

Anwendung von nachhaltigen Dieselalternativen im On- und Offroad Bereich - OME/Ethanol und ED95



Institut für Fahrzeugantriebe
& Automobiltechnik

Prof. Dr. Bernhard Geringer – Dr. DI Josef Graf

21. 10. 2021, Web-Meeting

- **Einleitung – Ziel: regenerative Kraftstoffe für Dieselmotoren**
- Dieselmotorische Nutzung von OME
- Dieselmotorische Nutzung von Ethanol
- Zusammenfassung und Ausblick

Alternative Kraftstoffe für Dieselmotoren

- **Oxymethylenether OME's** bieten Eigenschaften, die für den Einsatz in Dieselmotoren vorteilhaft sind:
 - Zündwillig (Cetanzahl ähnlich), direkt mit Diesel mischbar und Einbringung mittels Direkteinspritzung.
- **Ethanol EtOH** ist ein sehr klopfester Ottokraftstoff und findet derzeit kaum Anwendung in Dieselmotoren:
 - Zündunwillig, nur bedingt mit Diesel mischbar, Einsatz in Dieselmotoren mit technischem Aufwand möglich.

	CEC Diesel	OME1a (a...additiv)	OMEmix (OME₂₋₆)	20% OME1	20% OMEmix	EtOH
Cetanzahl	54	48	53	50	52	8
Dichte (15°C) [kg/m³]	834	880	1046	843	876	790
Heizwert Hu [MJ/kg]	42,7	23,2	19,4	38,6	37,4	26,8
O-Gehalt %M	-	40	48	8	12	35
H/C-Verhältnis (atomic)	1,9	2,7	2,4	2	2	3

Gliederung

- Einleitung – Ziel: regenerative Kraftstoffe für Dieselmotoren
- Dieselmotorische Nutzung von OME**
- Dieselmotorische Nutzung von Ethanol
- Zusammenfassung und Ausblick

Dieselmotorischen Nutzung von OME

Versuchsträger und Versuchsdurchführung

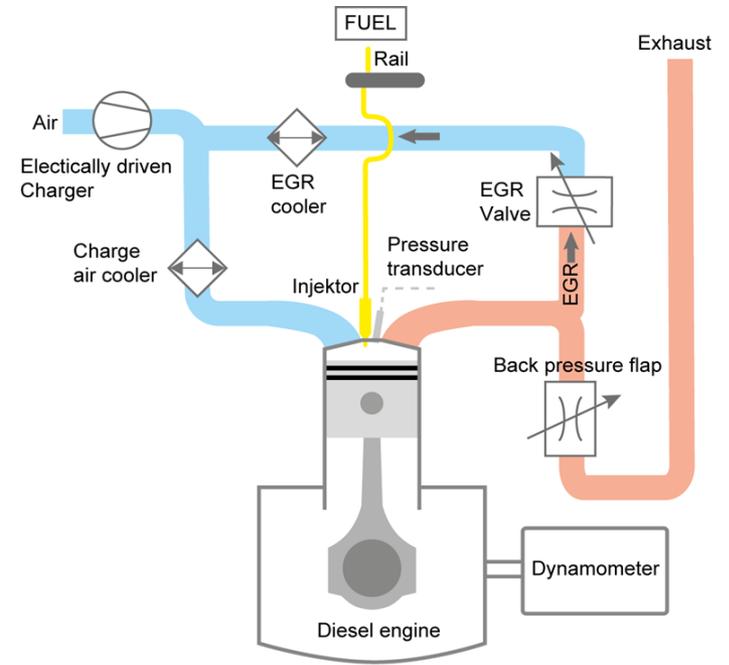
Versuchsträger wurde auf 1-Zylinder-Betrieb umgebaut.

Kraftstoffuntersuchung in zwei Lastpunkten:

- 1500 rpm; 5 bar IMEP
- 1500 rpm; 15 bar IMEP

Untersuchte Kraftstoffe:

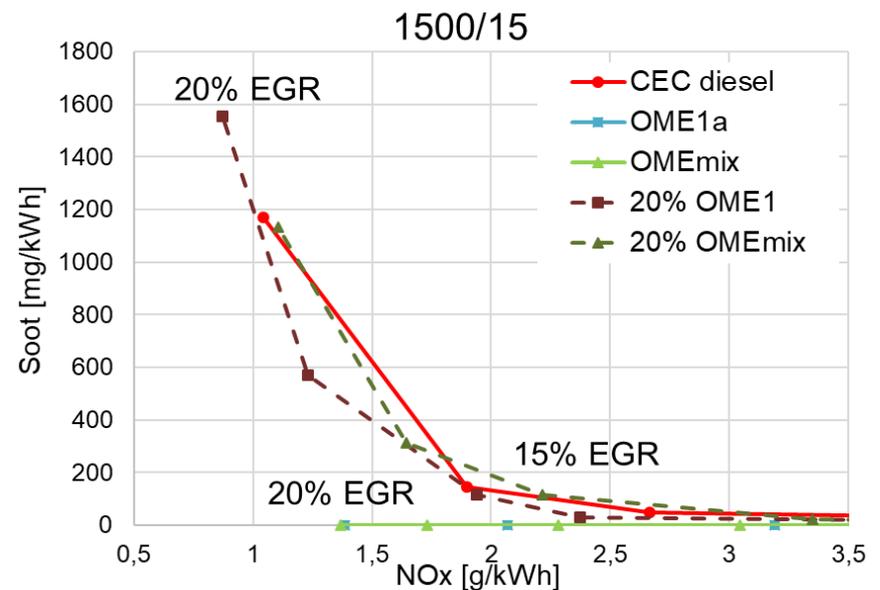
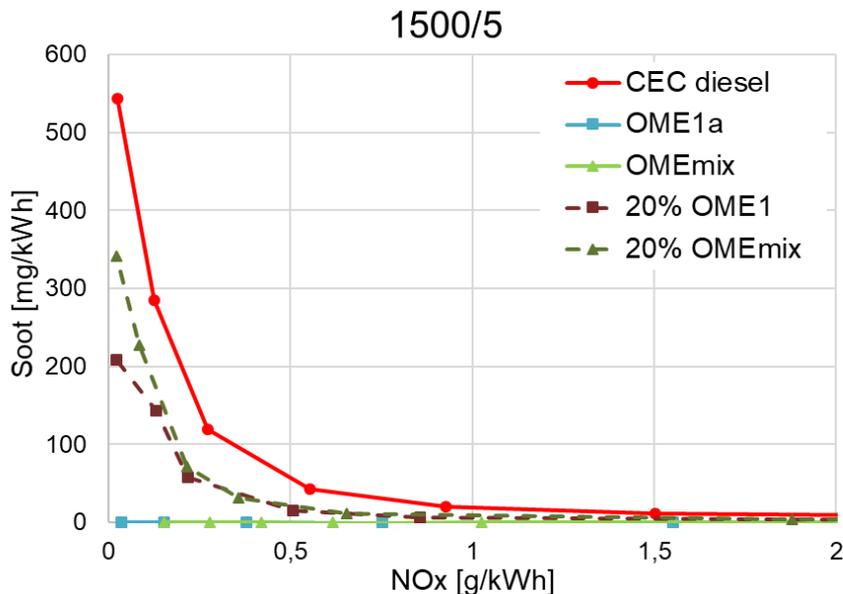
- CEC-Diesel als Basis
- OME1a und OMEmix in Reinform
- Diesel-OME Blends mit 20 vol% OME



Motorbezeichnung	Mercedes-Benz OM 646 Evo
Hubraum	2149 cm ³
Zylinderzahl	4 Zylinder, 4 Ventile pro Zylinder
Bohrung x Hub	88 x 88,34 mm
Verdichtungsverhältnis	17,5
Einspritzsystem	DELPHI Hochdruckdirekteinspritzung bis 1800 bar; Magnetinjektoren mit Siebenloch-Düse
Abgasrückführung	Externe, gekühlte Hochdruck-AGR

Dieselmotorischen Nutzung von OME

Ergebnisse der Untersuchung: Soot-NOx trade-off



- Deutliche Reduzierung der Rußmasse mit 20 vol.% OME-Blend im niedrigen Lastpunkt
- Kein Ruß-NOx-Trade-offs mit reinem OME (sowohl OME1a als auch OMEmix)

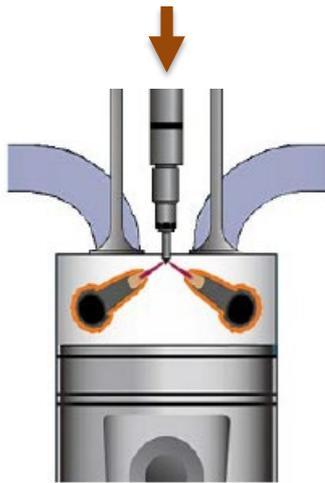
Gliederung

- Einleitung – Ziel: regenerative Kraftstoffe für Dieselmotoren
- Dieselmotorische Nutzung von OME
- Dieselmotorische Nutzung von Ethanol**
- Zusammenfassung und Ausblick

Möglichkeiten des Ethanoleinsatzes bei Dieselmotoren

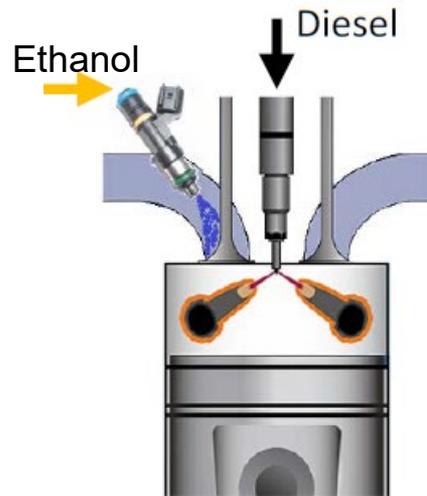
Überblick

Diesel-Ethanol Blends



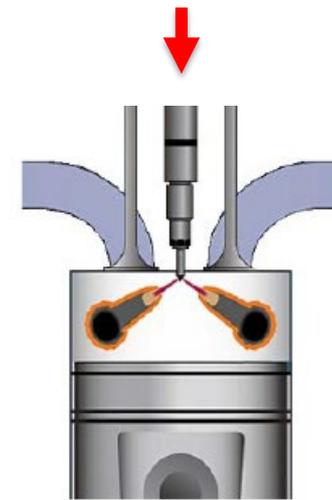
Ethanolanteil
bis 20%

Diesel-Ethanol- Dual-Fuel-Betrieb



Ethanolanteil
50-70%

Additiviertes Ethanol



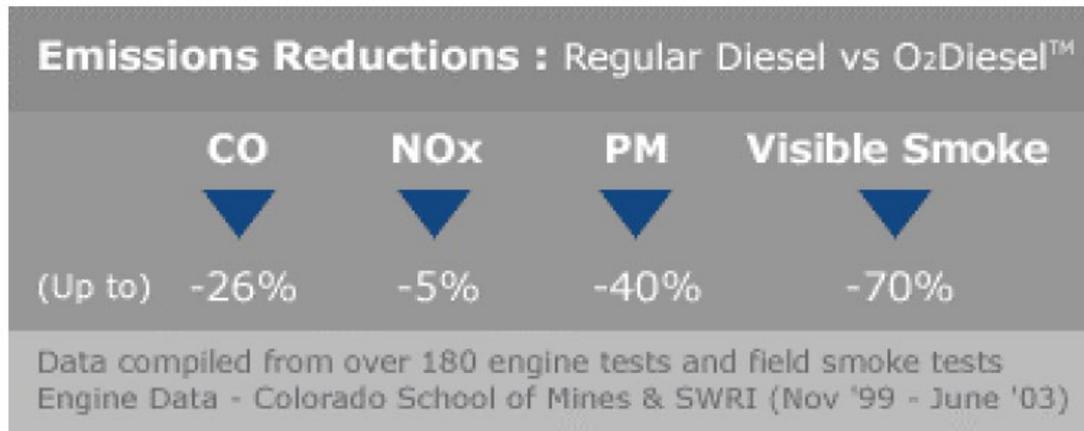
Ethanolanteil
ca. 95%

CO₂-Vorteil steigt, technischer Aufwand steigt

Diesel-Ethanol Blends

Weltweiter Überblick

- In **Australien** wird ein **Gemisch aus Bioethanol (max. 15%v) und Dieselkraftstoff** als „**Diesohol**“ bezeichnet.
- In den **USA** ist für ein **Blend mit wasserfreiem Ethanol** die Bezeichnung „**E-Diesel**“ üblich.
- In **Europa** wird die aus der Literatur bekannte Verwendung des **Diesel-Ethanol-Gemischs** als „**O₂Diesel**“ bezeichnet.
- **O₂Diesel** besteht zu 91,6 % aus Dieselkraftstoff. **Bioethanol** wird mit einem **Anteil von 7,7%** beigemischt. Die restlichen Bestandteile sind ein Mix aus den Additiven (<1 %).



Ergebnisse von mehr als 180 Tests mit O₂Diesel an Dieselmotoren ohne Abgasnachbehandlung.

Quelle: Tschöke, H.: Prüfstandsuntersuchungen zu Kraftstoffmischungen aus Diesel und Bioethanol (DBE), Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, IMS, Institut für Mobile Systeme – Lehrstuhl für Kolbenmaschinen

Diesel-Ethanol Blends

Untersuchungen an der TU Wien

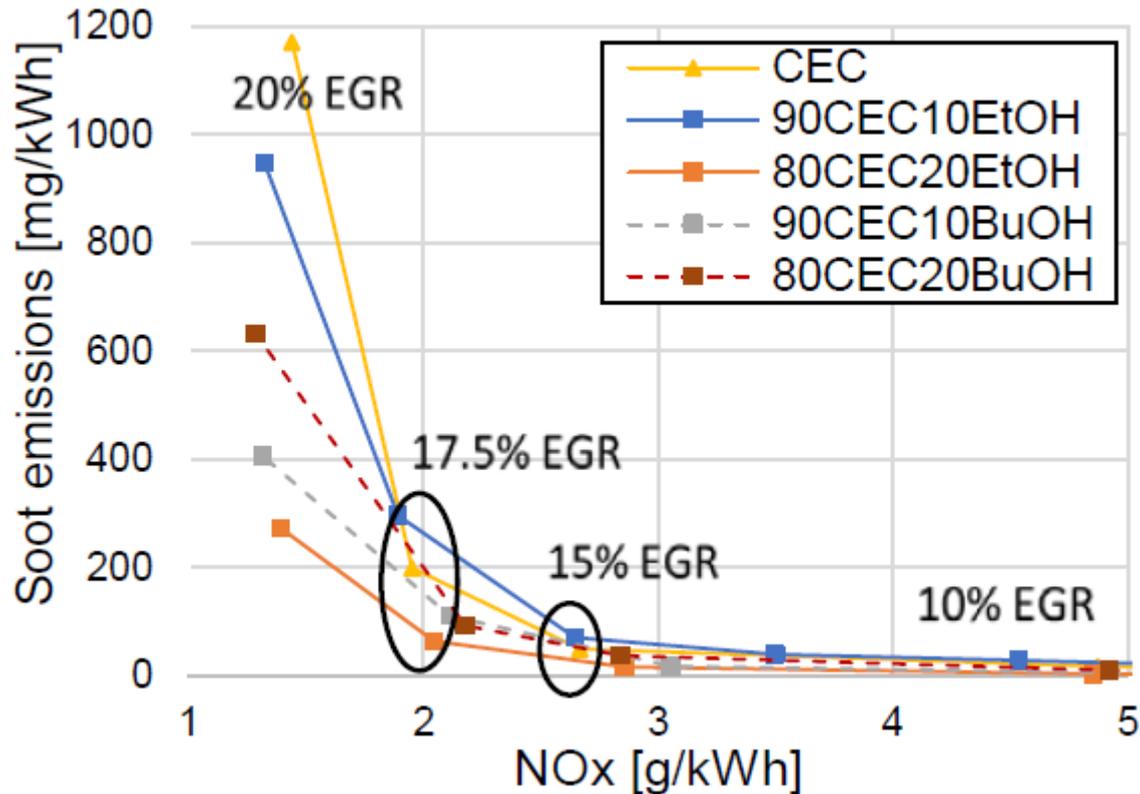
	CEC	EtOH	BuOH	90CEC 10EtOH	90CEC 10BuOH	80CEC 20EtOH	80CEC 20BuOH
Chemical formula	$C_{12}H_{23}^{1)}$	C_2H_6O	$C_4H_{10}O$				
Cetan number	54,5	8	17	49,2	50,8	42,4	43,3
RON		111	96				
Ignition temp. [°C]		420	325				
Density [kg/m³]	833,5	789	810	828,4	831	825	829
HFRR [µm]	413			417	428		
Heating value [MJ/kg]	42,676	26,677	32,94	41,25	41,78	39,323	40,673
C-Fraction %M	85,4	51,5	64,6	82,8	83,7	79,2	81,4
H-Fraction %M	14,2	13,7	13,7	14	14,10	13,6	13,8
O-Fraction %M	<0,5	34,1	20,9	3,2	2,2	6,6	4
Boiling point [°C]	173-363	78	118	64-358	115-361		
$\Delta H_{\text{vaporization}}$ [kJ/kg]	300	845	626				
Lst [kg_{air}/kg_{fuel}]	14,5	9	11,26	13,97	14,8	13,44	13,86

1) approximately

Quelle: Damyanov, A.; Hofmann, P.; Derntl, M.; Schüßler, M.; Pichler, T.; Schwaiger, N.; Siebenhofer, M.: Regenerative Oxygen-Containing Diesel Substitute Fuels as an Ecological Option for Increasing Efficiency and Minimizing Emissions; Nikolai Schubert (Hrsg.); Proceedings of the 11th International Colloquium Fuels, p. 315-331; ISBN 978-3-943563-32-0; 27-29 Juni 2017, Ostfildern, Germany

Diesel-Ethanol Blends

Entschärfung des Soot-NOx-trade-off durch Diesel-Ethanol Blends



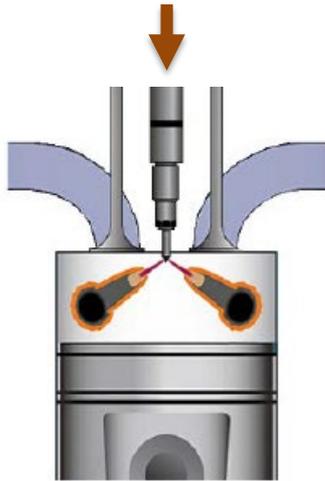
Soot-NOx-trade-off with different blends in OP-1500/15; MFB50 = 7.5 °CAaTDC

Quelle: Damyanov, A.; Hofmann, P.; Derntl, M.; Schüßler, M.; Pichler, T.; Schwaiger, N.; Siebenhofer, M.: Regenerative Oxygen-Containing Diesel Substitute Fuels as an Ecological Option for Increasing Efficiency and Minimizing Emissions; Nikolai Schubert (Hrsg.); Proceedings of the 11th International Colloquium Fuels, p. 315-331; ISBN 978-3-943563-32-0; 27-29 Juni 2017, Ostfildern, Germany

Möglichkeiten des Ethanoleinsatzes bei Dieselmotoren

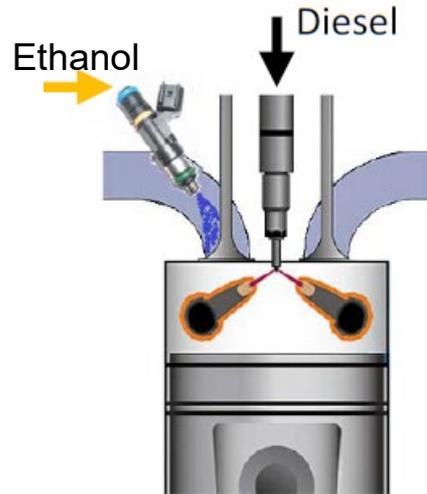
Überblick

Diesel-Ethanol Blends



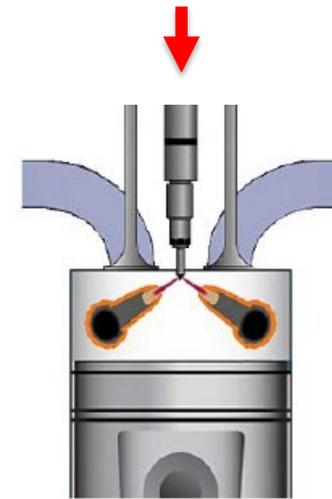
Ethanolanteil
bis 20%

Diesel-Ethanol-
Dual-Fuel-Betrieb



Ethanolanteil
50-70%

Additiviertes Ethanol

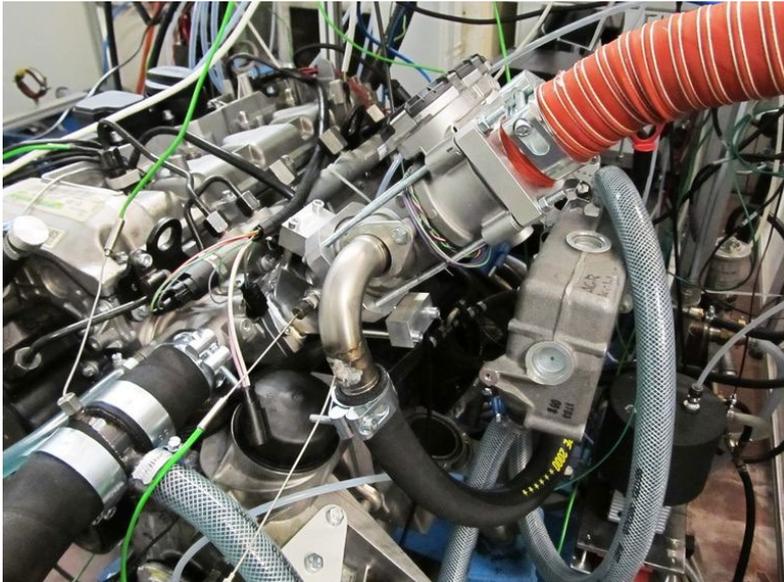


Ethanolanteil
ca. 95%

Diesel-Ethanol-Dual-Fuel-Betrieb

Untersuchung an der TU Wien

- alkoholischer Kraftstoff wird durch Saugrohreinspritzung der Ansaugluft beigemischt
- Zündung des Gemisches erfolgt durch einen direkt eingespritzten Dieselstrahl
- Serienmotor wurde auf 1-Zylinderbetrieb umgebaut

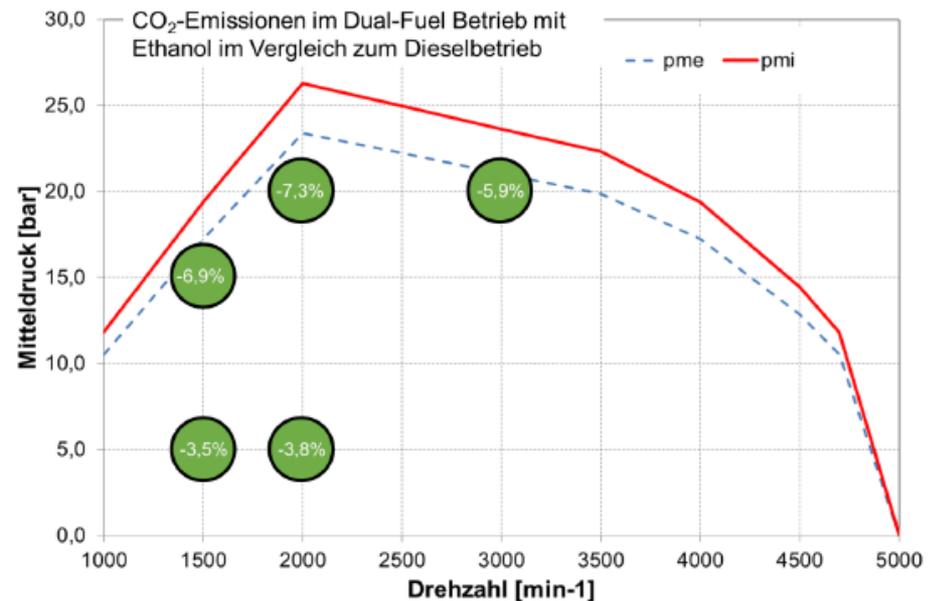
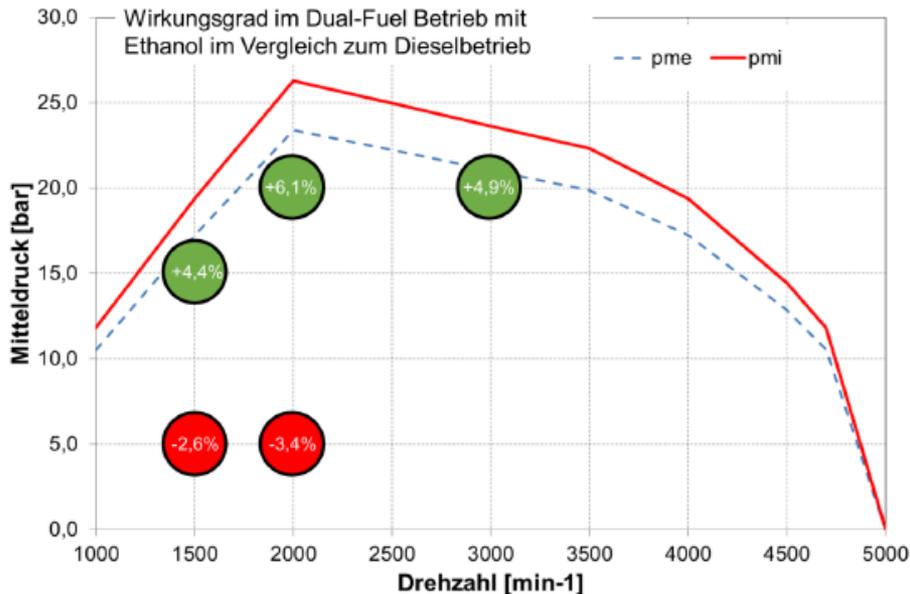


Motorbezeichnung	Mercedes-Benz OM 646 Evo
Hubraum	2149 cm ³
Zylinderzahl	4 Zylinder, 4 Ventile pro Zylinder
Bohrung x Hub	88 x 88,34 mm
Verdichtungsverhältnis	17,5
Einspritzsystem	DELPHI Hochdruckdirekteinspritzung bis 1800 bar; Magnetinjektoren mit Siebenloch-Düse
Abgasrückführung	Externe, gekühlte Hochdruck-AGR

Quelle: Bio-Ethanol im Dieselmotor: ein Beitrag zur Nachhaltigkeit; TU Wien Press Release 86/2018; 09.10.2018;
https://www.tuwien.ac.at/aktuelles/news_detail/article/126227/;

Diesel-Ethanol-Dual-Fuel-Betrieb

Wirkungsgradvergleich und CO₂-Emissionen



- Bei niedrigen Lastpunkten verschlechtert sich der Motorwirkungsgrad, wohingegen die Verbrennung bei höheren Motorlasten effektiver wird.
- Die spezifischen CO₂-Emissionen sinken durch die Erhöhung der Substitutionsrate (bis 60%) in allen Betriebspunkten, trotz unterschiedlicher Wirkungsgrade.
- Somit ist das Dual-Fuel-Brennverfahren in allen getesteten Betriebspunkten vorteilhaft.

Diesel-Ethanol-Dual-Fuel-Betrieb

Zusammenfassender Überblick

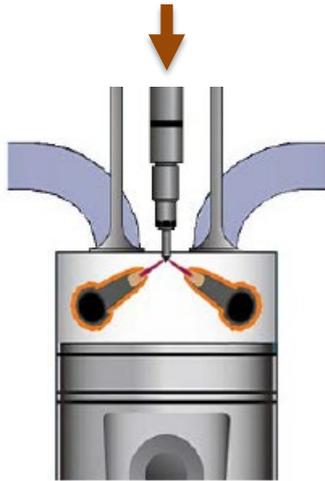
	Verbesserung im Vergleich zum fossilen Diesel	
	Im Mittel	Maximal
Wirkungsgrad <small>(motorisch)</small>	+1,9% ↑	+6,1% ↑
CO ₂ -Emissionen <small>(ohne Ethanol-Herstellung)</small>	-5,5% ↓	-7,3% ↓
CO ₂ -Emissionen <small>(mit Ethanol-Herstellung, 25,5 g CO₂-Äq./MJ)</small>	-31% ↓	-39% ↓
NO _x -Emissionen <small>(roh)</small>	-13% ↓	-36% ↓
Rußmasse <small>(roh)</small>	-91% ↓	-99% ↓
Partikelanzahl <small>(roh)</small>	-85% ↓	-99% ↓

Quelle: Bio-Ethanol im Dieselmotor: ein Beitrag zur Nachhaltigkeit; TU Wien Press Release 86/2018; 09.10.2018;
https://www.tuwien.ac.at/aktuelles/news_detail/article/126227/;

Möglichkeiten des Ethanoleinsatzes bei Dieselmotoren

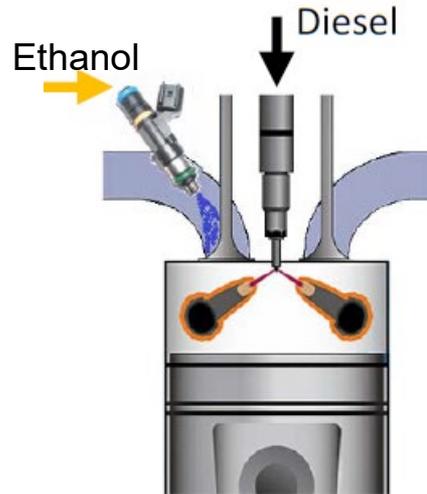
Überblick

Diesel-Ethanol Blends



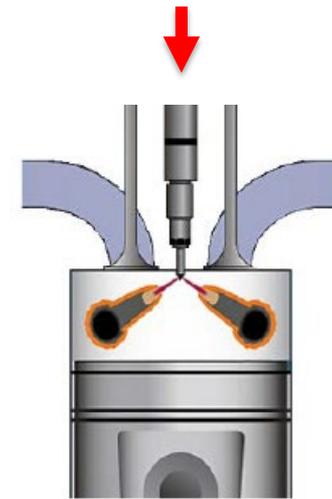
Ethanolanteil
bis 20%

Diesel-Ethanol-
Dual-Fuel-Betrieb



Ethanolanteil
50-70%

Additiviertes Ethanol



Ethanolanteil
ca. 95%

Additiviertes Ethanol

Kraftstoff ED95 – Zusammensetzung und Komponentenbeschreibung

Component	Content	Type of product	Specification	Properties
	% by weight			
Ethanol	91	Hydrous ethanol	SS155437	Fuel
Denaturants	3	MTBE Iso-butanol	National legislation	<ul style="list-style-type: none">▪ Denaturates the fuel.▪ Some energy contribution.
Ignition improver	5	Polymer. Poly ethylene derivative.	Scania Product Description	<ul style="list-style-type: none">▪ Ignites the ethanol in the compression moment.▪ Some lubricant effect in the injector and the fuel pump.
Lubricant	1	Polymer.	Scania Product Description	Lubricant and detergent component.
Corrosion inhibitor	90 ppm	Morpholine		Protect engine and fuel system from corrosion.

Quelle: Iverfeldt, E., Stalhammar, P., Sarby, H., Ihrfors, C., Westman, B.: Sustainable Transportation by Using Ethanol in Diesel Engines; Lenz (Hrsg). 36th International Vienna Motor Symposium (2015), 7–8 May 2015, Vienna (ISBN 978-3-18-378312-0)

Additiviertes Ethanol

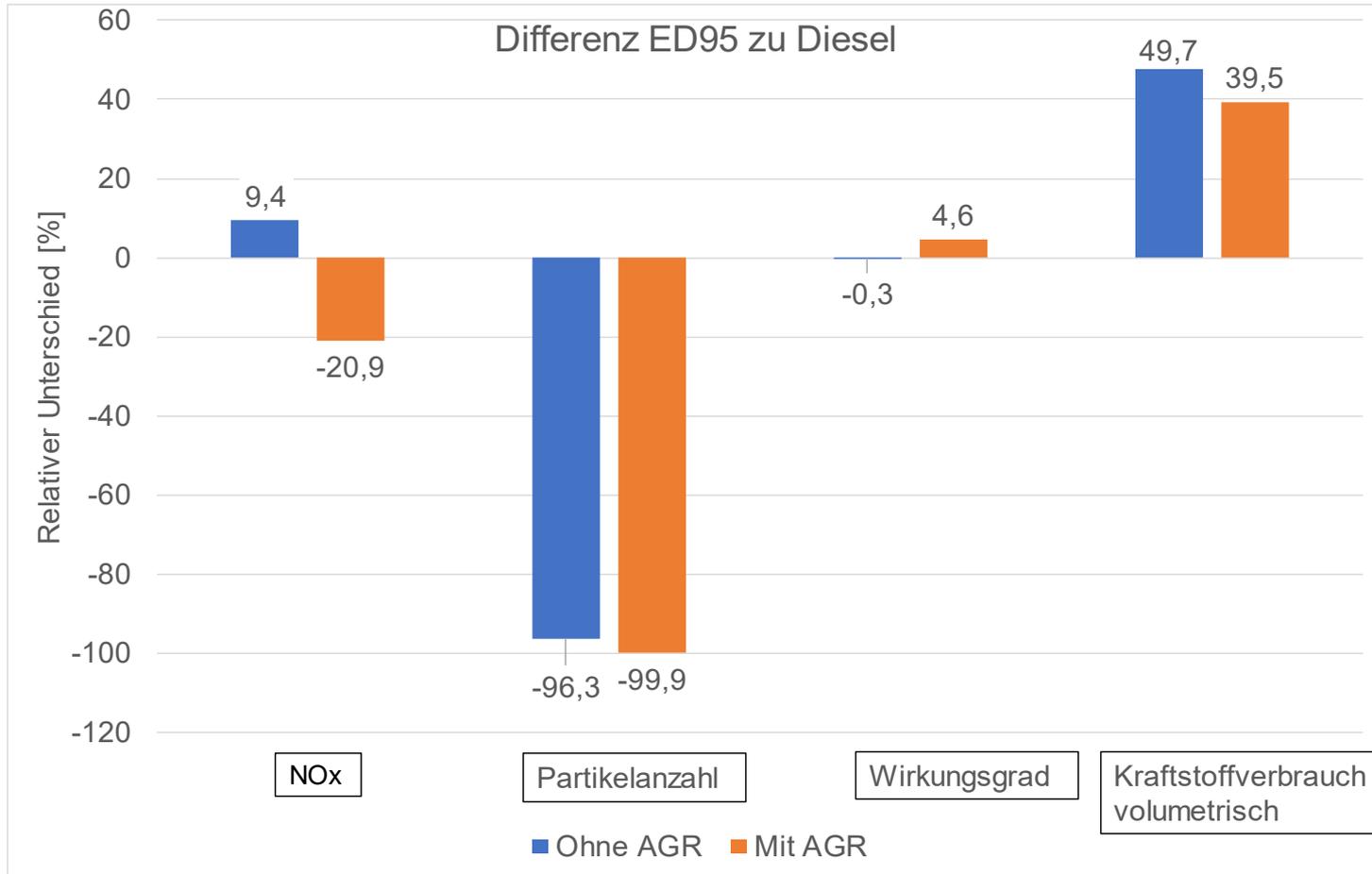
Untersuchungen an der TU Wien an einem PKW-Serienmotor

- Untersuchungen an einem Serienmotor mit Umbau auf den Einzylinderbetrieb
- Zylinderhubvolumen 550ccm, Verdichtungsverhältnis 17,5
- Aufladung durch eine externe Aufladeeinheit
- Messung aller relevanten Größen (Drücke und Temperaturen, Durchfluss...), sowie Partikelanzahl, Partikelmasse, Abgastrübung, gasförmige Komponenten
- Frei bedatbare Motorsteuerung



Additiviertes Ethanol

Untersuchungen an der TU Wien: Relative Differenz zu Diesel



Vergleich bei 2000 U/min // 15bar pmi

Gliederung

- Einleitung – Ziel: regenerative Kraftstoffe für Dieselmotoren
- Dieselmotorische Nutzung von OME
- Dieselmotorische Nutzung von Ethanol
- Zusammenfassung und Ausblick**

Zusammenfassung

OME-Einsatz bei Dieselmotoren

- Reduzierung der Well-to-Wheel-CO₂-Emissionen um bis zu 70 % mit reinem OME.
- Leichter Effizienznachteil des reinen OME-Betriebs durch nicht angepasstes Einspritzsystem.
- „Rußfreie“ Verbrennung bei reinem OME-Betrieb.

Zusammenfassung

Ethanoleinsatz bei Dieselmotoren

Diesel-Ethanol Blends

- ❑ Durch Phasentrennung (vor allem bei tiefen Temperaturen) sind nur geringe Ethanolanteile (max. 20%) möglich.
- ❑ Einhergehende Erkenntnisse einer Ruß- bzw. Partikelabsenkung durch Ethanolbeimischung.
- ❑ Neuere Untersuchungen an modernen Motoren zeigen durch Ethanolbeimischung eine höhere AGR-Verträglichkeit und somit auch ein großes Potenzial zur NOx-Reduktion.

Diesel-Ethanol-Dual-Fuel-Betrieb

- ❑ Mit steigender Alkoholmenge wird in allen Betriebspunkten eine signifikante Reduktion der Rußmasse und Partikelanzahl beobachtet, sowie in den meisten Betriebspunkten eine Verringerung der NOx-Emissionen.
- ❑ Die niedrigen Rußemissionen im Dual-Fuel-Betriebsmodus erlauben eine Erhöhung der AGR-Rate, die immer noch die effektivste innenmotorische Maßnahme zur NOx-Reduktion darstellt.
- ❑ Das Ersetzen von Diesel durch ins Saugrohr eingespritzten Alkohol bei höheren Lasten führt zu einem bemerkenswert höheren Motorwirkungsgrad als bei reinem Diesel-Betrieb.

Zusammenfassung

Ethanoleinsatz bei Dieselmotoren

Additiviertes Ethanol

- Keine Rußmasse und kaum Partikelemissionen bei ED95.
- Keine signifikanten Unterschiede bei NO_x und THC-Emissionen bei hohem Raildruck.
- Höhere Verdampfungsenthalpie von ED95 führt zu einer Absenkung der Spitzentemperatur im Brennraum.
- Längere Einspritzdauern führen zu längeren Brenndauern.
- Abhängig vom Produktionsprozess, kann ED95 den CO₂-Austoß um bis zu 90 % reduzieren, im Vergleich zu herkömmlichen Kraftstoffen.

Ausblick

Regenerative Kraftstoffe bei Dieselmotoren

OME

- Das volle Potenzial von OME kann nur ausgeschöpft werden, wenn der Kraftstoff in Reinform verwendet wird und das Einspritzsystem angepasst wurde.
- Im Vergleich zu FAME zeigte eine OME-Großproduktionssimulation hohe Investitionskosten und einen ähnlichen Prozessaufwand.
- OME zeigte ein herausragendes Treibhausgas-Einsparpotenzial von 71 % im Vergleich zu fossilem Diesel.

Additiviertes Ethanol

- Additiviertes Ethanol (ED95) bietet das größte CO₂-Einsparpotenzial.
- Eine Motoranpassung ist notwendig, bivalenter Betrieb ist nicht möglich.
- Wirkungsgrad höher als beim Betrieb im Ottomotor.
- Umsetzung im Nutzfahrzeugbereich leichter, Sonderanwendung wie serieller Hybrid ist günstig.