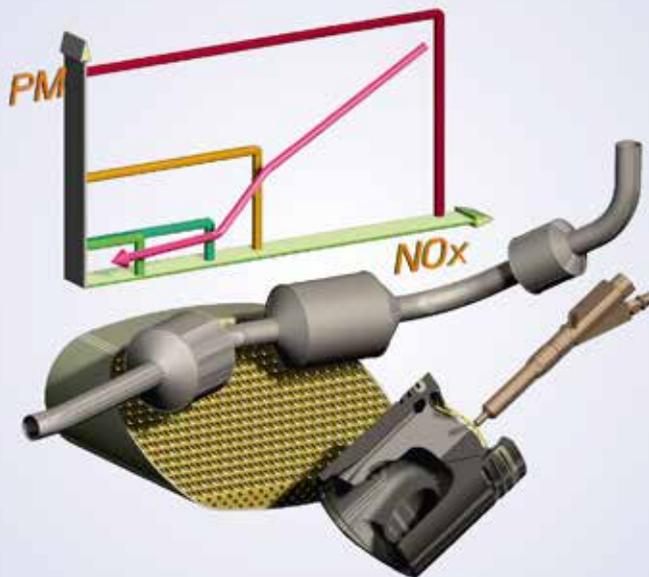


18. FAD-Konferenz



Herausforderung –
Abgasnachbehandlung

BEITRÄGE

Einsatz von OME-Reinkraftstoff am Serienmotor: Analyse der Abgasemissionen in unterschiedlichen Applikationsstrategien



*Tim Steinhaus, A. Mokros, Prof. Dr.-techn. Ch. Beidl;
TU Darmstadt / vkm, D*

steinhaus@vkm.tu-darmstadt.de

Motivation

In Anbetracht der global zu erwartenden Folgen ist der Klimawandel aufzuhalten oder zumindest zu verlangsamen, was eine signifikante Reduktion von Treibhausgasemissionen erfordert ^[1, 2]. Dies betrifft unter anderem den Verkehrssektor, welcher sich dabei insbesondere mit der Herausforderung konfrontiert sieht, CO₂ zu reduzieren, während die Gesamtfahrleistung kontinuierlich zunimmt ^[3]. Infolgedessen ist in den vergangenen Jahrzehnten im Verkehrssektor keine signifikante Reduktion der insgesamt freigesetzten Menge an CO₂ gelungen, obgleich der spezifische CO₂-Ausstoß neuer Fahrzeuge in den vergangenen Jahren zurück ging.

Neben Maßnahmen zu Effizienzsteigerung im Allgemeinen eignet sich insbesondere der verwendete Brennstoff eines Verbrennungsmotors, um über dessen CO₂-Fußabdruck die Gesamtbilanz des Fahrzeugs signifikant zu verbessern. Diese Variante bietet zusätzlich den Vorteil, dass das bisherige Mobilitätssystem, bestehend aus Fahrzeugen verschiedenster Klassen und Leistungsanforderung sowie notwendiger Infrastruktur, weiterverwendet werden kann. Im Vergleich zu alternativen Antriebstechnologien können auf diese Weise CO₂- und kostenintensive Transformationsprozesse umgangen werden. Moderne, synthetische Kraftstoffe besitzen dabei Eigenschaften, welche dazu führen, dass die eingesparte Menge an CO₂ nahezu direkt mit der im Herstellungsprozess gebundenen Menge skaliert. ^[4]



Lizenz: CC BY-NC-ND 4.0 International - Creative Commons,
Namensnennung, nicht kommerziell, Keine Bearbeitungen

Neben positiven Eigenschaften in Bezug auf eine Minderung des Treibhauseffekts ergibt sich für zukünftige Antriebssysteme darüber hinaus die Forderung von auszuschließenden gesundheitsschädlichen Folgen durch dessen Betrieb. Nach wie vor sind jedoch Grenzwertüberschreitungen im Rahmen der innerstädtischen Luftüberwachung festzustellen, welche unter anderem auf den Straßenverkehr zurückzuführen sind ^[6]. Dies betrifft insbesondere die Belastung von Feinstaub und Stickoxiden in innerstädtischen Bereichen mit hohem Verkehrsaufkommen. Besonders vielversprechend in Bezug auf beide genannten Aspekte sind demnach alternative Kraftstoffe, mit denen sich sowohl CO₂ als auch Schadstoffe signifikant reduzieren lassen.

Die Gesetzgebung limitiert Schadstoffe sowohl im Ausstoß (Emission), z.B. für Kraftfahrzeuge, als auch über die Einwirkung (Immission) ^[6, 7, 8]. Obwohl zwischen beiden Größen ein kausaler Zusammenhang besteht, so basiert die zulassungsrelevante Emissionsgesetzgebung nicht auf einer Abschätzung der damit verbundenen Wirkung. Dieser Zusammenhang wird in der vorliegenden Arbeit aufgegriffen, in dem die erzielten Emissionsergebnisse als Eingangsgröße für ein Immissionsmodell einer innerstädtischen Hot-Spot Station verwendet werden. Auf diese Weise gelingt eine Abschätzung der Auswirkungen der hier erzielten Emissionsergebnisse auf die innerstädtische Luftqualität.

Im vorliegenden Beitrag wird untersucht, unter welchen Randbedingungen und mit welchen Emissionsergebnissen der synthetische Kraftstoff Oxymethylenether (OME) eingesetzt werden kann. Die Untersuchungen erfolgen an einem aktuellen Motor mit marktüblichen Abgasnachbehandlungskomponenten. Die veränderbaren Parameter der Motorsteuerung werden mit Fokus auf drei unterschiedliche Ziele optimiert. Final wird eine Variante mit niedrigsten Abgasemissionen abgeleitet.

Experimenteller Aufbau

Das Leitmotiv der vorgestellten Untersuchungen ist eine Abschätzung des Grenzpotenzials von derzeit verfügbaren Technologien. Aufgrund dessen handelt es sich bei sämtlichen Komponenten um Serienprodukte, welche sich bereits im Einsatz befinden, obgleich die hier umgesetzte Konfiguration der Komponenten nicht in einem Serienfahrzeug erhältlich ist.

Versuchsmotor

Bei dem verwendeten Motor handelt es sich um einen Pkw-Dieselmotor, welcher im D- und J-Segment (Obere Mittelklasse und Sports Utility Vehicles) eingesetzt wird. Mit den in [Tabelle 1](#) aufgeführten Kenngrößen ist der Prüfling im oberen Leistungsbereich herkömmlicher Serien-Pkw-Dieselmotoren anzusiedeln. Das Aggregat verfügt über eine zweistufige Abgasturboaufladung, eine davon ist mit variabler Turbinengeometrie (VTG) ausgeführt. Die Abgasrückführung (AGR) erfolgt niederdruckseitig.

	Wert	Einheit
Drehzahl	5000	1/min
Maximale Leistung	173	kW
Maximales Drehmoment	480	Nm
Zylinderanzahl	4	-
Hubvolumen	1969	cm ³
Bohrung/Hub	82/93,2	mm
Kompressionsverhältnis	15,8 : 1	-

Tabelle 1: Kenngrößen des Versuchsmotors

Außer den notwendigen, peripheren Anpassungen für den Prüfstandsbetrieb werden am Prüfling keinerlei Änderungen gegenüber dem Serienstand vorgenommen. Das Motorsteuergerät (Engine Control Unit, ECU) verfügt über eingeschränkte Möglichkeiten zur Anpassung der Einstellparameter für die eingespritzte Kraftstoffmenge, den Einspritzzeitpunkt und dessen Dauer, die AGR-Rate sowie den Ladedruck innerhalb fester Grenzen.

Abgasnachbehandlung

Das verwendete System zur Konvertierung der Schadstoffe im Abgas besteht aus den in **Abbildung 1** dargestellten Komponenten.

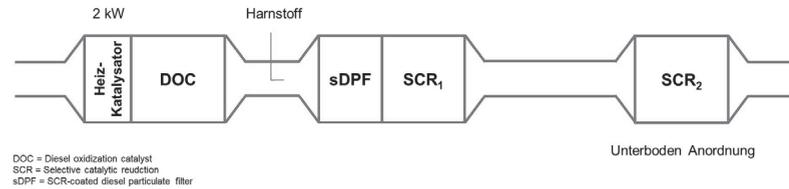


Abbildung 1: Konfiguration des eingesetzten Abgasnachbehandlungssystems.

Selbstzündende Motoren weisen aufgrund ihres hohen Wirkungsgrades allgemein niedrige Abgastemperaturen auf. Auf Basis von Vorerfahrungen mit OME ist bereits bekannt, dass in einigen Betriebspunkten sogar eine weitere Absenkung der Abgastemperatur zu erwarten ist. Aus diesem Grund ist in der Anlage ein vorgeschalteter Dieseloxidationskatalysator (DOC) mit integrierten Heizelementen verbaut. Der DOC dient der Umsetzung von Stickstoffmonoxid (NO) zu Stickstoffdioxid (NO₂) sowie zur Oxidation von Kohlenwasserstoffen (HC) und Kohlenmonoxid (CO), sofern vorhanden. Es folgt ein Seriendosiersystem zur Harnstoffeinspritzung, welcher sowohl im nachgeschalteten beschichteten Dieselpartikelfilter (sDPF) als auch in den dezidierten, selektiven Katalysatoren (SCR) Stickoxide zu Stickstoff (N₂) und Wasser (H₂O) reduziert. Während die zuvor beschriebenen Komponenten motornah angeordnet sind, befindet sich ein weiterer SCR-Katalysator in einem Abstand von 1,4m, vergleichbar zu einer Anordnung im Fahrzeugunterboden.

Kraftstoff

Der eingesetzte Kraftstoff gehört zur Gruppe der Polyoxymethylendimethylether (kurz OME). Im Gegensatz zu herkömmlichen, fossilen Kraftstoffen kennzeichnet selbige unter anderem deren Besonderheit, dass keine direkten Kohlenstoffverbindungen in den Molekülketten existieren. Daher weisen sie eine viel geringere Neigung zum Verkoken und damit zur Partikelbildung auf, da das Luft-Kraftstoffgemisch im Brennraum wesentlich homogener aufgrund des kraftstoffinhärenten Sauerstoffanteils ist [9, 10, 11]. Darüber hinaus bedingt diese Molekülzusammensetzung höhere Brenngeschwindigkeiten und wirkt damit wirkungsgradsteigernd. Umgekehrt führt der hohe Sauerstoffanteil jedoch auch zu einem niedrigeren unteren Heizwert.

Durch den synthetischen Herstellungsprozess lassen sich die Zusammensetzung des Kraftstoffs und damit dessen zuvor genannte Eigenschaften gezielt

steuern. **Tabelle 2** listet die wichtigsten Kenngrößen des hier verwendeten OMEs im Vergleich zu herkömmlichem Dieseldieselkraftstoff und der Norm auf. Das zur Verfügung stehende Gemisch OME3-6 besteht aus ~ 47% OME3, ~ 30% OME4, ~ 17% OME5 und ~ 6% OME6.

Parameter	Einheit	DIN EN 590 *	Diesel B0/B7	OME 3-6
Unterer Heizwert	MJ/kg	-	42.7/42.56	19.4
Dichte bei 15 °C	kg/m ³	820 - 845	830/835	1046
Siedepunkt	°C	95 % bei 360	170 - 370	150 - 260
Cetan-Zahl	-	> 51	56.1/51.3	72 ***
HFRR	µm	< 460	306/202	409
Kinematische Viskosität	mm ² /s	2 - 4.5 (40 °C)	2.55/2.63 (40 °C)	0.957 (40 °C)
O ₂ -Gehalt	M.-%	-	0/0.8	47.9
FAME	Vol.-%	Bis 7	0/bis 7	-
Schwefel	ppm	< 10	<10	-
GHS - Gefahren**	-			

* [12] / ** [4] / *** [9]

Tabelle 2: Überblick der Eigenschaften von Diesel und OME 3-6 im Vergleich zur DIN EN 590

Ergebnisse

Die Vorgehensweise zur Untersuchung des Einsatzes von OME gliedert sich in die folgenden vier Schritte:

1. Basismessung Diesel
Für sämtliche Betriebspunkte werden prozessbestimmende Größen unter Normalbedingungen, das heißt ohne Eingriffe am Steuergerät und bei Verwendung von herkömmlichem Dieseldieselkraftstoff, ermittelt.
2. Grundapplikation (OME G)
Innerhalb der Grundapplikation für OME wird sichergestellt, dass alle Betriebsparameter möglichst vergleichbar zum Serienbetrieb mit Dieseldieselkraftstoff sind. Zugleich wird die eingespritzte Kraftstoffmenge soweit erhöht, bis die Leistung jener im Serienstand entspricht.

3. Höchst-AGR-Applikation (OME H)
Zusätzlich zu 2. wird die externe AGR erhöht, bis eine Erhöhung der Partikelemission oder eine instabile Verbrennung zu beobachten ist. Der Fokus in dieser Applikation liegt auf einer Darstellung möglichst niedriger Stickoxidemissionen.
4. Ausgewogene Applikation (OME A)
Gegenüber 3. wird die AGR-Rate reduziert sowie der Verbrennungsschwerpunkt Richtung Optimum verschoben, sodass ein Optimum niedrigster Emissionen über sämtliche Spezies am Motorausgang vorliegt.

Zunächst wird eine Grundvermessung mit Dieselkraftstoff (B7) durchgeführt. Im 1. Schritt sollen dann zunächst rein kraftstoffinduzierte Veränderungen quantifiziert werden. Schritt 2 dient der Abschätzung des maximalen motorischen Potenzials für niedrige Stickoxidemissionen am Motorausgang. Das im Rahmen von Schritt 3 abschließend identifizierte Optimum dient dem Zweck, unerwünschte Nebeneffekte infolge maximaler AGR zu vermeiden.

Im Rahmen der Untersuchungen werden vier repräsentative Betriebspunkte identifiziert und als Referenzpunkte für die Untersuchungen festgelegt. Dies geschieht auf Basis einer Vielzahl von RDE-Fahrten vergleichbarer Fahrzeuge, deren Betriebszustände statistisch am häufigsten auftreten. Betriebszustände wie Leerlauf, Schalt- oder Ausrollvorgänge wurden dabei ausgeschlossen. Die so ermittelten Betriebspunkte sind in [Tabelle 3](#) aufgelistet.

Betriebspunkt	Drehzahl	Drehmoment	Leistung
	1/min	Nm	kW
OP 1	1250	37	6.6
OP 2	1500	47	9.4
OP 3	1750	116	22.0
OP 4	2250	130	33.0

Tabelle 3: Definition der repräsentativen Betriebspunkte des Motors

Im Konfidenzintervall von 95% beträgt die Abweichung über alle Messungen 0,5 Nm und 0,09 U/min, wobei keine signifikante Veränderung dieser Werte durch den Betrieb mit OME festgestellt wurde. Die Reproduzierbarkeit der Messungen wird daher als gegeben angenommen.

Thermodynamische Bewertung

Aufgrund des niedrigeren unteren Heizwertes von OME gegenüber Diesel (rechnerischer Faktor von 2,2) muss die eingespritzte Kraftstoffmenge erhöht werden. Dies erfolgt hierbei durch Verlängerung der Haupteinspritzung. Trotz der folglich verlängerten Gesamteinspritzdauer verläuft die Verbrennung insgesamt schneller (kürzere Brenndauer) im Vergleich zu konventionellem Dieseldieselkraftstoff. Quantitativ ergibt sich eine Steigerung der Brennrate im Bereich von 16% bis 64%.

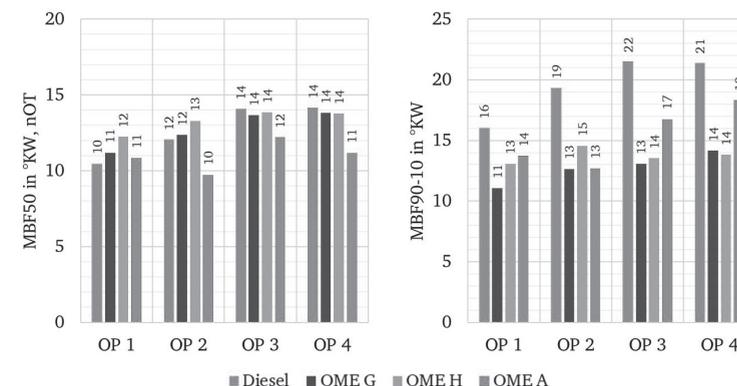


Abbildung 2: Verbrennungsschwerpunkt (links) und Brenndauer (rechts) für verschiedene Applikationen.

Selbst in der Hoch-AGR-Applikation (graue Balken in den Abbildungen) läuft die Verbrennung schneller als mit Dieseldieselkraftstoff ab. Dieser Umstand führt dazu, dass der Verbrennungsschwerpunkt bei der Verbrennung von OME ohne Anpassungen geringfügig später ist als mit konventionellem Dieseldieselkraftstoff. Im Betrieb mit Diesel, OME G und OME H wurde der Verbrennungsschwerpunkt nicht aktiv durch Anpassung der Einspritzzeiten verändert. In Variante OME A wurde der Verbrennungsschwerpunkt in Richtung eines günstigsten Kompromisses zwischen Effizienz und Emissionen verschoben. Zu diesem Zweck wurde eine lokale Optimierung durchgeführt.

Da der Serienstand des Motorsteuergeräts auf die Verwendung von Dieseldieselkraftstoff ausgelegt ist, führt die fast verdoppelte Menge an eingespritztem OME mit anderen physikalischen Eigenschaften zu ungewollten Eingriffen durch die ECU. So ergeben sich Abweichungen beim Ladedruck, teilweise dem Einspritzmuster und eine höhere Turbulenz der zugeführten Frischluft durch stärkere Einwirkung der Drallklappen im Ansaugtrakt. Die genannten Größen können nur unzureichend kontrolliert werden und stellen infolgedessen einen ungewollten Quereinfluss zu den dargestellten Analysen und einstellbaren Einflussgrößen dar. In Bezug auf den Ladedruck konnte mittels Anpassungen ein Druckabfall einzig für OP4 in OME A von 5% nicht verhindert werden. Das Einspritzmuster ändert sich ausschließlich in OP2 zwischen der Dieselmessung und sämtlichen

OME Messungen (unter diesen konstant). Umgekehrt sind die Drallklappenpositionen im Lufteinlass ausschließlich im OP4 zwischen Diesel und den OME Messungen verändert.

Im Hinblick auf den Wirkungsgrad ist damit eine Beeinflussung zu erwarten. Einerseits reduzierend durch Drossel effekte und andererseits leicht steigernd durch bessere Verbrennungsbedingungen infolge besserer Gemischaufbereitung. Effizienzverluste sind außerdem durch zusätzlich erhöhte AGR-Raten zu erwarten. Der bereits angesprochene, kraftstoffinhärente Effekt einer schnelleren Verbrennung sollte umgekehrt effizienzsteigernd wirken. Des Weiteren ist von höheren mechanischen Verlusten aufgrund der höheren Menge an eingespritztem Kraftstoff auszugehen. Die Effektstärke und -interaktion variiert zusätzlich zwischen den Betriebspunkten.

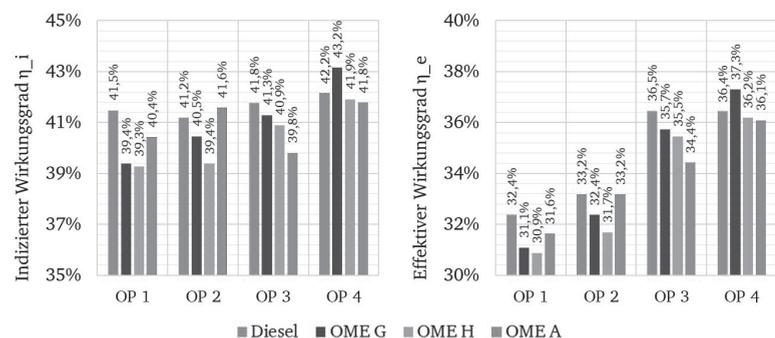


Abbildung 3: Wirkungsgradvergleiche indiziert (links) und effektiv (rechts) für verschiedene Applikationen.

In Summe führen die beschriebenen Effekte in den durchgeführten Untersuchungen zu Veränderungen der indizierten Wirkungsgrade in Bezug auf die Diesel-Applikation zwischen -1,8 % bis +1,0 %, dargestellt in [Abbildung 3](#). Der Kraftstoffeinfluss ist dabei zweigeteilt – bei niedriger Last und Drehzahl wirkungsgradmindernd, umgekehrt steigernd. Die abnehmende Effizienz durch erhöhte Abgasrückführaten ist in allen Betriebspunkten der Applikation OME H ersichtlich. In den Betriebspunkten 1 und 2 gelingt mit der ausgewogenen Applikation OME A eine Wirkungsgradsteigerung, welche sich für die anderen Betriebspunkte nicht realisieren lässt. Der mechanische Wirkungsgrad steigt insgesamt mit zunehmender Leistung der Betriebspunkte, wobei eine geringe Deviation zwischen den Applikationen vorliegt. Der sich insgesamt ergebende, effektive Wirkungsgrad spiegelt die zuvor beschriebenen Zusammenhänge wieder. Insgesamt liegen die Abweichungen zwischen der Diesel- und den OME-Applikationen zwischen -2,1 % und +0,9 %.

In Bezug auf die Reaktionsgrößen sind im OME Betrieb reduzierte Abgastemperaturen zu erwarten. Infolge der höheren Mengen an eingespritztem Kraftstoff kommt es zu einer Steigerung des Wärmeentzugs durch verdampfenden Kraftstoff im Brennraum. In Summe würde dadurch das grundsätzlich niedrige

Abgastemperaturniveau von Dieselmotoren somit weiter reduziert. Die durchgeführten Messungen spiegeln das erwartete Verhalten wieder, mit Reduktionen zwischen 10 - 30 °C in OME G. Einzig die erhöhten AGR-Raten in OME H führen teilweise zu einer geringen Anhebung der Abgastemperaturen innerhalb des OME-Betriebs. Insgesamt kann in den Betriebspunkten 1 und 2 ein sicheres Überschreiten der Light-Off Temperatur nicht sichergestellt werden. In den nachfolgend gezeigten Emissionsmessergebnissen ist deshalb in diesen Betriebspunkten der Heizkatalysator aktiviert.

Der Vergleich der Abgasemissionen am Motorauslass für die unterschiedlichen Applikationen nach [Abbildung 4](#) zeigt, dass die beabsichtigten Effekte erzielt werden und mit den grundsätzlichen Erwartungen übereinstimmen. Für alle gesetzlich limitierten Abgaskomponenten lässt sich eine kraftstoffinduzierte Schadstoffreduktion durch OME (blaue Balken) im Vergleich zu herkömmlichem Dieseldieselkraftstoff (gelbe Balken) feststellen. Allgemein ist dies mit einem homogenen Sauerstoff-Brennstoff-Verhältnis im Brennraum zu begründen, welcher eine stöchiometrische Verbrennung mit weniger Nebenprodukten begünstigt. Bei den Stickoxiden wird zusätzlich der Effekt der geringen Brennraumtemperaturen infolge des Verdampfungswärmeentzugs wirksam, durch welchen die Bildung von thermischem NO gemindert wird. Die durchschnittliche Reduktion der Stickoxide beträgt dabei 36 %. Bei den Roh-Partikelemmissionen liegt der Reduktionsfaktor in allen Applikationen bei einem Faktor von mindestens 1000.

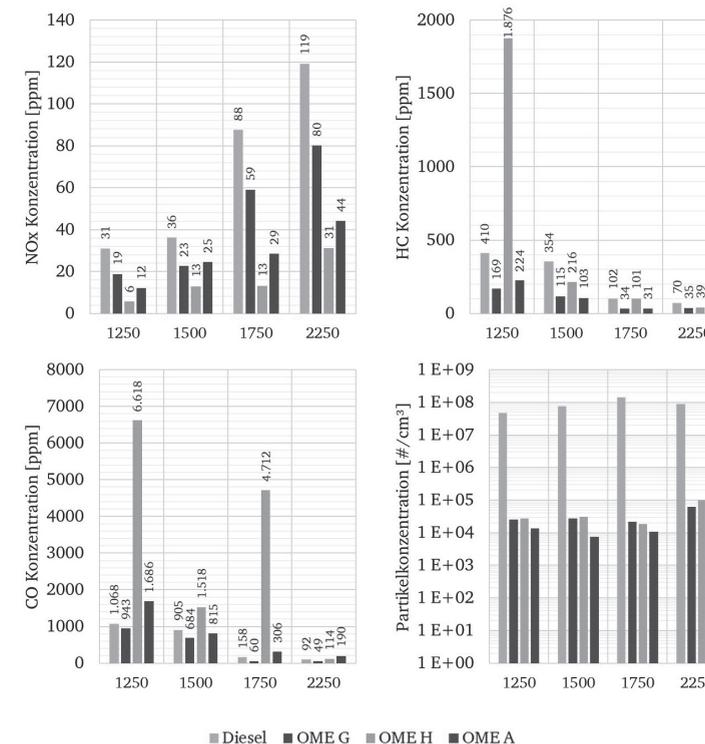


Abbildung 4: Gemessene Konzentrationen gesetzlich limitierter Abgasbestandteile am Motorausgang für verschiedene Applikationen.

Mittels der OME H Applikation (graue Balken) gelingt eine weitere Reduktion der NO_x -Emissionen zwischen 43 % und 78 % je Betriebspunkt. Bezogen auf die Diesel-Referenzmessung beträgt die durchschnittliche Reduktion nun 76 %. Im Hinblick auf die anderen Abgasspezies werden teilweise sehr starke Überhöhungen deutlich. Dies gilt auch für weitere, hier nicht dargestellte Spezies wie Methan (CH_4), Formaldehyd (CH_2O), OME 1/DMM und Ameisensäure (CH_2O_2). Die genannten Spezies weisen dabei eine umgekehrte Proportionalität zur anliegenden Motorlast auf, das heißt ihre Überhöhung ist rückläufig bei höherer Motorleistung. Eine gesteigerte Emission von Isocyanäure (HCNO) oder Lachgas (N_2O) wurde nicht festgestellt.

Das Ergebnis der angesprochenen Optimierung für einen Kompromiss minimaler Schadstoffe über alle Spezies (reguliert und nicht reguliert) ist die Applikation OME A (rote Balken). Bei dieser gelingt, bis auf CO, in allen Betriebspunkten ein Unterschreiten der Dieselemissionen. Alle gasförmigen Abgasbestandteile bewegen sich dabei in einer Größenordnung, welche sich mittels moderner Abgasnachbehandlungssysteme in den Bereich niedrigster, gesetzeskonformer Werte reduzieren lassen. Die durchschnittliche Reduktion der Stickoxidemissionen beläuft sich nunmehr auf 56% und nutzt damit teilweise die Potenziale erhöhter AGR-Raten, im Gegensatz zur reinen OME Applikation (OME G), aus. In Bezug auf die Partikelemission gelingt eine Reduktion unter das Niveau von OME G und H in allen Betriebspunkten.

Aus Gründen der Übersichtlichkeit wird für den Vergleich der Emissionen am Auspuff (Tailpipe, TP) nachfolgend ausschließlich der Vergleich zwischen Diesel und den Ergebnissen auf Basis der Applikation OME A (im Folgenden OME) diskutiert. Dabei wurde in den Betriebspunkten 1 und 2 mit dem integrierten Heizkatalysator zugeheizt und die Einspritzung von Harnstoff war aktiviert.

Insgesamt können in allen Betriebspunkten gasförmige Emissionen im einstelligen ppm-Bereich erzielt werden, siehe [Abbildung 5](#). Dies gilt sowohl für Diesel als auch OME, obgleich beim Einsatz von OME eine weitere, charakteristische Reduktion zu verzeichnen ist. Die Konvertierungseffizienz liegt dabei im Bereich von 94...99% für NO_x und HC. Für CO fällt diese mit 89...93% tendenziell niedriger aus. Mit steigender Motorlast im Betriebspunkt ergibt sich eine proportional verknüpfte Steigerung der NO_x - und CO-Emissionen sowie ein umgekehrt proportionaler Zusammenhang zu den HC-Emissionen.

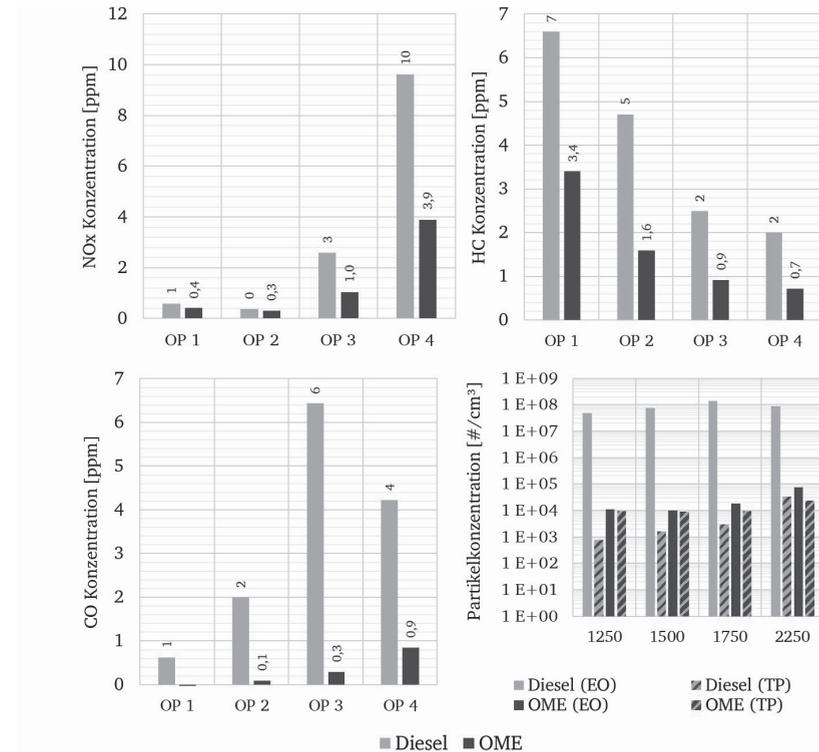


Abbildung 5 Gemessene Konzentrationen gesetzlich limitierter Abgasbestandteile nach Abgasnachbehandlung im Vergleich von Diesel und OME.

Der ebenfalls in [Abbildung 5](#) dargestellte Vergleich der Partikelanzahl zwischen Motorauslass (EO) und Abgasrohr (TP) verdeutlicht, dass sich mit OME motorseitig Partikelkonzentrationen erzielen lassen, welche sich quantitativ im Bereich der Dieselemissionen nach Partikelfilter bewegen. Die bei OME erzielbaren Zugewinne durch den Partikelfilter sind, insbesondere im Vergleich zu Diesel, als gering einzustufen. Dieser Befund wird verstärkt durch den Effekt der Oxidation von volatilen Partikeln am Katalysator. Die beobachteten Veränderungen der Partikelgrößenverteilung je Betriebspunkt zeigen, dass bei OME am Motorausgang maßgeblich Partikel geringer Größe vorliegen. Diese können an den oxidierenden Komponenten des Abgasnachbehandlungssystem teilweise verbrannt werden, womit die anteilige Reduktion über die nachfolgende, filternde Komponente noch geringer ausfällt. Die wesentlich größeren Partikel des Diesellabgases werden hingegen primär durch den Filter aus dem Abgas entfernt.

Einordnung

Neben den erzielten Emissionsergebnissen ist für eine Auswirkungsbewertung die daraus resultierende Immission von Interesse. Zur Abschätzung derselben bedarf es zunächst der Umrechnung auf streckenspezifische Emissionen, wobei sich die Ergebnisse, je nach betrachtetem Fahrzeugkonzept, unterscheiden. Wie in ⁽¹³⁾ dargelegt wird, lassen sich die NO_x-Emissionen für innerstädtische Fahrzenarien im Hybridbetrieb auf Basis der gezeigten Messdaten zu 2,3 mg/km abschätzen. Durch ein am VKM entwickeltes Immissionsmodell für den verkehrsnahen Bereich lässt sich auf Basis dieses Emissionsfaktors die Auswirkung auf die Immissionsmesswerte unter unveränderten Randbedingungen (Verkehrsdichte, -zusammensetzung, Umwelteinflüsse) abschätzen. Die Stickoxidkonzentration bewegt sich dabei auf einem Niveau, welches im Messzenario sogar die städtische Hintergrundkonzentration unterschreitet und deshalb als SubZero bezeichnet wird. **Abbildung 6** illustriert das erhebliche Reduktionspotenzial. Langfristig wird die vollständige Flottendurchdringung mit dem aktuellsten Emissionsstandard EURO 6 respektive EURO VI zu einer Minderung der Zusatzbelastung durch den Verkehr in einer Größenordnung von 90 % führen.

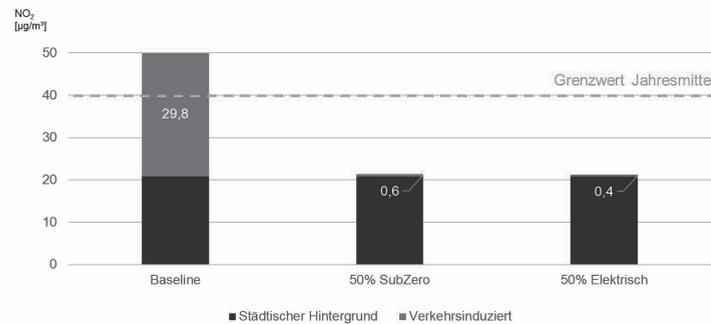


Abbildung 6: Immissionseinfluss auf Basis der dargestellten Emissionsergebnisse an der Messstation Darmstadt Hugelstrae für das Referenzjahr 2018

Würde dann ein Anteil von 50% der Pkw durch Antriebe des Typs SubZero ersetzt werden, so beliefe sich die Reduktion der verkehrsbedingten Immission in einer Größenordnung von 98% gegenüber dem Jahresmittelwert. Der Effekt dieser Maßnahme liegt damit in einer Größenordnung, wie er auch durch einen gleichen Anteil an Elektrofahrzeugen unter der Pkw Flotte erreicht werden würde. Der gesetzliche Grenzwert von 40 µg/m³ im Jahresmittel wure mit einer Gesamtbelastung von 20,5 µg/m³ um 19,5 µg/m³ unterschritten. Somit kann ein erheblicher Beitrag zu schadstoffarmer Luft geleistet werden. Eine Verbesserung anderer Emittenten im Verkehrssektor bleibt dabei unberücksichtigt.

Zusammenfassung

Im vorliegenden Beitrag wird eindrucksvoll das große Potential von OME in Kombination mit aktueller Serientechnologie aufgezeigt. Der Betrieb eines Serienaggregates mit Reinkraftstoff ist im gezeigten Anwendungsfall ohne Probleme und spezielle Anpassungen möglich. Dabei ergeben sich kraftstoffinharente Verbesserungen im Emissionsverhalten bei allen gesetzlich limitierten Abgasbestandteilen. Weitere Potenziale lassen sich über applikative Anpassungen der Motorsteuerung, wie eine gesteigerte Abgasruckfuhrtrate und günstigere Einspritzparameter, realisieren. In Bezug auf den effektiven Wirkungsgrad sind infolge von nicht kontrollierten Eingriffen des auf herkömmlichen Dieselmotor ausgelegten Datenstandes im Motorsteuergerät leichte Reduktionen festzuhalten. Die grundlegenden Tendenzen, physikalischen Effekte und andere Untersuchungen legen den Schluss nahe, dass sich dieser Effekt mit einem dezidierten Datenstand für OME umgehen ließe. Die Kombination des Motors mit heute verfügbarer Serientechnik für Abgasnachbehandlungskomponenten ergibt niedrigste Abgasemissionen, sowohl bei den reglementierten als auch den nicht reglementierten Spezies.

In Summe leisten die positiven Verbrennungseigenschaften von OME sowie die hochwirksame Abgasnachbehandlung einen maßgeblichen Beitrag zur Emissionsreduktion. Dieser kann ein elementarer Baustein für die Luftreinhaltung in Ballungsgebieten sein. Weiterhin können synthetische Kraftstoffe, wie beispielsweise OME, die mittels atmosphärischem CO₂ und regenerativer Energie hergestellt werden, bilanziell CO₂-Emissionen reduzieren. Damit ergibt sich ein nachhaltigeres Antriebssystem für die Fahrzeuge der Zukunft.

Danksagung

Die in der vorliegenden Arbeit vorgestellten Ergebnisse basieren auf einem gemeinsamen Forschungsprojekt mit den Partnern AVL List GmbH, Federal Mogul Burscheid GmbH, Schaeffler Technologies AG & Co. KG, Vitesco Technologies Emitec GmbH und Volvo Car Company. Die für das Immissionsmodell verwendeten Daten wurden von der HLNUG zur Verfügung gestellt. Im Namen des Instituts für Verbrennungskraftmaschinen und Fahrzeugantriebe sowie der Technischen Universität Darmstadt danken die Autoren für die Unterstützung und die gute Zusammenarbeit!

Literaturverzeichnis

- [1] UNITED NATIONS. Adoption of the Paris Agreement, 12. Dez. 2015.
- [2] LATVIAN PRESIDENCY OF THE COUNCIL OF THE EUROPEAN UNION. Submission by Latvia and the European Commission on behalf of the European Union and its member states. Riga, 6. Mrz. 2015 [Zugriff am: 27. August 2020]. Verfügbar unter: <https://www4.unfccc.int/sites/ndcstaging/PublishedDocuments/European%20Union%20First/LV-03-06-EU%20INDC.pdf>
- [3] EUROPEAN UNION. EU transport in figures. Statistical pocketbook 2019. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2019. EU transport in figures. 2019. ISBN 978-92-76-03843-6.
- [4] 35. Internationales Wiener Motorensymposium. Fortschritt-Berichte VDI. Düsseldorf: VDI Verlag, 2014. 12.
- [5] MAUS, W., E. JACOB, M. HÄRTL, P. SEIDENSPINNER und G. WACHTMEISTER. Synthetic Fuels – OME1: A Potentially Sustainable Diesel Fuel. In: 35. Internationales Wiener Motorensymposium. Fortschritt-Berichte VDI. Düsseldorf: VDI Verlag, 2014, S. 325-347.
- [6] DOĞAN ÖZTÜRK, E., A. LÜKEWILLE, A. GONZÁLEZ ORTIZ, M. VIANA, A. BARTONOVA, C. GUERREIRO und F.d. LEEUW. Europe's urban air quality. Reassessing implementation challenges in cities. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2019. EEA report. No 24/2018. ISBN 978-92-9480-059-6.
- [7] Amtsblatt der Europäischen Union.
- [8] VERORDNUNG (EG) 715/2007. In: Amtsblatt der Europäischen Union, 20. Jul. 2007.
- [9] Amtsblatt der Europäischen Union.
- [10] VERORDNUNG (EU) 2018/1832. In: Amtsblatt der Europäischen Union, 27. Nov. 2018.
- [11] Amtsblatt der Europäischen Union.
- [12] Richtlinie (EG) 2008/50/EG. In: Amtsblatt der Europäischen Union, 11. Jun. 2008.
- [13] SAE Technical Paper Series. Warrendale: SAE International, 2012. SAE Technical Paper Series.
- [14] PELLEGRINI, L., M. MARCHIONNA, R. PATRINI, C. BEATRICE, N. DEL GIACOMO und C. GUIDO. Combustion Behaviour and Emission Performance of Neat and Blended Polyoxymethylene Dimethyl Ethers in a Light-Duty Diesel Engine. In: SAE Technical Paper Series. Warrendale: SAE International, 2012.
- [15] LUMPP, B., D. ROTHE, C. PASTÖTTER, R. LÄMMERMANN und E. JACOB. Oxymethylenether als Dieselmotorkraftstoff der Zukunft [online]. MTZ - Motortechnische Zeitschrift, 2011, 72(3), 198-203. MTZ - Motortechnische Zeitschrift. DOI: 10.1365/s35146-011-0049-8
- [16] HÄRTL, M., P. SEIDENSPINNER, E. JACOB und G. WACHTMEISTER. Oxygenate screening on a heavyduty diesel engine and emission characteristics of highly oxygenated oxymethylene ether fuel OME1 [online]. Fuel, 2015, 153, 328-335. ISSN 0016-2361. DOI: 10.1016/j.fuel.2015.03.012
- [17] AVL LIST GMBH, Hg. 11th international exhaust gas and particulate emissions forum. Ludwigsburg, 2020.
- [18] STEINHAUS, T., A. MOKROS, M. THIEM, M. MÜNZ und C. BEIDL. Ultra-low emissions with OME at the CI engine – Implementation and potential for reduction of the immission level. In: AVL LIST GMBH, Hg. 11th international exhaust gas and particulate emissions forum. Ludwigsburg, 2020.

