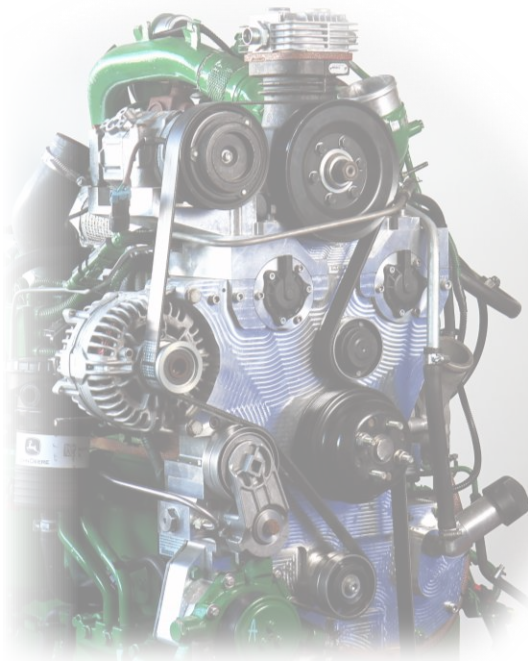


Dual Fuel-Konzepte für Nutzfahrzeugantriebe

Prof. Dr.-Ing. Michael Günthner
Lehrstuhl für Antriebe in der Fahrzeugtechnik
Technische Universität Kaiserslautern

CVC-Jahrestagung 2022
Wörth

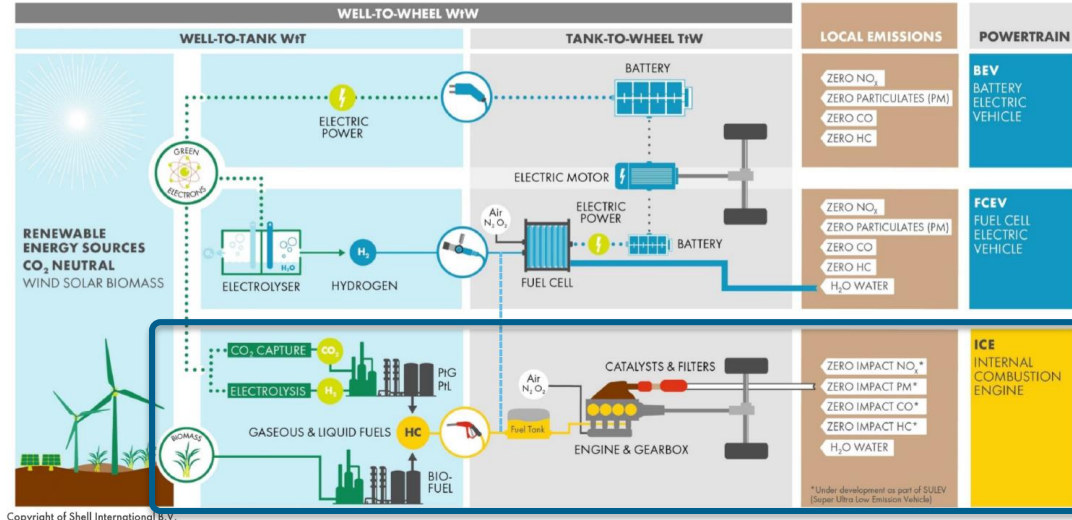
09.05.2022



Einsatzfelder und Anforderungen für Nutzfahrzeug- antriebe



Energiepfade für eine zukünftige klima- und schadstoffemissionsneutrale Mobilität



Bildquelle: Warnecke/Shell, Tagung „Nachhaltigkeit in Mobilität, Transport und Energieerzeugung“, Graz 2021

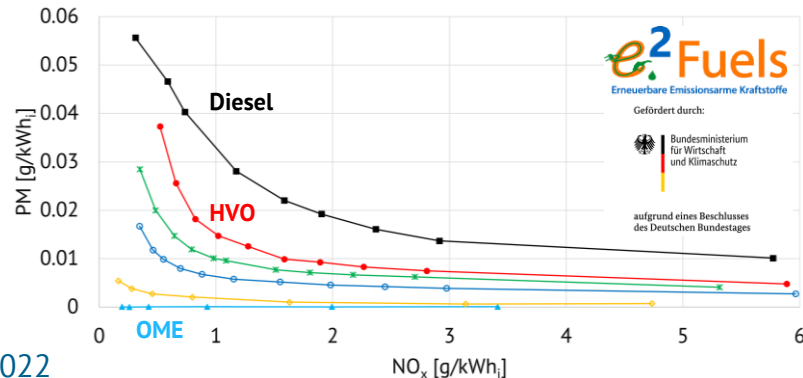
Für die notwendige Transformation hin zu einem klima- und schadstoffemissionsneutralen Energiesystem stellen diese drei Alternativen **Chancen** dar, da die Umsetzung basierend auf nur einer der Lösungen weder den Anforderungen aus sämtlichen Anwendungen gerecht werden noch realistisch innerhalb der verfügbaren Zeit einen Rollout im erforderlichen Umfang (Marktdurchdringung + Infrastrukturaufbau) erreichen kann.

3 mögliche Pfade:

- regen. Strom > Batterie > Elektromotor:
für in Deutschland gewonnene reg. Energie
optimaler Wirkungsgrad WtW, ggf. limitierend:
Energiespeicherdichte der Batterie
(Platzbedarf, Betriebsdauer/Reichweite)
⇒ nicht für alle Anwendungen geeignet
- regen. Strom > H₂ aus Elektrolyse > Brennstoffzelle/Elektromotor ODER H₂-Verbr.motor:
höhere Energiedichte der H₂-Speicherung,
erhöhte Energiewandlungsverluste, aber
größere Flexibilität hinsichtlich Transport und
Speicherung sowie Energieimport
- regen. Strom > H₂ aus Elektrolyse + CO₂ aus
Umgebung od. Abgas > Synfuel (ODER: Biofuel
aus Biomasse/Abfällen) > Verbrennungsmotor:
Kompatibilität mit Bestandsflotte möglich,
Infrastruktur vorhanden, hohe Robustheit, aber
weiter erhöhte Energiewandlungsverluste
WtW, deshalb bevorzugt dann, wenn regen.
Energie ohnehin aus bevorzugten Regionen der
Erde importiert (gespeichert/transportiert) wird

Vorteile alternativer Kraftstoffe

- (quasi) **CO₂-neutral** herstellbar (synthetisch oder biogen)
- **Nutzung verschiedenster Energiequellen** möglich – Solar-/Windenergie, Energiepflanzen, Rest- und Abfallstoffe – sowohl lokal als auch weltweit!
⇒ Stärkung der **energiewirtschaftlichen Unabhängigkeit**
- sehr gute **Speicher- und Transportfähigkeit**, einfache und schnelle **Betankung**, vorhandene **Infrastruktur**
⇒ **Energieimport und -verteilung** ähnlich wie bei fossilen Kraftstoffen
- je nach Kraftstoffspezifikation volle **Kompatibilität mit dem Fahrzeugbestand**
⇒ Beitrag der Bestandsflotte zur **CO₂-Zielerreichung** im Verkehr (– zwingend erforderlich!)
- Kraftstoff kann gezielt optimiert werden im Hinblick auf eine saubere und effiziente Verbrennung
⇒ **Minimierung** der **Schadstoffemission** (z. B. Vermeidung Partikelbildung)



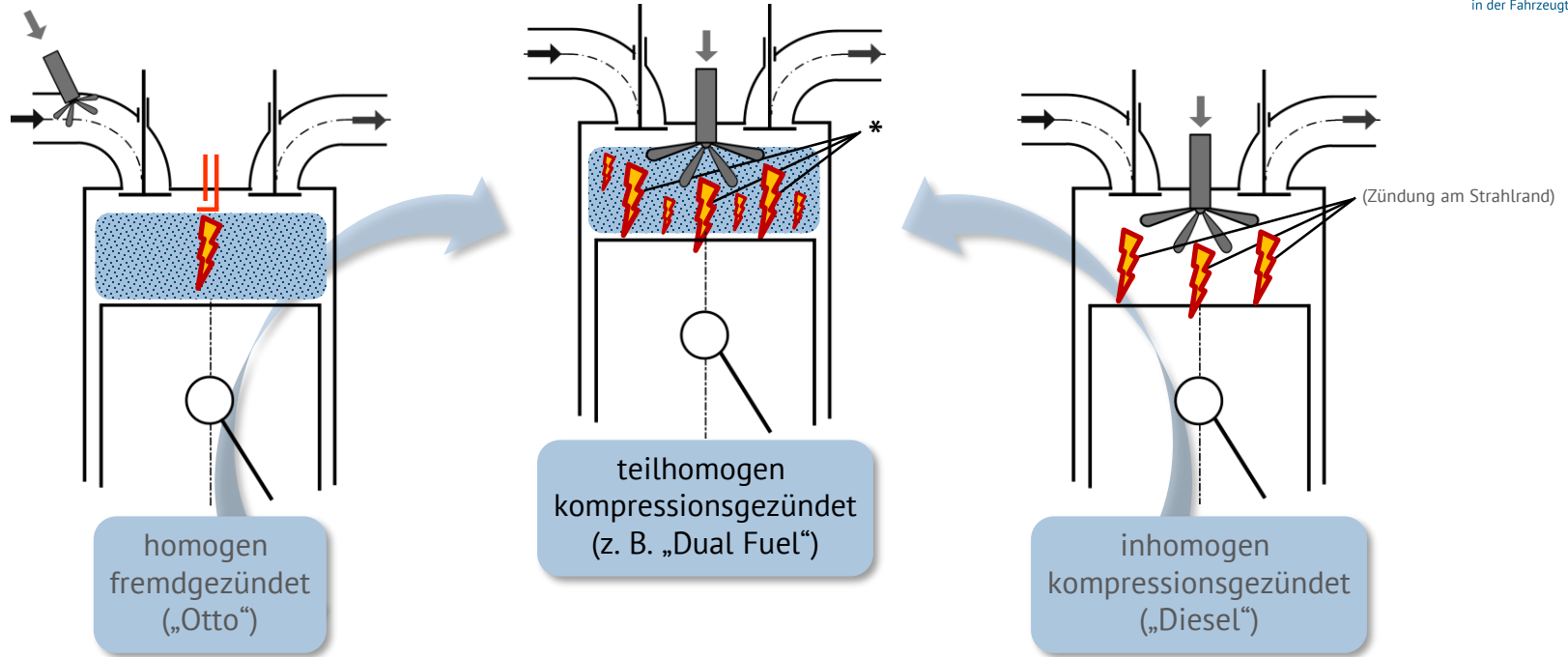
Partikel-NO_x Trade-Off (Variation AGR-Rate)

- Diesel
- HVO (Hydrogenated Vegetable Oil – rein paraffinisch)
- ▲ OME („Oxymethylenether“ – hier: OME3-5)
- ✱ Blend 90% HVO / 10% OME
- Blend 80% HVO / 15% OME / 5% 2-EH
- ◇ Blend 70% HVO / 30% OME

Einzylinder-Versuchsmotor (Pkw-Diesel),
n = 1250 min⁻¹, p_{mi} = 3,7 bar

Holzer, Alexander; Guenther, Michael (2021):
Investigation of the Emission Reduction
Potential of HVO-OME Fuel Blends in a
Single-Cylinder Diesel Engine (SAE Technical
Paper 2021-01-0556). Online verfügbar unter
doi.org/10.4271/2021-01-0556.

„Dual Fuel“-Brennverfahren

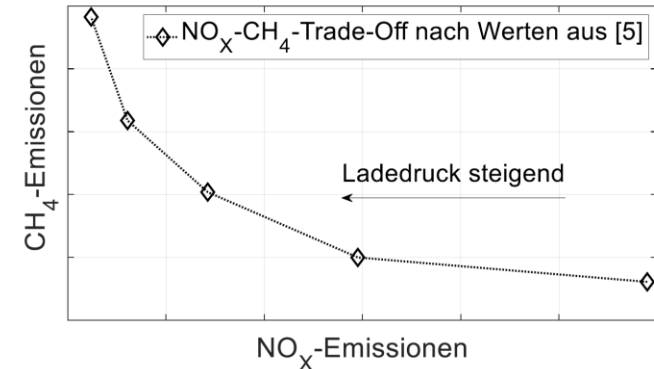


„Dual Fuel“ \Rightarrow Zündung eines homogenen (mageren) Grundgemisches durch Einspritzung eines Zündkraftstoffs
 \hookrightarrow z. B. Erdgas/Luft \hookrightarrow z. B. Diesel

Anwendung: insbesondere Großmotoren (Schiffsmotoren), bei Lkw als Nachrüstung bzw. tlw. in Serie (Volvo LNG)

Vor-/Nachteile Dual Fuel

- + starke **Abmagerung** (Wirkungsgrad \uparrow) möglich auch ohne vollständige Ladungsschichtung (= schwierig mit gasförmigem Kraftstoff!)
- + stark **verringerte Partikel-Rohemission** gegenüber Betrieb mit Dieseldieselkraftstoff
- + prinzipiell **nutzbar** mit einer **Vielzahl von Kraftstoffen**
- Mitführung von (mindestens) **zwei Betriebsmedien** im Fahrzeug (aber: ggf. Dieseldieselbetrieb als Notlauf möglich)
- bei Verwendung von Diesel als Zündkraftstoff voraussichtlich weiterhin **Partikelfilter** erforderlich
- bei Verwendung von Erdgas/Methan mit zunehmender Abmagerung steigende **CH₄-Rohemission** (Klimagas)



Bildquelle: Henke et al., Rostocker Großmotorentagung 2020
([5]: Henke et al., CIMAC Congress 2019, Vancouver/CAN)

Dual Fuel-Projekte am LAF

Projekt „Kraftstoffmischverbrennungskonzept“ (HKMVK), BMEL, 12/19–02/22

- ▶ Untersuchung **verschiedener Kraftstoff-Mischungen** – Diesel + alternativer Kraftstoff (Bio-Methan/Bio-LPG/Bio-Ethanol) – und **Kraftstoffmischkonzepte** (MPI+DI / Emulsion-DI)
- ▶ **Brennverfahrensoptimierung**, Ermittlung **betriebspunktoptimaler Kraftstoffmischungen**

Projekt „CNG-OME Dual Fuel Motorenkonzept“, CVC/EFRE, 07/20–06/22

- ▶ Verbesserung Verbrennung durch **Oxymethylenether als Zündkraftstoff**: OME \Rightarrow partikelfrei und hochreaktiv (CZ > 80 bei OME3-5)
- ▶ **Reduzierung CH₄-Emission** durch verbesserten Ausbrand \Rightarrow Ladungsaufheizung durch **interne AGR** (var. Ventiltrieb)
- ▶ Einsatz **CO₂-neutral herstellbarer Kraftstoffe**: Methan/OME
- ▶ zusätzlich: umfangreiche Untersuchungen zur **Materialverträglichkeit**

Beide Projekte: Versuchsträger mit **vollvariablem Ventiltrieb**.

gefördert durch:



Bundesministerium
für Ernährung
und Landwirtschaft



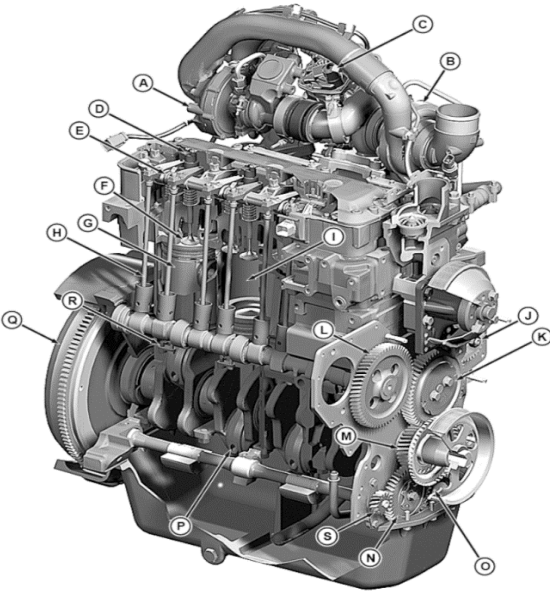
gefördert durch:



EUROPÄISCHER FONDS FÜR
REGIONALE ENTWICKLUNG
 Rheinland-Pfalz



Versuchsträger Dual Fuel



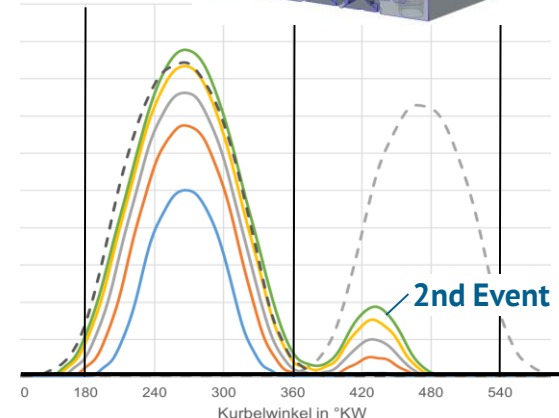
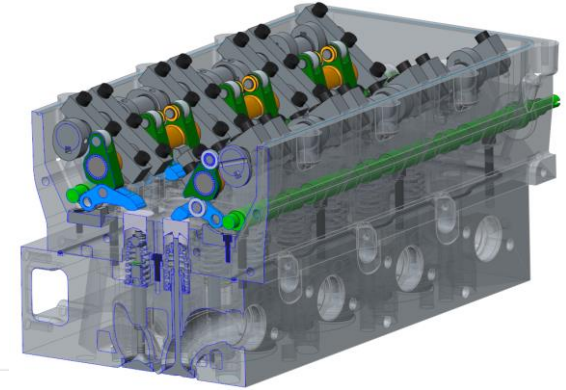
	JD 4045 (EU stage V)	Versuchsträger
Bauart	R4	
Hubraum	4,5 l	
Direkteinspritzung	Common Rail (max. 2000 bar)	
Verdichtung	17,3 : 1	
Aufladung	ATL 2-stufig	
externe AGR	Hochdruck	
P_{\max}	130 kW @ 2100 min ⁻¹	
$M_{d,\max}$	703 Nm @ 1600 min ⁻¹	
Ventiltrieb	OHV	DOHC (Ein-/Auslass voll- variabel Hub+Phase)
interne AGR	-	second event
Einbringung Zweitkraftstoff	-	MPI (bzw. Emulsion)



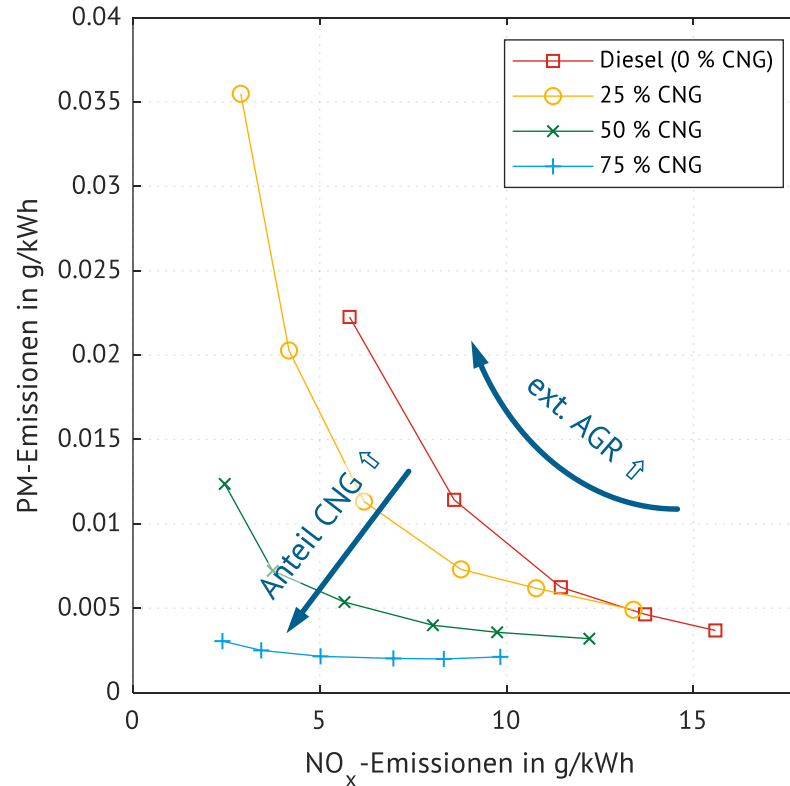
Variabler Ventiltrieb – Konzept für den Versuchsträger

Vollvariabler Ventiltrieb auf Ein- und Auslassseite mit „**second event**“ am Auslass:

- ▶ **zweiter Auslassventilhub** im Ansaugtakt (nur mit einem der beiden Auslassventile)
- ▶ Rücksaugung von heißem Abgas führt zur **Erhöhung der Ladungstemperatur** im Zylinder (im Teillastbereich)
- ▶ Ziel: **beschleunigter und vollständiger Kraftstoffumsatz** nach Einleitung der Verbrennung durch Zündstrahl aufgrund höherer Ladungstemperatur
- ▶ weiterer Effekt: **Erhöhung der Abgasrückführrate** (Kombination interne + externe AGR).



Dual Fuel CNG-Diesel: Verbesserung NO_x -PM-Trade-Off mit zunehmender Substitution Diesel durch CNG



Betriebspunkt:

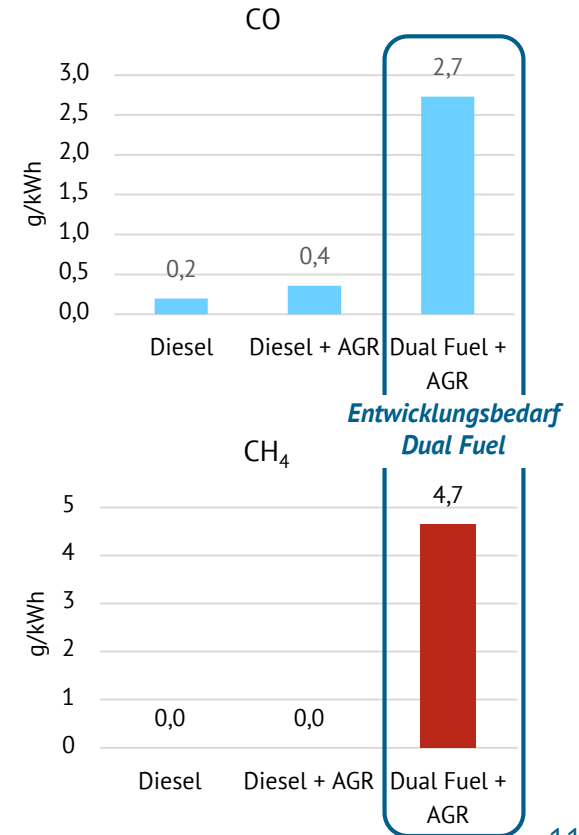
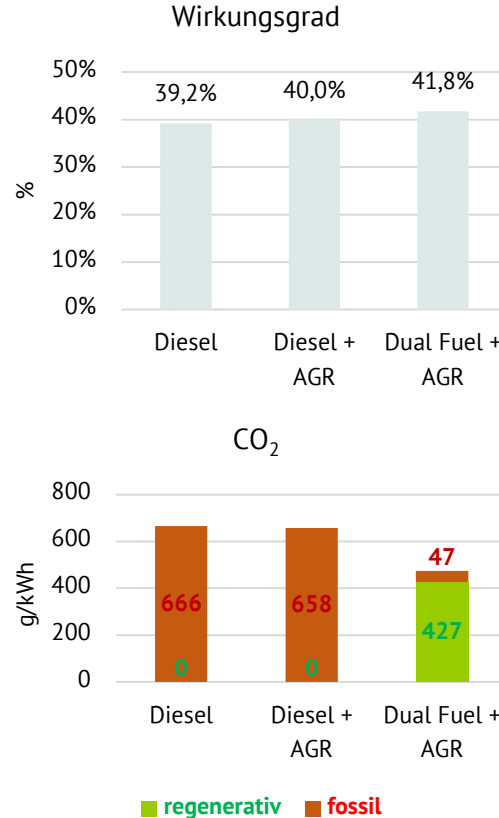
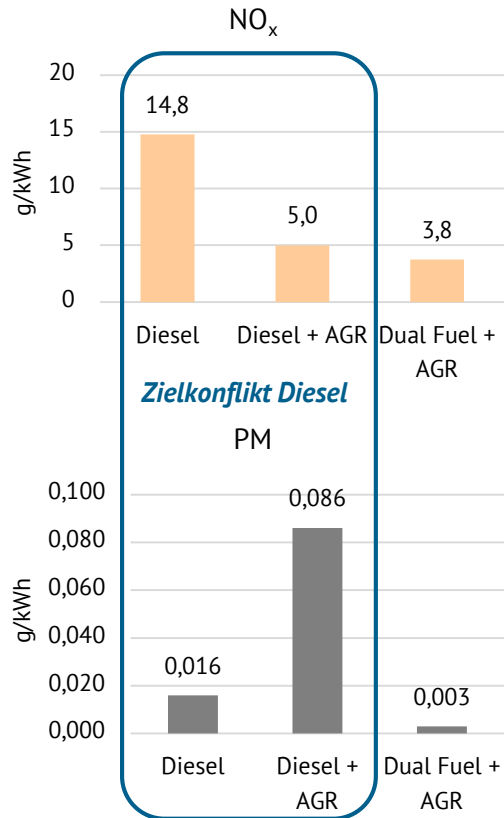
$n = 1600 \text{ min}^{-1}$

$M_d = 350 \text{ Nm}$

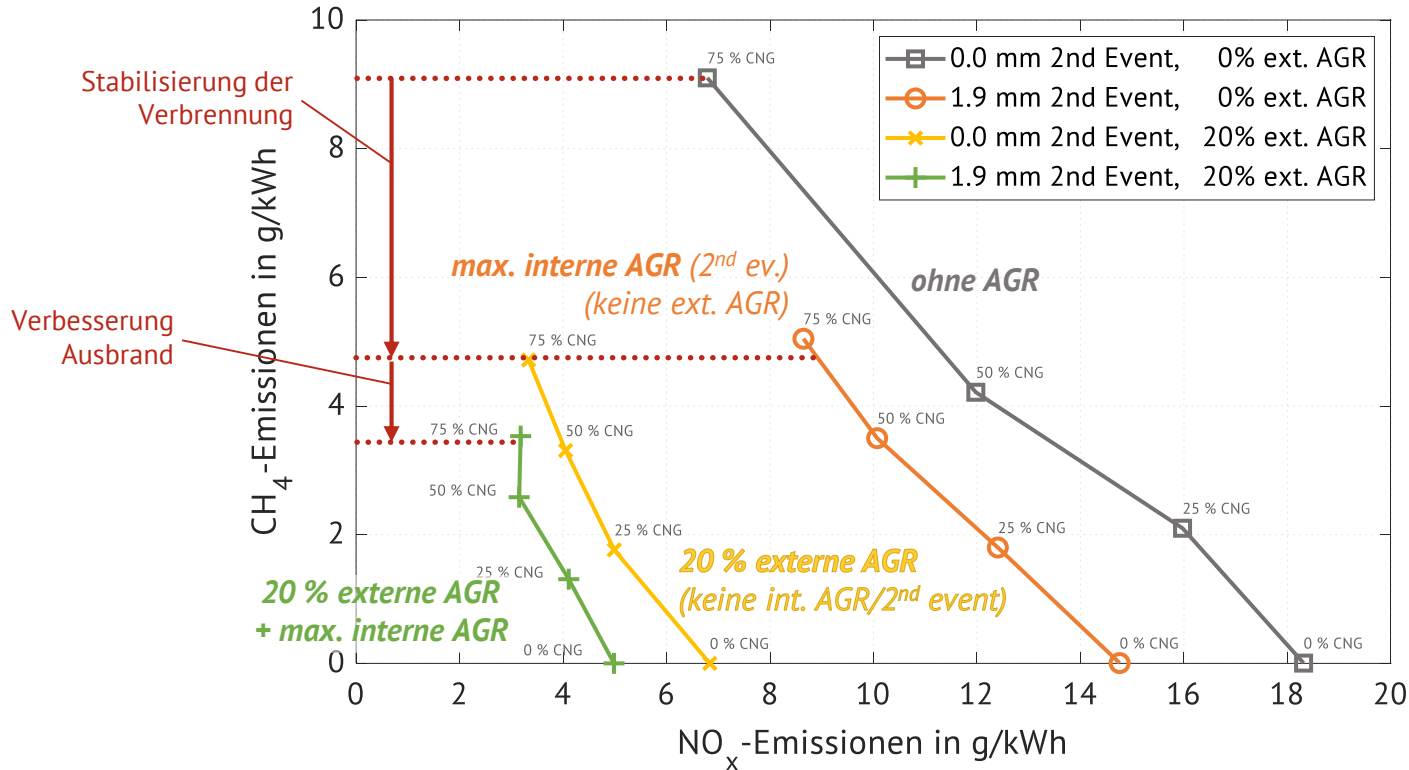
ohne interne AGR/2nd event

Mueller, F., Guenther, M., Weigel, A., Thees, M. (2022): Investigation of a Second Exhaust Valve Lift to Improve Combustion in a Methane - Diesel Dual-Fuel Engine (SAE Technical Paper 2022-01-0466). Online verfügbar unter doi.org/10.4271/2022-01-04666.

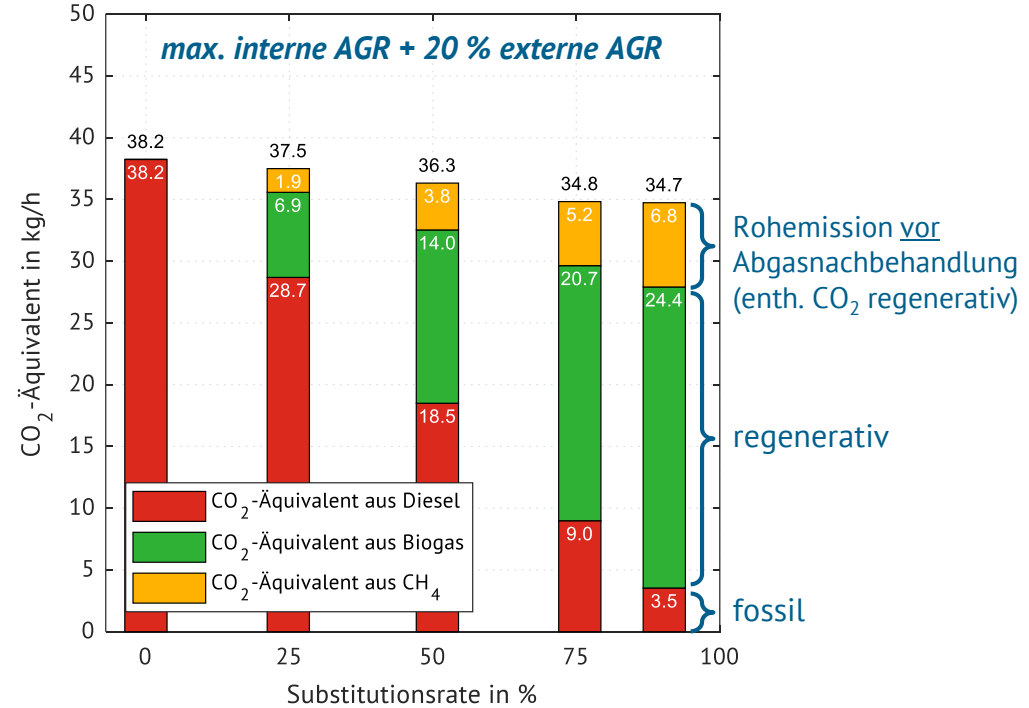
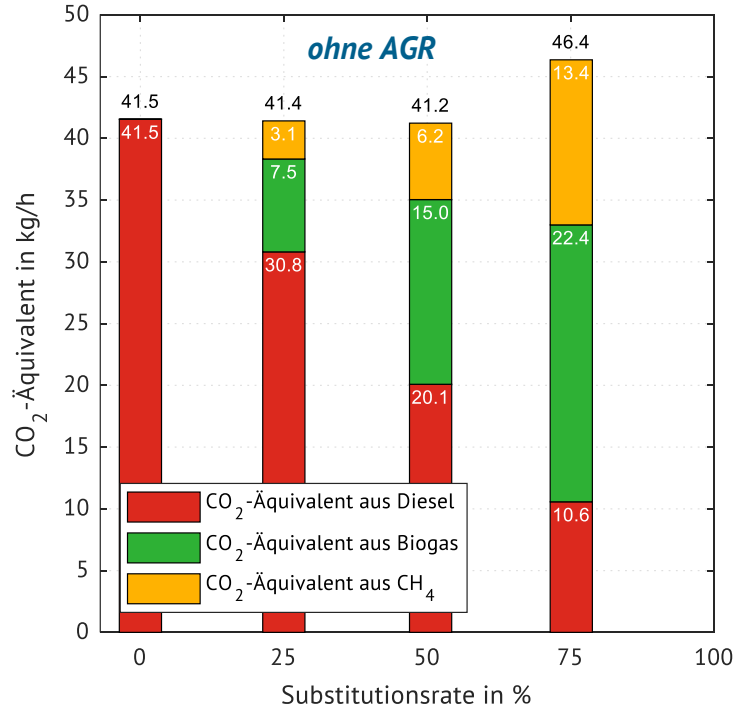
Dual Fuel CNG-Diesel: Vergleich Rohemissionen und Wirkungsgrad (1600 min⁻¹/350 Nm, mit interner AGR/2nd event)



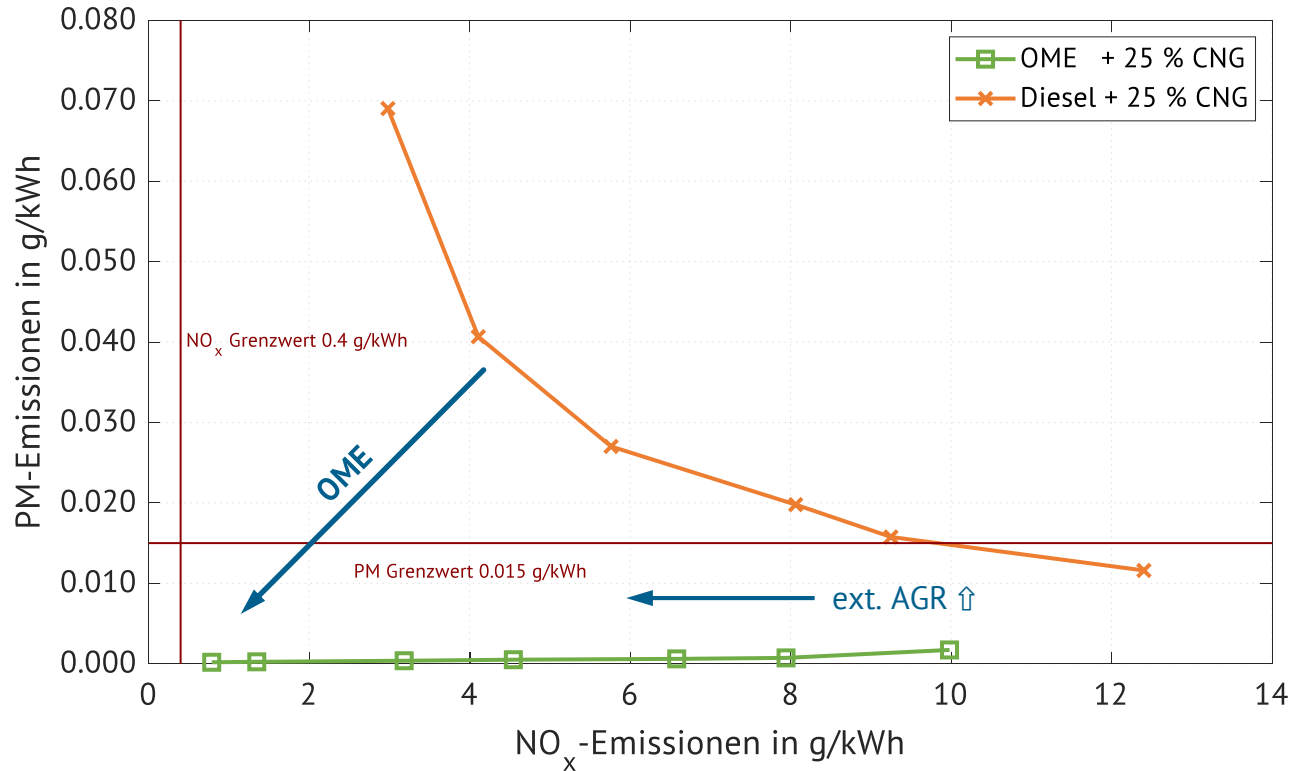
Dual Fuel CNG-Diesel: Verbesserung CH_4 -Emission durch **externe** und **interne AGR** ($1600 \text{ min}^{-1}/350 \text{ Nm}$)



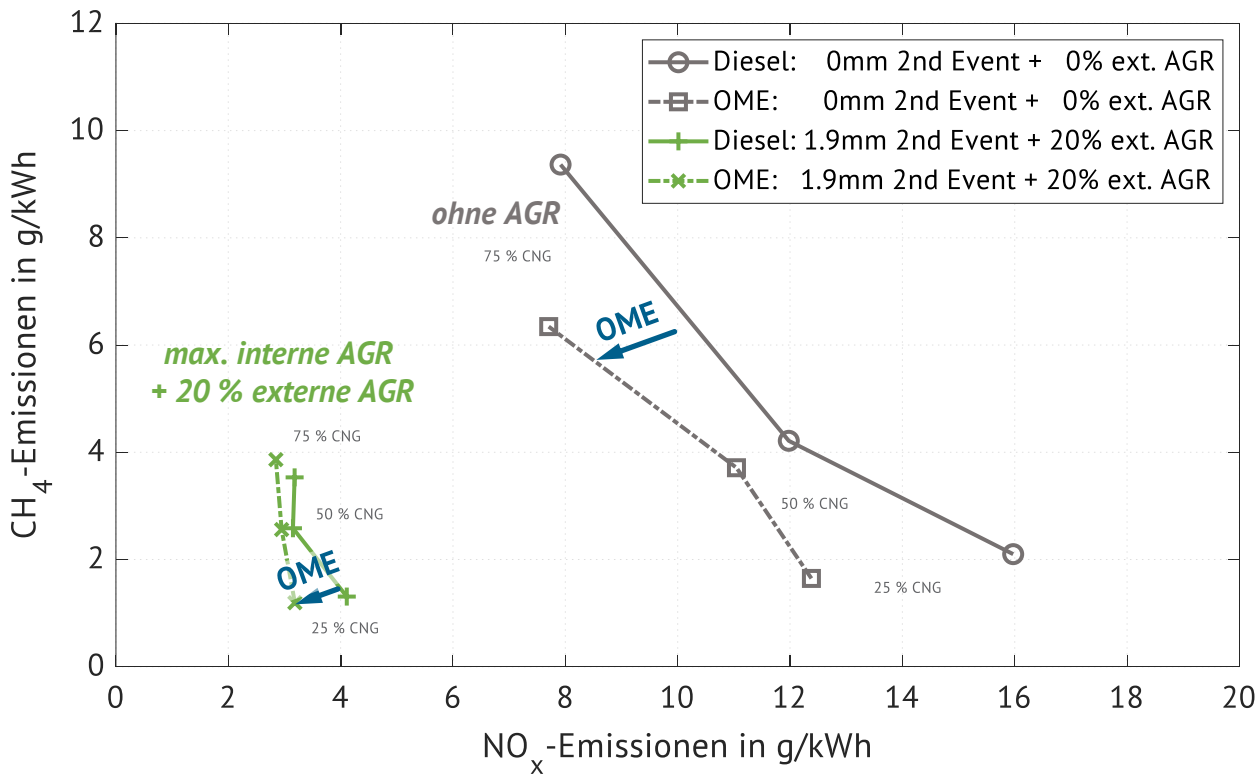
Dual Fuel CNG-Diesel: CO₂-Äquivalent (auf Basis Rohemissionen) vs. Substitutionsrate (1600 min⁻¹/350 Nm)



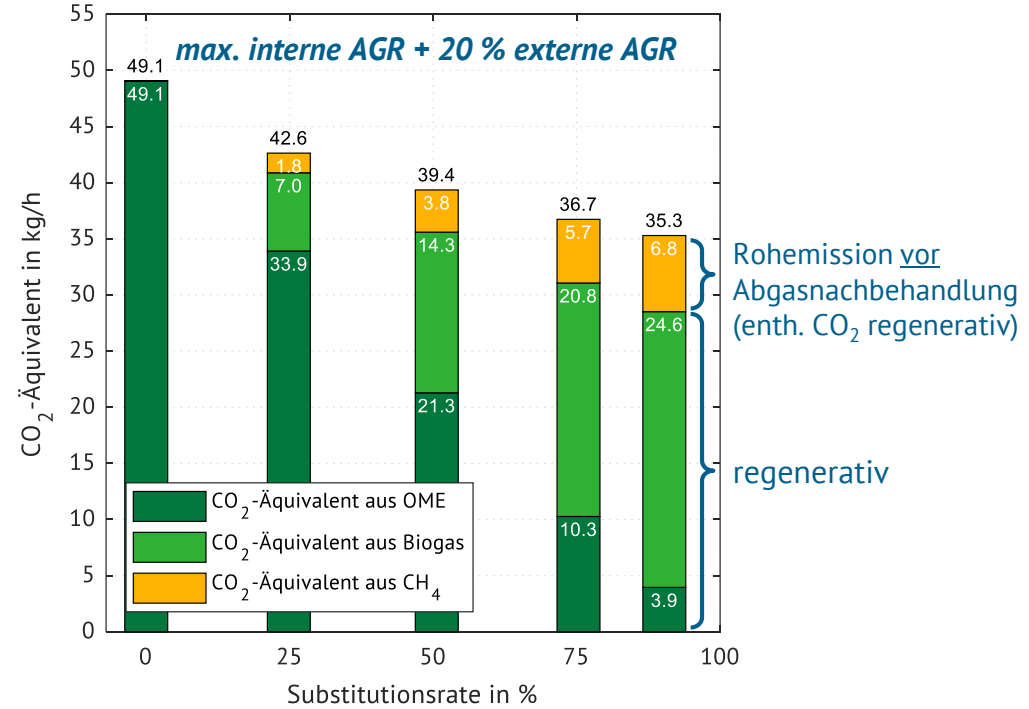
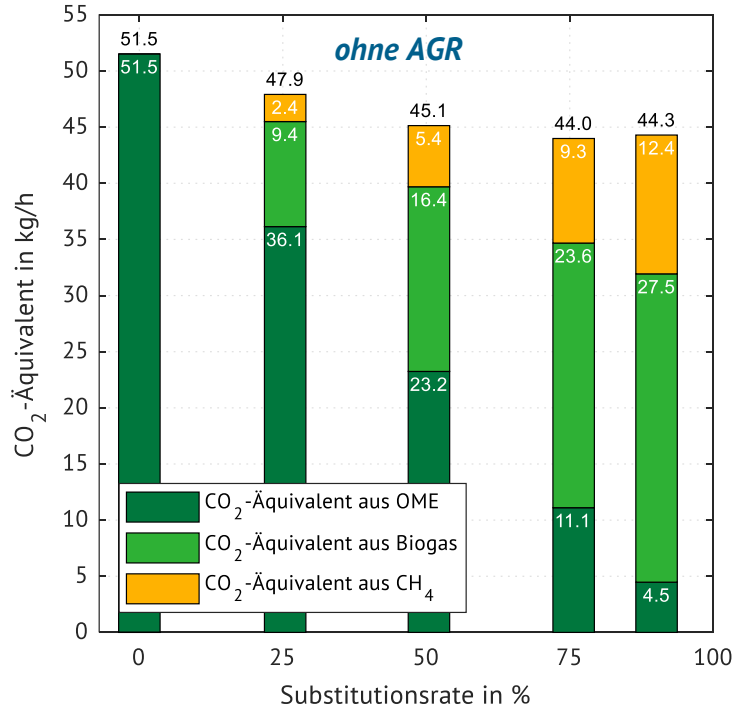
Verwendung OME statt Dieselkraftstoff: NO_x-PM-Trade-Off (1600 min⁻¹/350 Nm, mit int. AGR)



Verwendung OME statt Dieselkraftstoff: Einfluss **externe & interne AGR** auf **CH₄** & **NO_x** (1600 min⁻¹/350 Nm)



Dual Fuel CNG-OME: CO₂-Äquivalent (auf Basis Rohemissionen) vs. Substitutionsrate (1600 min⁻¹/350 Nm)



Zusammenfassung und Ausblick

- **Dual Fuel-Konzepte** ermöglichen eine **erhebliche Reduktion der Treibhausgasemission** – bereits bei Verwendung fossiler Energieträger, und umso mehr mit Bio- und E-Fuels!
- neben der Treibhausgasreduktion erlauben solche Konzepte eine **Minimierung der Feinstaubemission (PM)** bei **gleichbleibender oder verbesserter NO_x-Bildung** (Rohabgas)
- die Verwendung einer **Abgasrückführung** (AGR) ermöglicht **höhere Substitutionsraten** mit weiter **verbesserter Schadstoff- und Treibhausgasbilanz** (inkl. Methan-Rohemission)
- neben der üblichen externen AGR ist auch die **interne Rückführung z. B. mittels „second event“ vorteilhaft**, insbesondere zur Absenkung der Methan-Rohemissionen
- die **Verwendung alternativer** (biogener oder synthetischer) **Kraftstoffe als Zündkraftstoff** eröffnet **weitere Vorteile im motorischen Betrieb** (Reduktion PM + NO_x, z. T. auch Methan).
- Weitergehende Untersuchungen mit **modifizierten Komponenten** sind in Vorbereitung.

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit ... und vielen Dank unseren Fördermittelgebern und assoziierten Projektpartnern:

Projekt „CNG-OME Dual-Fuel Motorenkonzept“:



EUROPÄISCHER FONDS FÜR
REGIONALE ENTWICKLUNG



JOHN DEERE



Projekt „Kraftstoffmischverbrennungskonzept“:



Bundesministerium
für Ernährung
und Landwirtschaft

