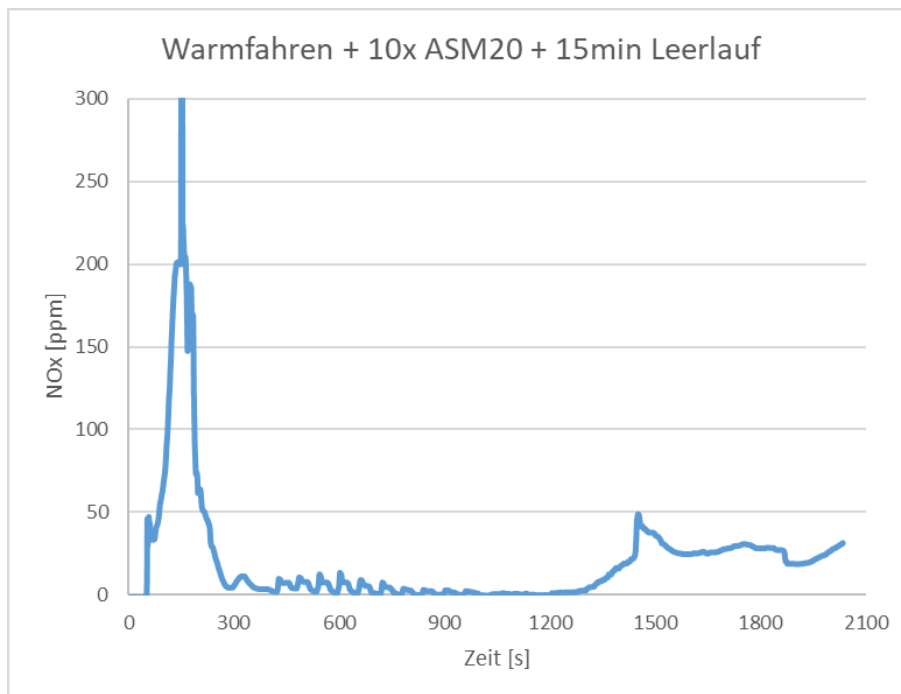
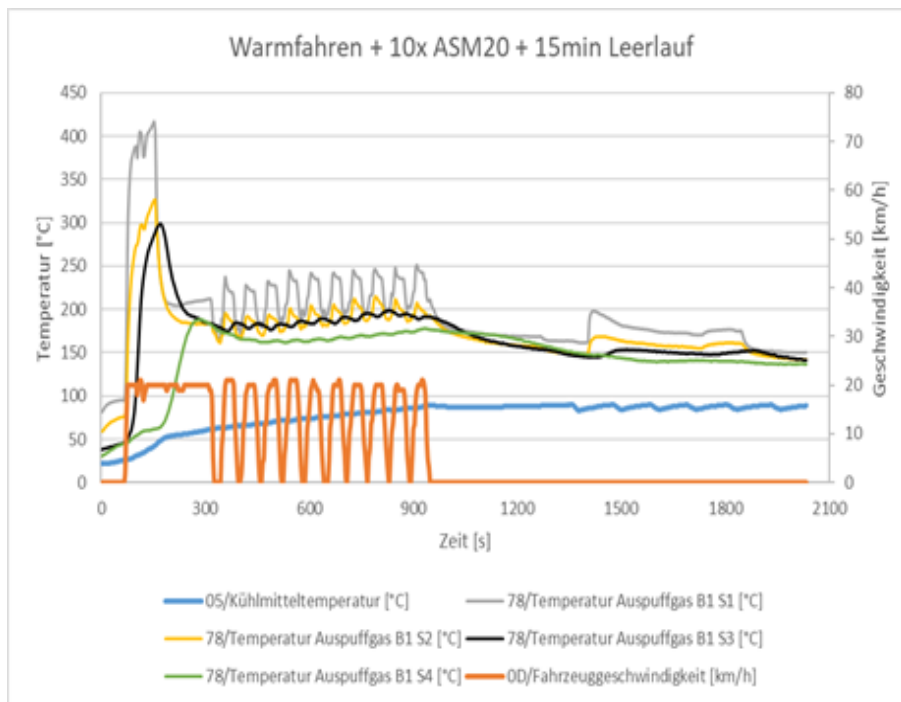
Fahrzeug 29: VW Touran

**Abbildung 128: Fahrzeug 29 – Warmfahren + 10x ASM20 + 15min Leerlauf – OBD-Daten und NO_x-
Verlauf**



Fahrzeug 30: Audi A7

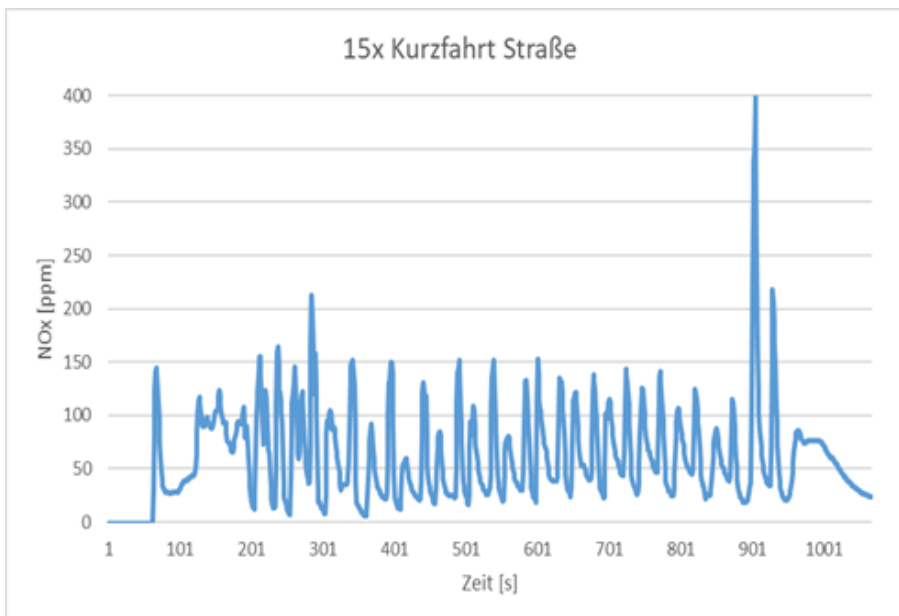
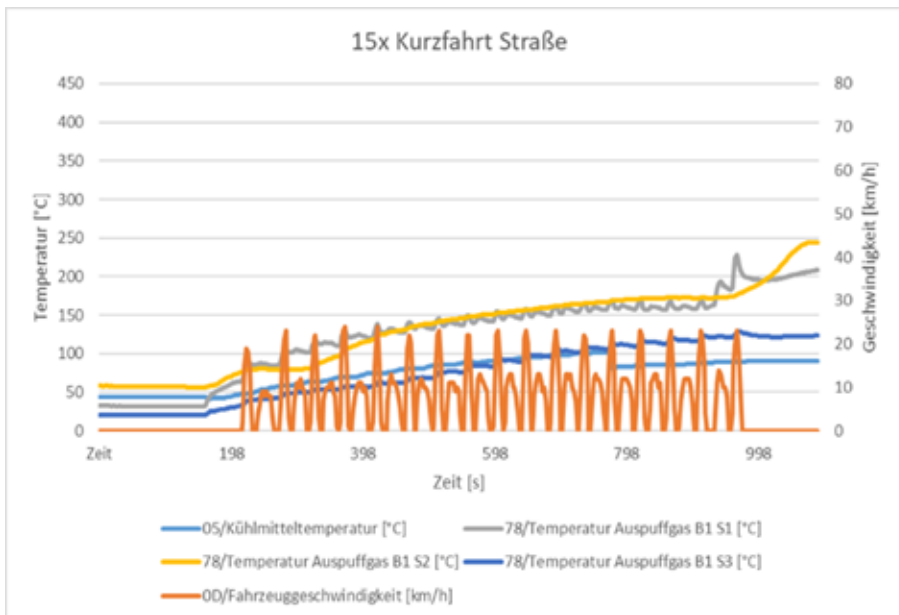
**Abbildung 129: Fahrzeug 30 – Warmfahren + 10x ASM20 + 15min Leerlauf – OBD-Daten und NO_x-
Verlauf**



A.3.2 15x Kurzfahrt Straße

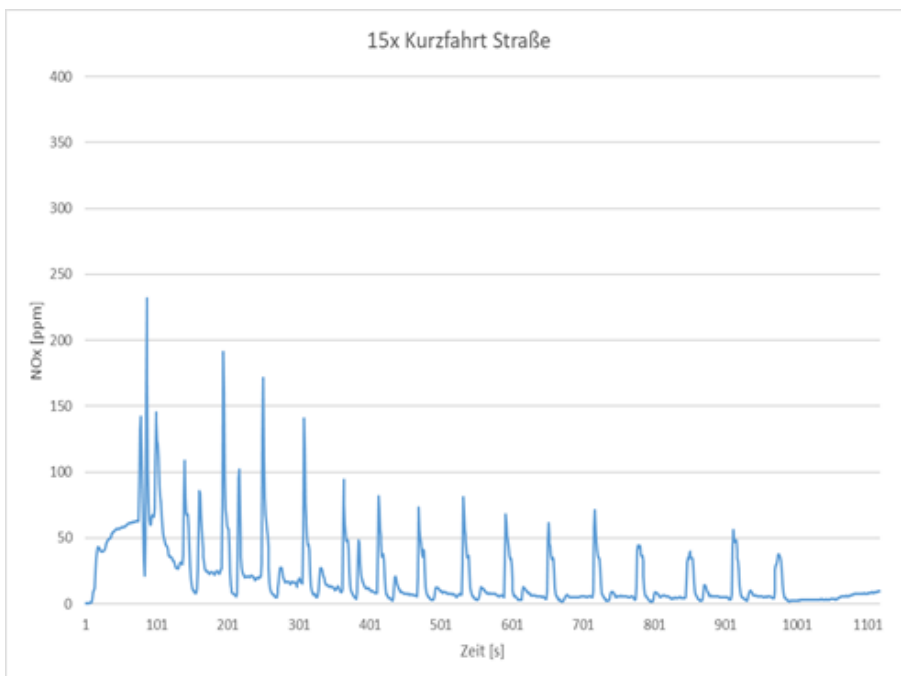
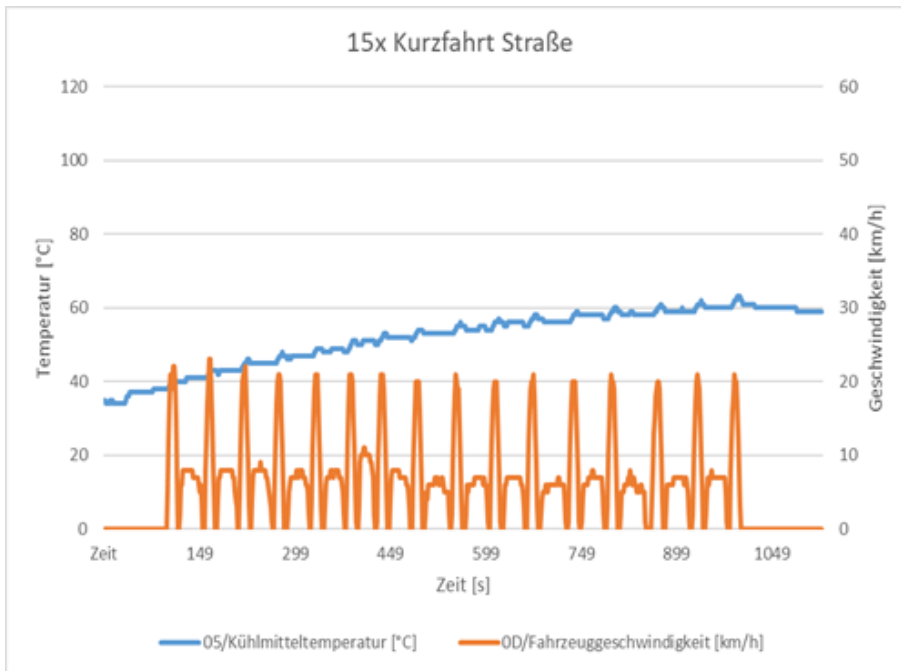
Fahrzeug 17: BMW 520d

Abbildung 130: Fahrzeug 17 – 15x Kurzfahrt Straße + 15min Leerlauf – OBD-Daten und NO_x-Verlauf



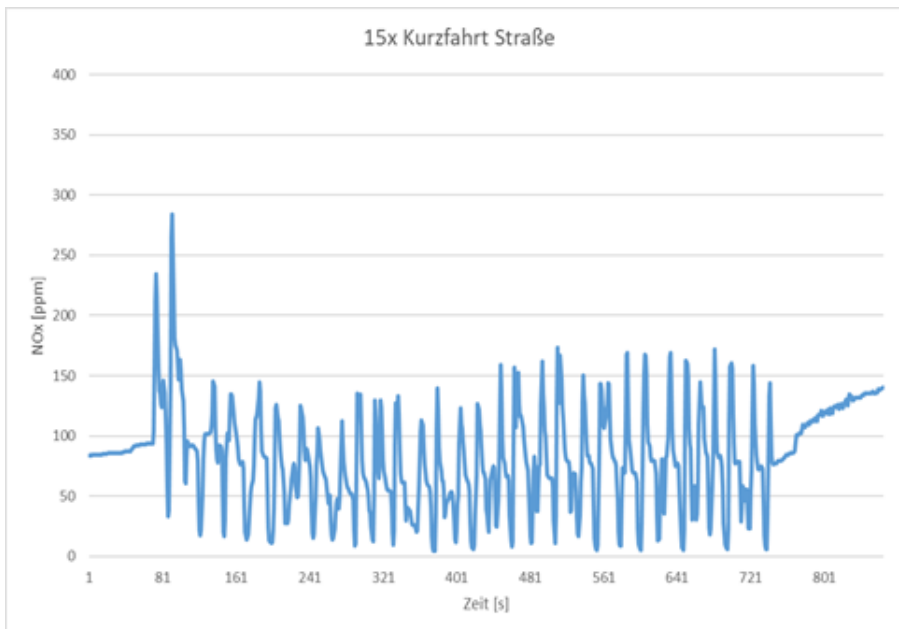
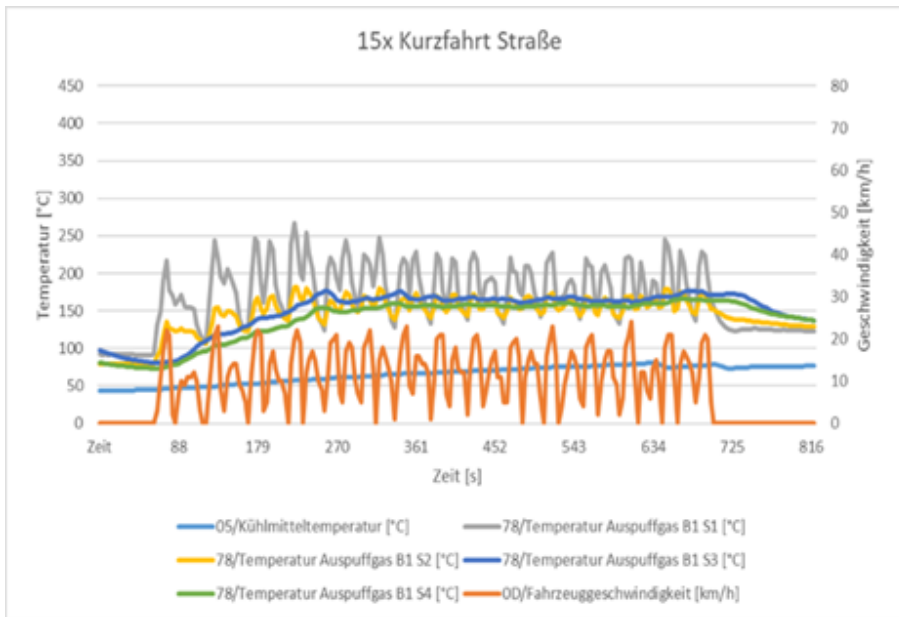
Fahrzeug 18: Mercedes Sprinter

Abbildung 131: Fahrzeug 18 – 15x Kurzfahrt Straße – OBD-Daten und NO_x-Verlauf



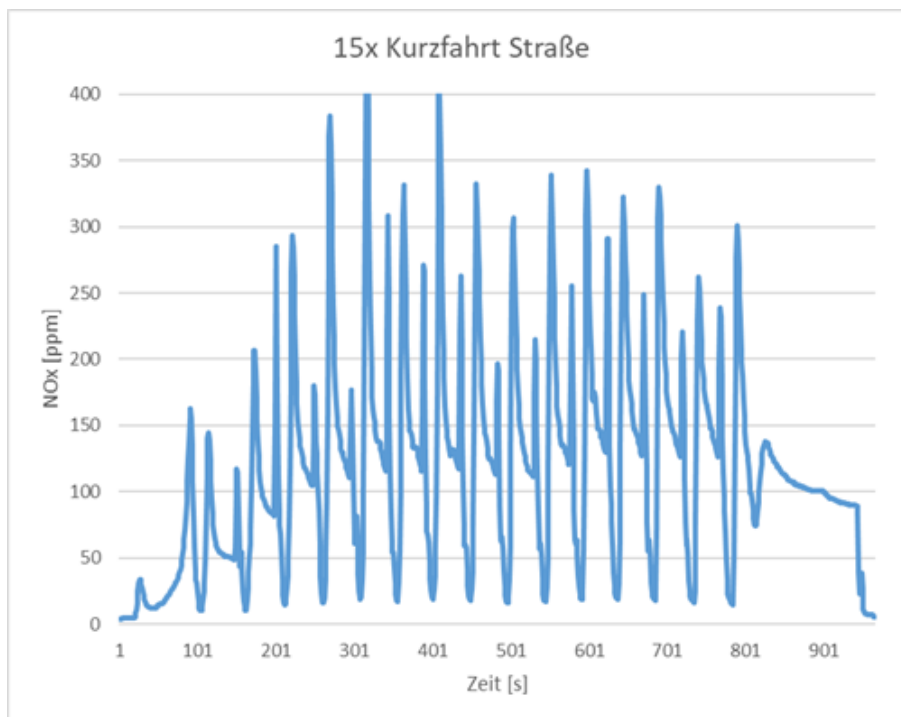
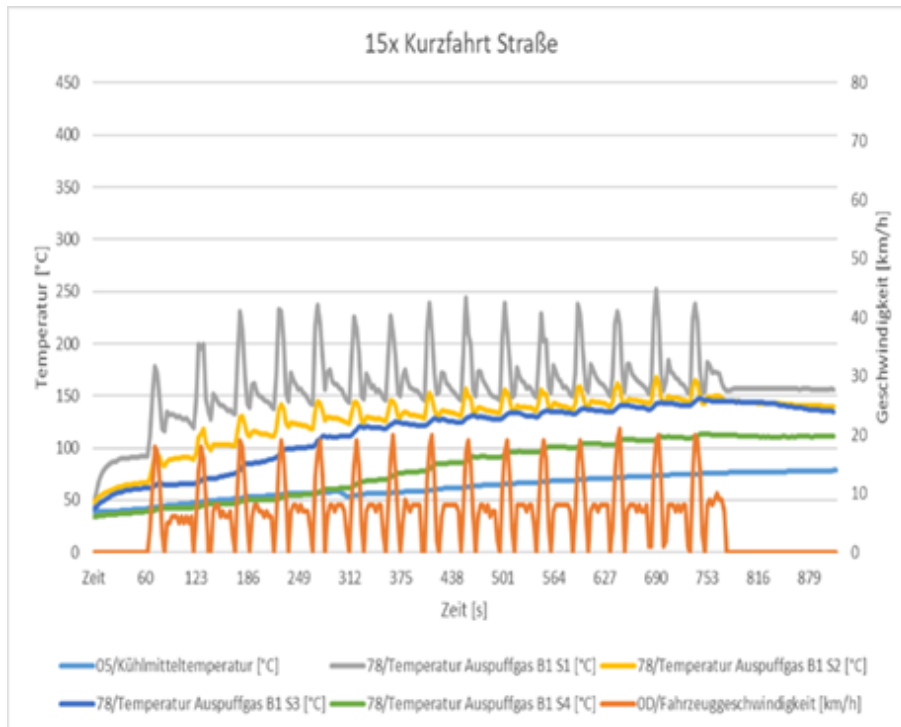
Fahrzeug 19: Renault Kangoo

Abbildung 132: Fahrzeug 19 – 15x Kurzfahrt Straße – OBD-Daten und NO_x-Verlauf



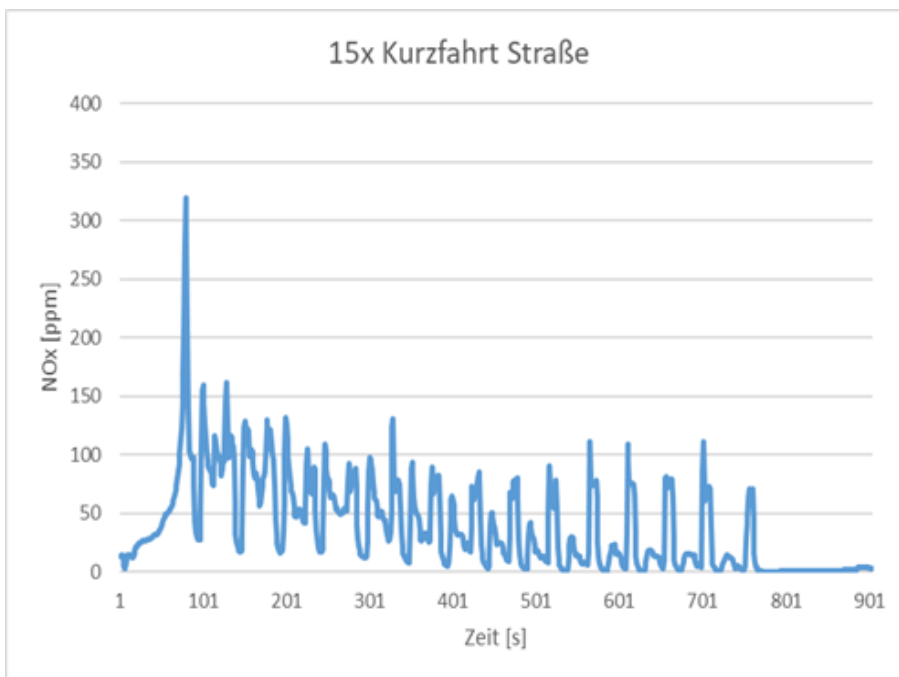
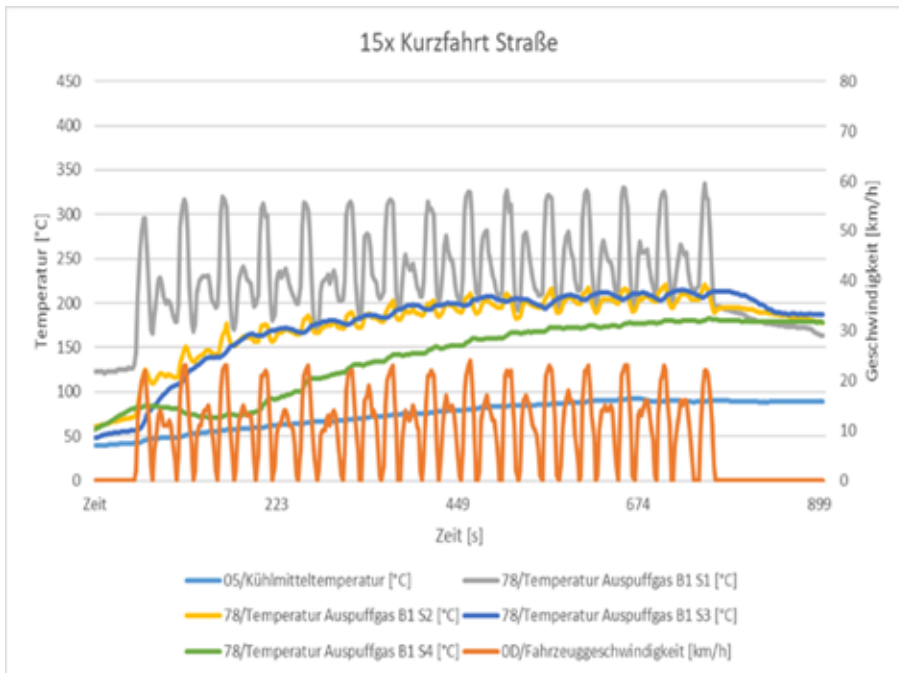
Fahrzeug 20: Hyundai Tucson

Abbildung 133: Fahrzeug 20 – 15x Kurzfahrt Straße – OBD-Daten und NO_x-Verlauf



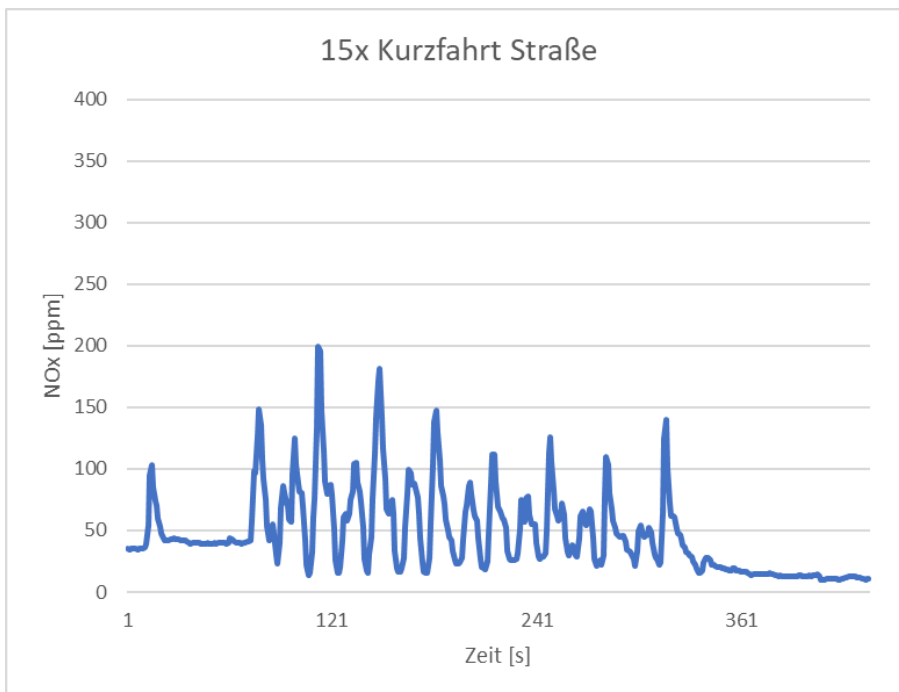
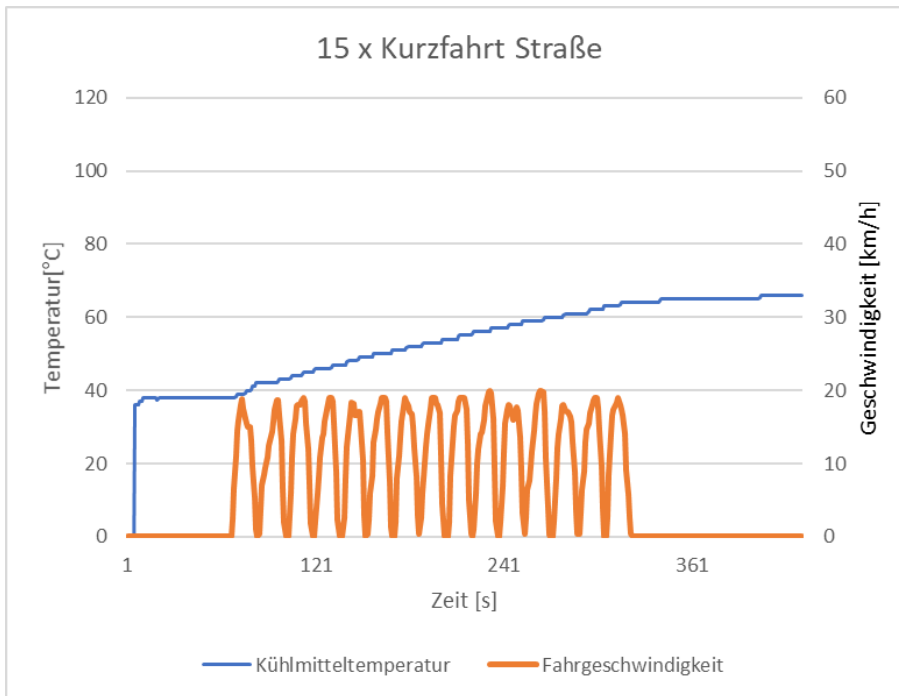
Fahrzeug 21: MAN TGE

Abbildung 134: Fahrzeug 21 – 15x Kurzfahrt Straße – OBD-Daten und NO_x-Verlauf



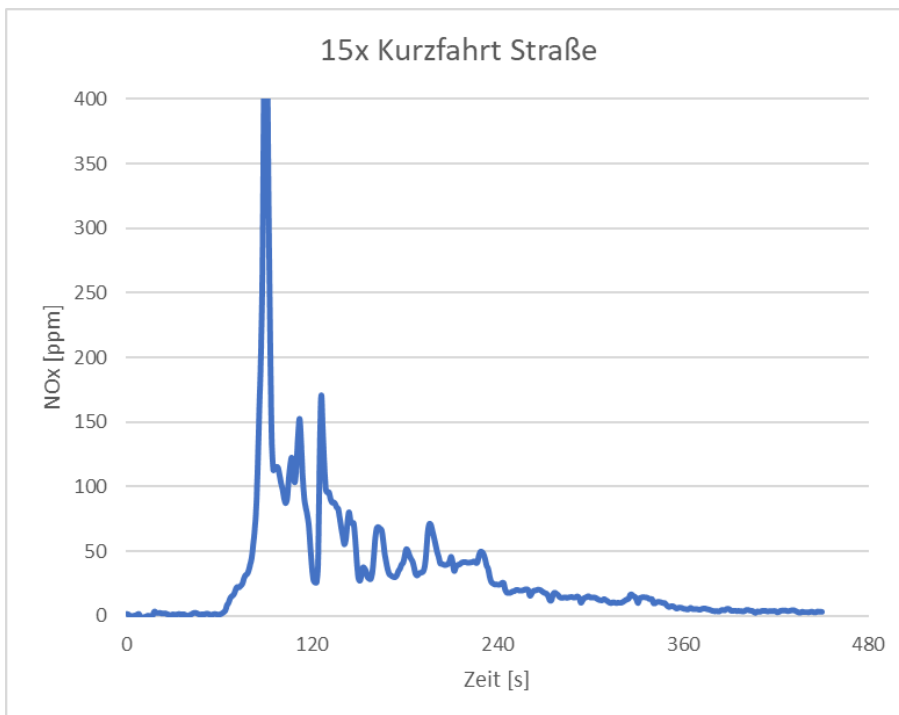
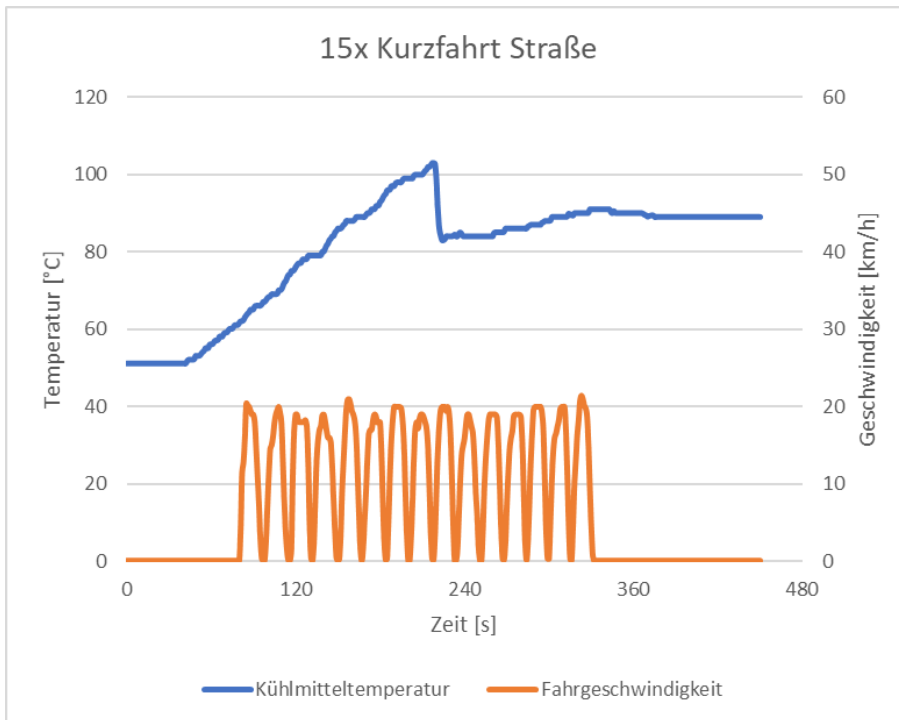
Fahrzeug 22: Opel Vivaro

Abbildung 135: Fahrzeug 22 – 15x Kurzfahrt Straße – OBD-Daten und NO_x-Verlauf



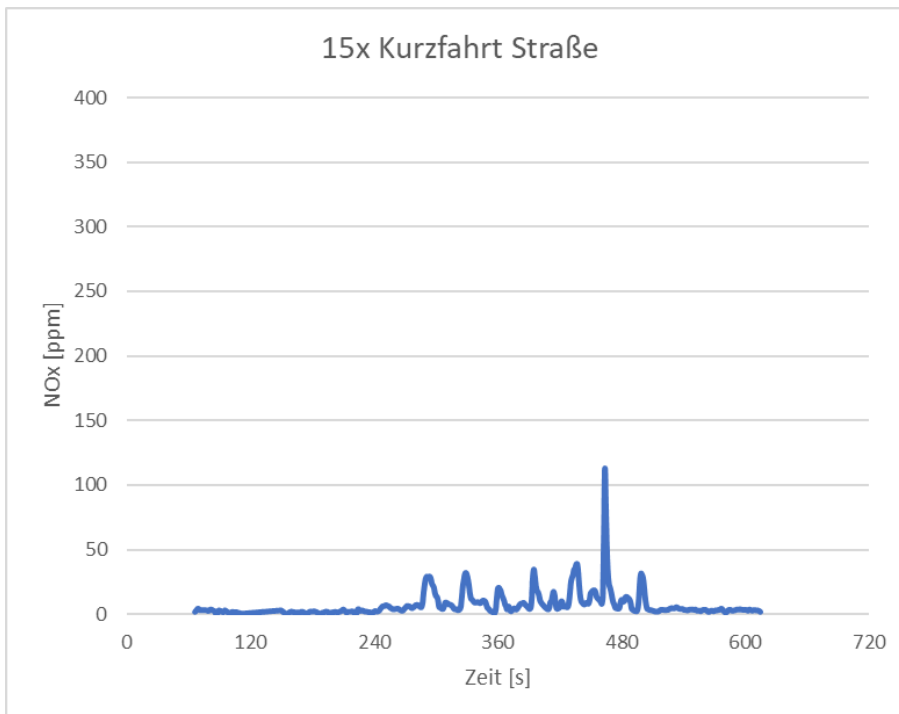
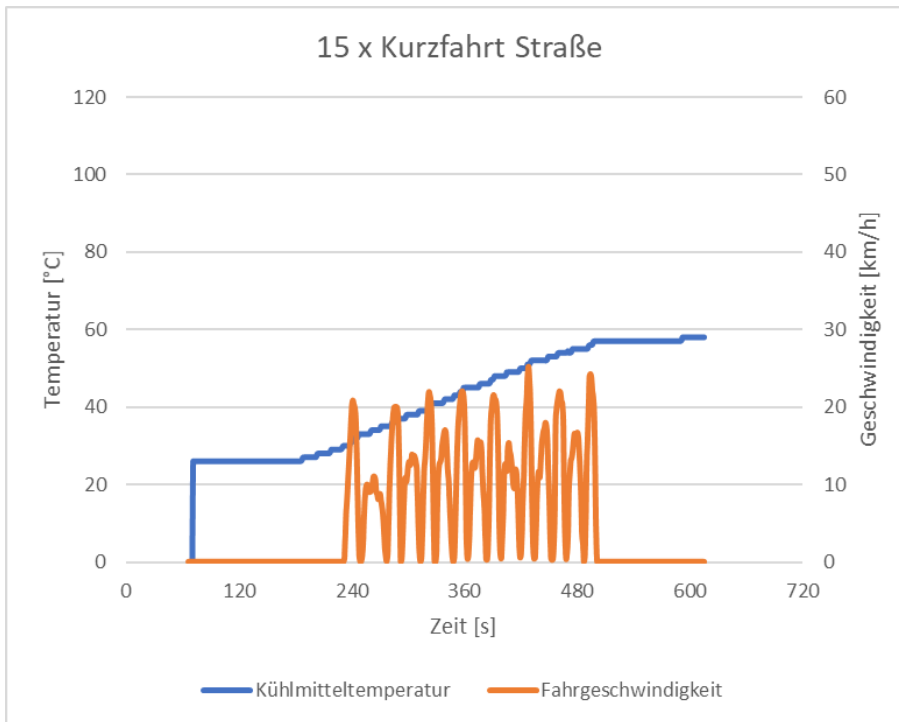
Fahrzeug 23: BMW 540d

Abbildung 136: Fahrzeug 17 – 15x Kurzfahrt Straße – OBD-Daten und NO_x-Verlauf



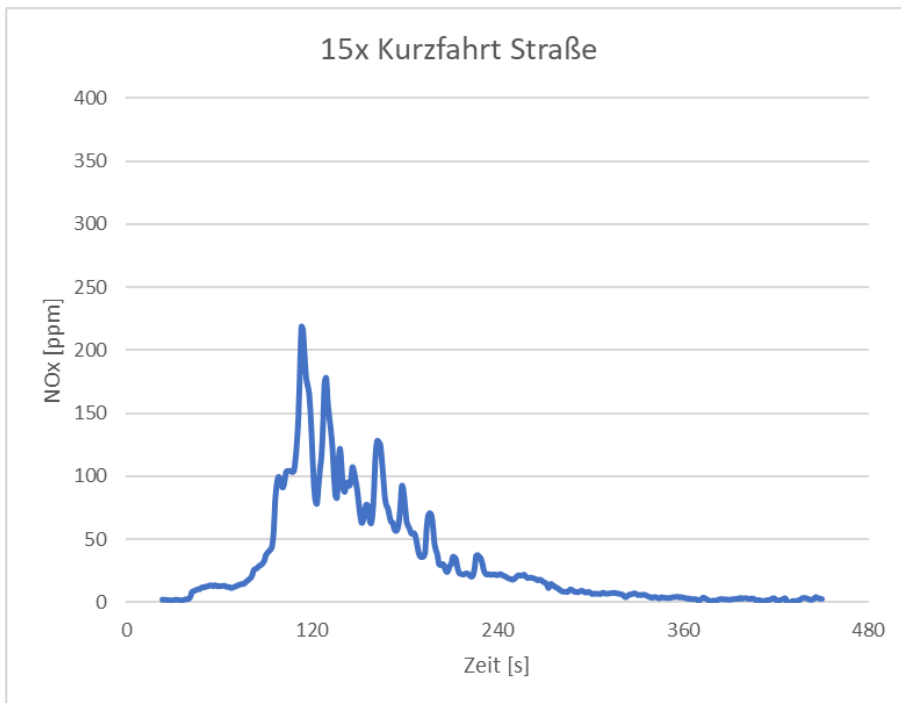
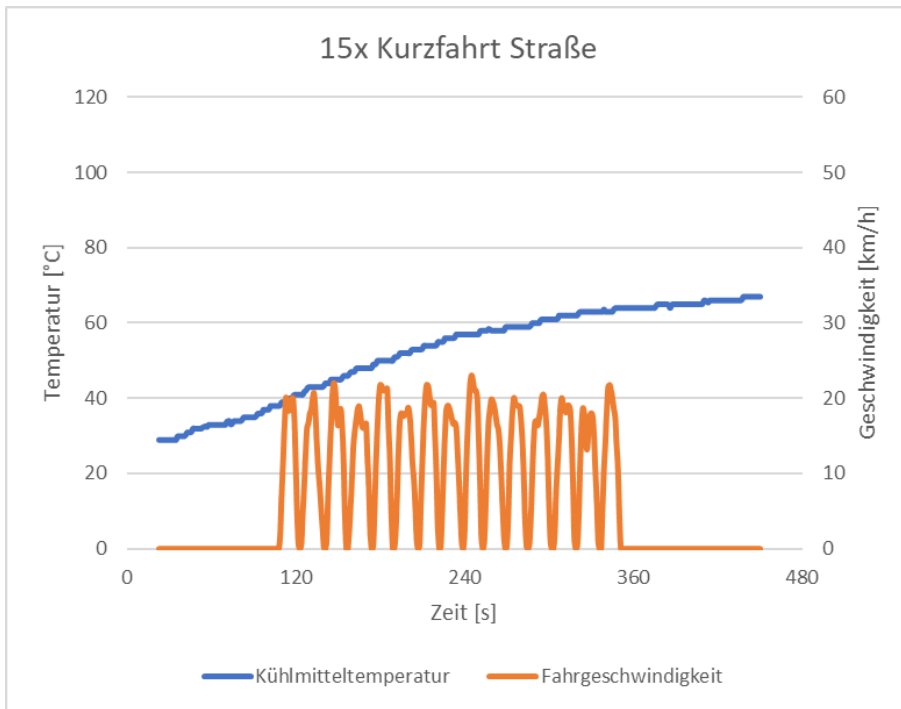
Fahrzeug 24: Hyundai Tucson

Abbildung 137: Fahrzeug 24 – 15x Kurzfahrt Straße – OBD-Daten und NO_x-Verlauf



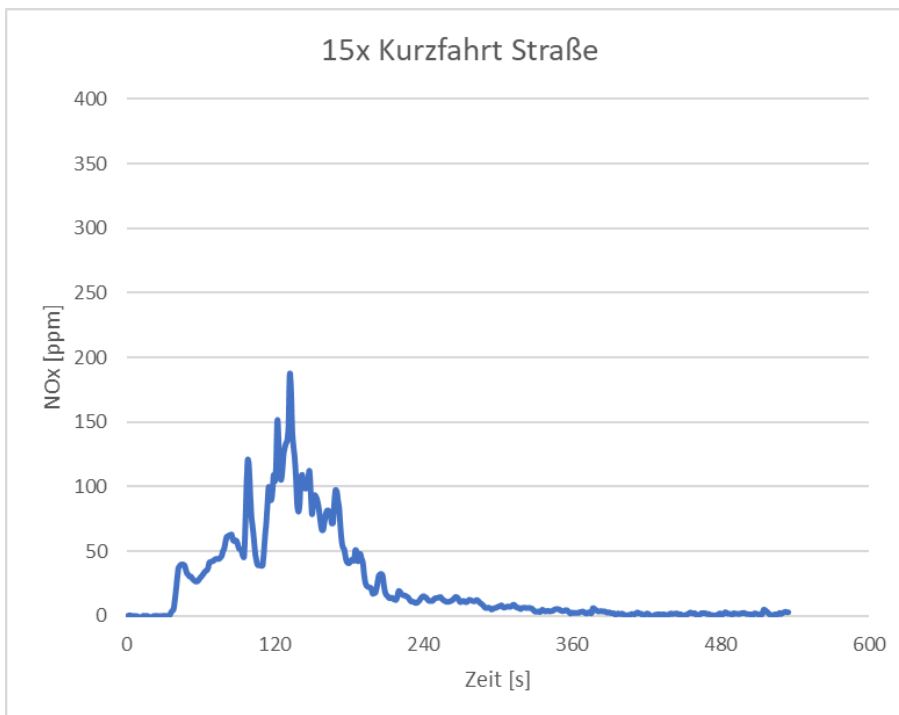
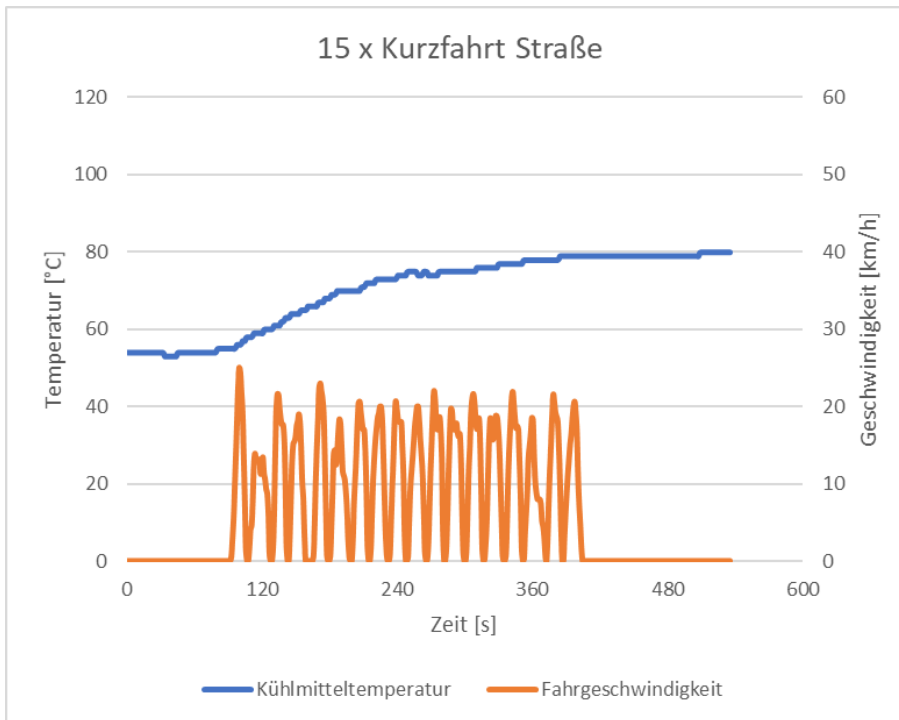
Fahrzeug 25: Skoda Octavia

Abbildung 138: Fahrzeug 25 – 15x Kurzfahrt Straße – OBD-Daten und NO_x-Verlauf



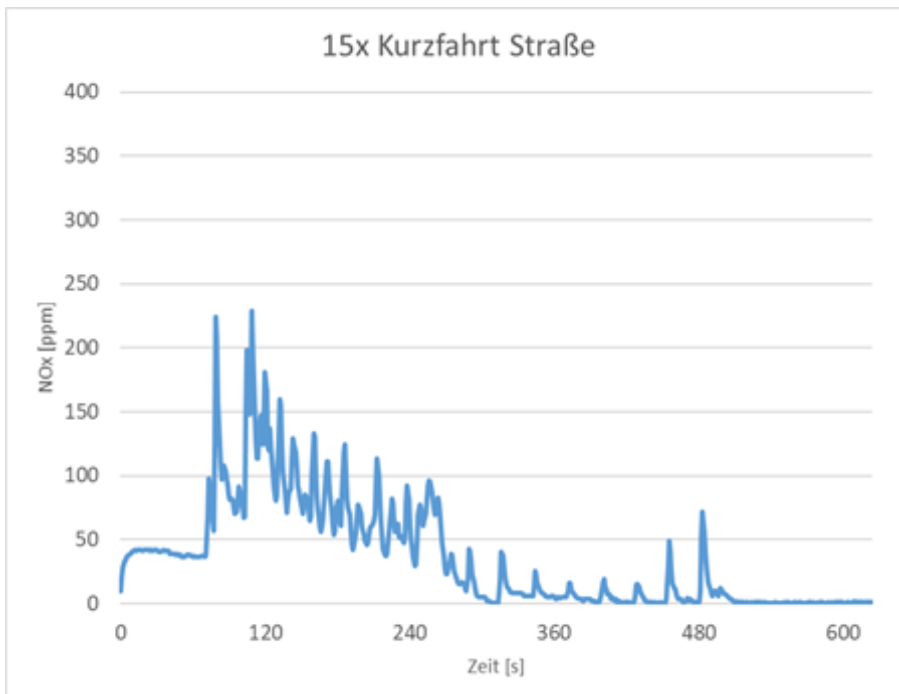
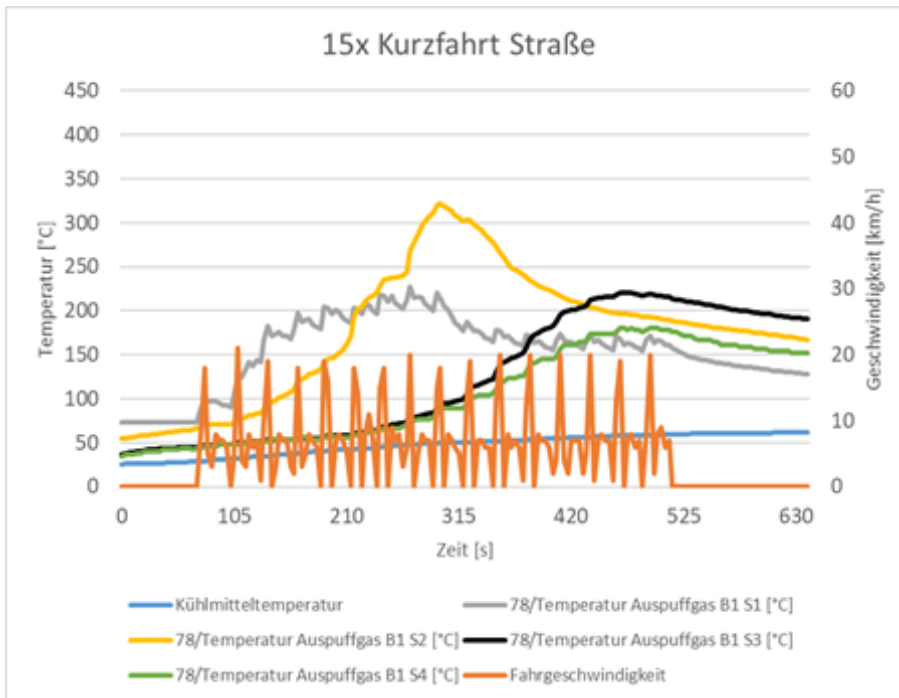
Fahrzeug 26: VW Touran

Abbildung 139: Fahrzeug 26 – 15x Kurzfahrt Straße – OBD-Daten und NO_x-Verlauf



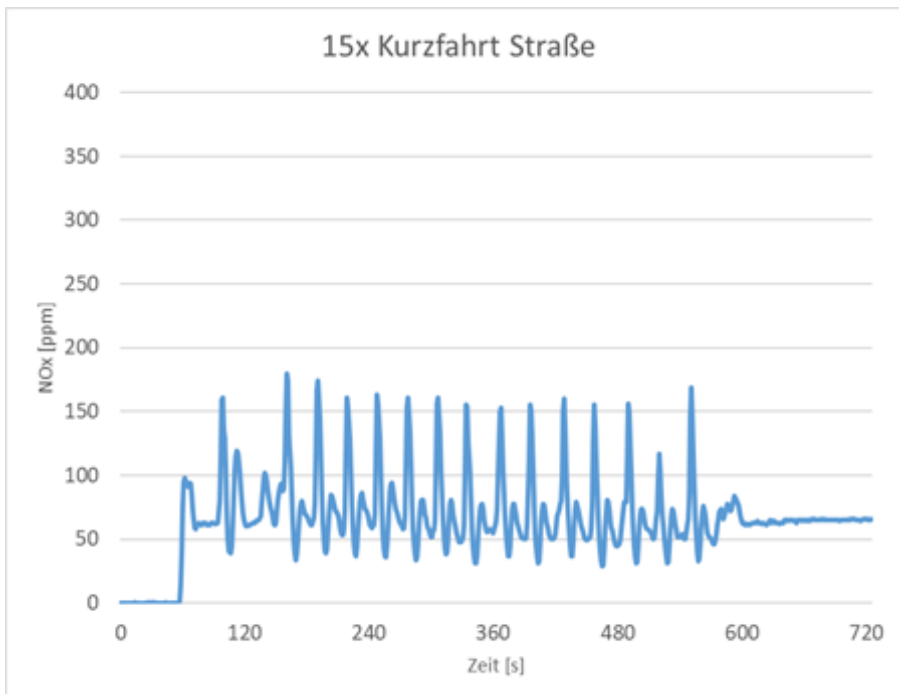
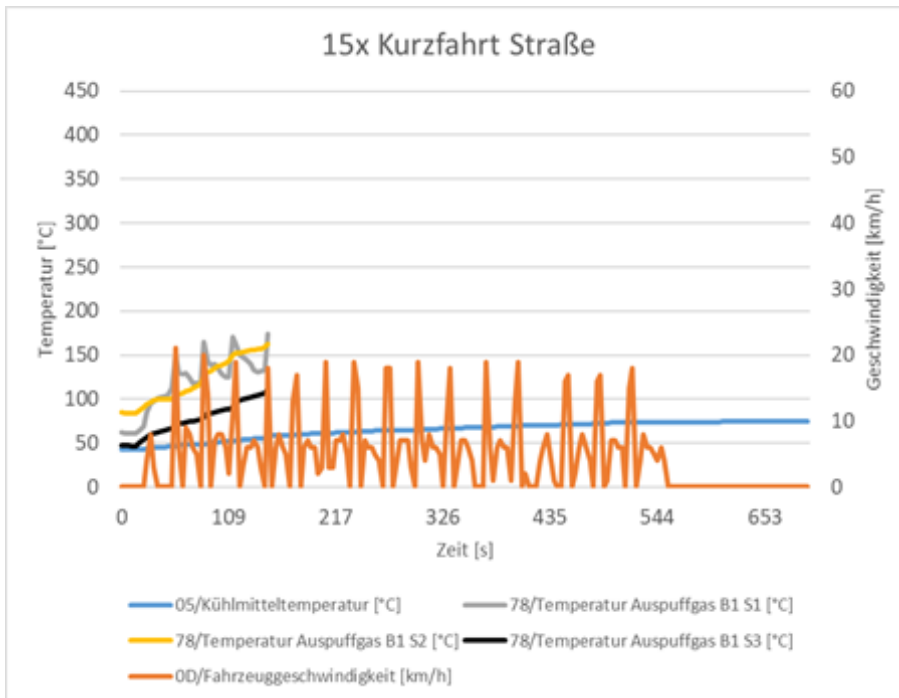
Fahrzeug 27: Fiat Tipo

Abbildung 140: Fahrzeug 27 – 15x Kurzfahrt Straße – OBD-Daten und NO_x-Verlauf



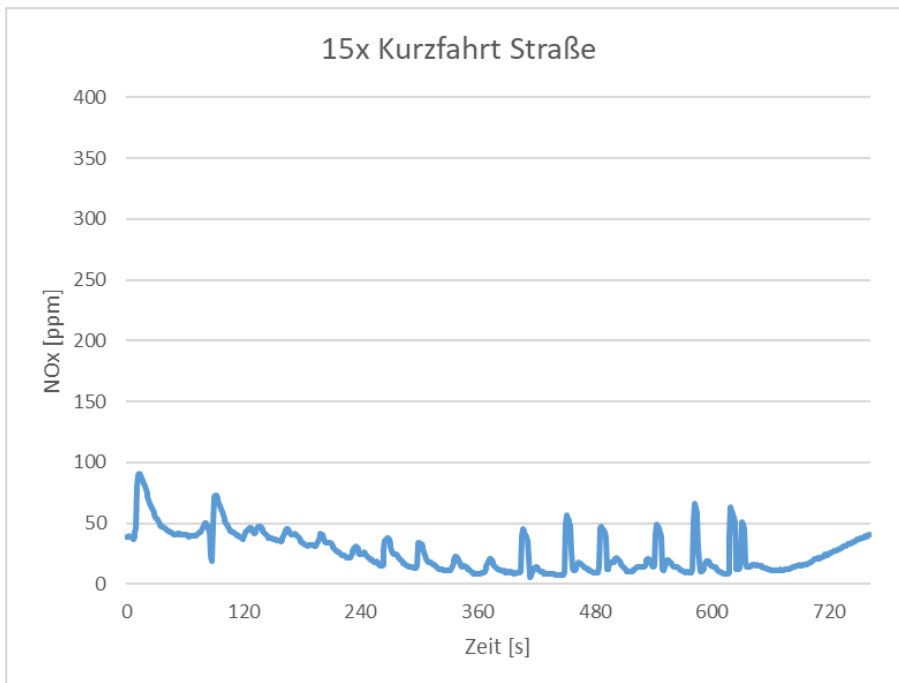
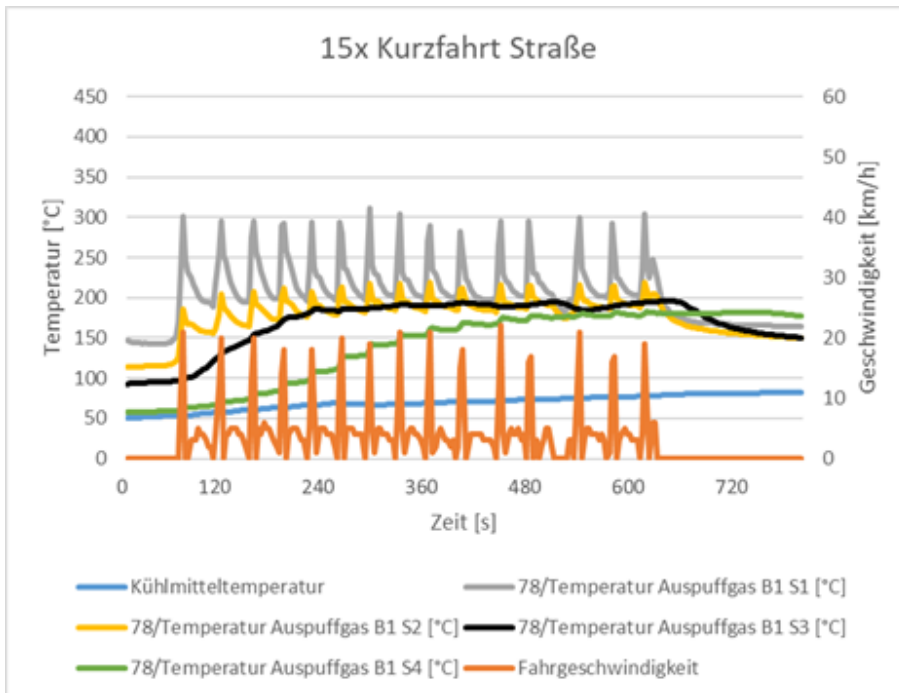
Fahrzeug 28: Mitsubishi L200

Abbildung 141: Fahrzeug 28 – 15x Kurzfahrt Straße – OBD-Daten und NO_x-Verlauf



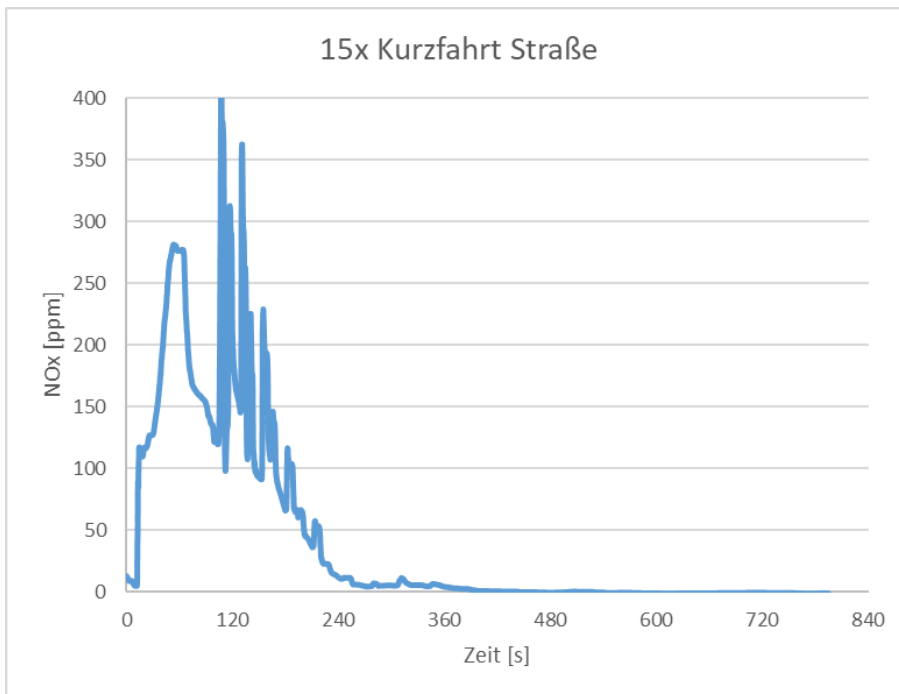
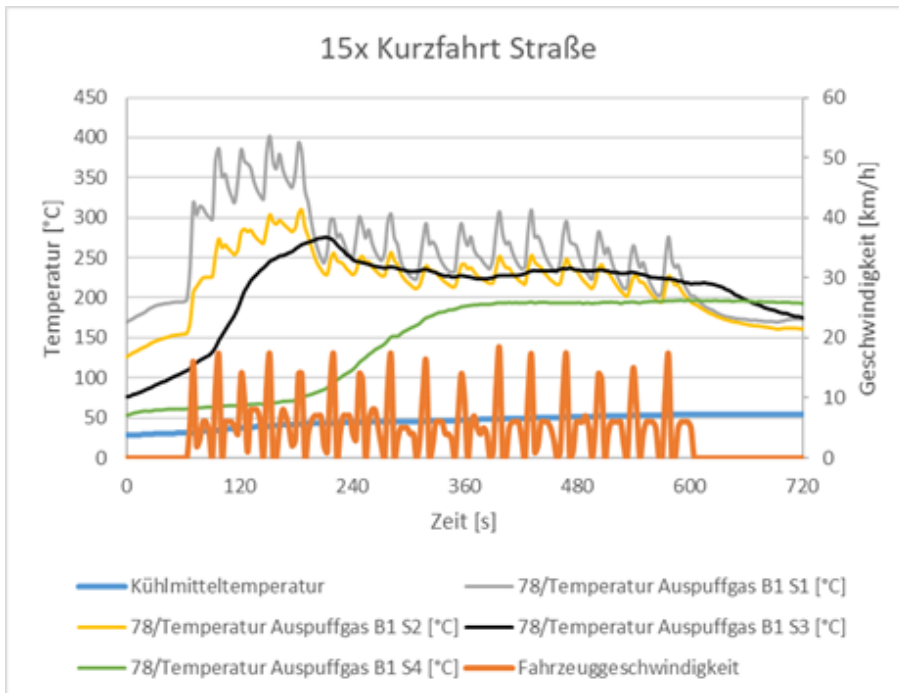
Fahrzeug 29: VW Touran

Abbildung 142: Fahrzeug 29 – 15x Kurzfahrt Straße – OBD-Daten und NO_x-Verlauf



Fahrzeug 30: Audi A7

Abbildung 143: Fahrzeug 30 – 15x Kurzfahrt Straße – OBD-Daten und NO_x-Verlauf



A.4 Tabelle zur Auswertung Fahrzeug 17-30

Abbildung 144: Tabelle zur Auswertung der Fahrzeuge 17-30

Auswertung Fahrzeug 17-30		17 AP2.2_17 BMW 520d 2.0/140KW 36AP M1 08.10.2021	18 AP2.2_18 Mercedes Sprinter 2.0/125 KW 36AR N1/III 23.06.2022	19 AP2.2_19 Renault Kangoo 1.5/85 KW 36CH N1/II 28.11.2019	20 AP2.2_20 Hyundai Tucson 1.6/100 KW 36DG M1 09.09.2019	21 AP2.2_21 MAN TGE 2.0/130 KW 36CI N1/III 01.2020	22 AP2.2_22 Opel Vivaro 2.0/90 KW 36AN N1/II 15.07.2021	23 AP2.2_23 BMW 540d 3.0/250 KW 36AP M1 14.04.2022	24 AP2.2_24 Hyundai Tucson 1.6/100 KW 36AP M1 19.09.2022	25 AP2.2_25 Skoda Ocatvia 2.0/110 KW 36AP M1 12.07.2022	26 AP2.2_26 VW Touran 2.0/110 KW 36AP M/N1 13.09.2022	27 AP2.2_27 Fiat Tipo 1.3/70kW 36DG M1 04.09.2019	28 AP2.2_28 Mitsubishi L200 2.3/110kW 36CI N1/III 21.09.2021	29 AP2.2_29 VW Touran 2.0/110 KW 36DG M1 01.09.2020	30 AP2.2_30 Audi A7 2.0/150kW 36AP M1 06.09.2022	Durchschnitt aller Fahrzeuge					
ASM20	NOx zu Beginn Messung vor Warmlauf 240 s LL (ppm)	5	20	40	50	10	10	100	5	5	5	70	70	50	50	50	40	125	130	39	
	NOx-Mittelwert während der 240 s Warmlauf (ppm)	1	10	50	50	50	120	80	20	30	30	45	45	50	50	30	40	100	100	48	
	Durchschnittlicher NOx-Wert (über die 10 ASM20-Zyklen) (ppm)	3	1	40	30	20	60	5	8	1	1	35	35	40	40	1	40	5	40	18	
	Verhalten während ASM20-Zyklen	k.P.*	k.P.*	Peaks	Peaks	Peaks	Peaks	k.P*	k.P.*	k.P.*	k.P.*	Peaks steig.	Peaks steig.	Peaks	Peaks	k.P*		k.P.*			
Leerlauf nach ASM20	minimaler NOx-Wert bei mind. 180°C Abgastemperatur	1	1	20	8	1	10	1	1	1	1	5	40	40	40	40	1	40	1	20	7
	NOx nach 10 ASM20 im Leerlauf (ppm)	1	1	20	8	1	10	1	1	1	1	40	40	40	40	1	40	1	20	9	
	NOx-Wert 180s nach ASM20 im Leerlauf (ppm)	1	1	50	25	1	25	1	1	1	1	45	45	45	45	8	100	1	35	15	
	NOx-Wert 300s nach ASM20 im Leerlauf (ppm)	1	1	120	85	1	45	1	5	1	25	140	140	48	48	20	120	1	40	35	
	NOx 600 nach ASM20 (ppm)	10	20	170	150	70	70	1	50	1	5	170	170	48	48	80	140	30	50	71	
	Asymptotischer Endwert (ppm)	?	50	180	?	110	100	1	140/40	1	0	200	200	50	50	100				87	
	Haltezeit bis NOx-Anstieg (s)	300	450	50	100	350	50	900	400	900	200	200	200	900	900	150	1	200	30	1	
	Mittelwert NOx nach 10ASM20 im LL (Serienzustand) (ppm)	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
Mittelwert NOx 180s nach ASM20 (Serienzustand) (ppm)	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	
Mittelwert NOx 300s nach ASM20 (Serienzustand) (ppm)	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	
Kurzfahrt	NOx-Durchschnitt vor Beginn Kurzfahrt (LL) (ppm)	65	55	100	20	45	45	15	5	15	35	40	40	60	60	60		150		51	
	NOx-Durchschnitt über die 15 Zyklen (ppm)	60	12	70	125	50	55	55	15	50	35	45	45	60	60	35		17		49	
	NOx nach 15 Zyklen im LL (ppm)	80	5	80	100	2	15	15	5	5	5	5	40	60	60	15		1		31	
WLTP-NOx-Messwert [mg/km]	20,2	33,6	47,1	40,9	11,5	19	38,1	14	27,7	26			86	86	44	44	23,3	23,3			

*k.P.: keine Peaks