



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

Lehrstuhlvorstellung

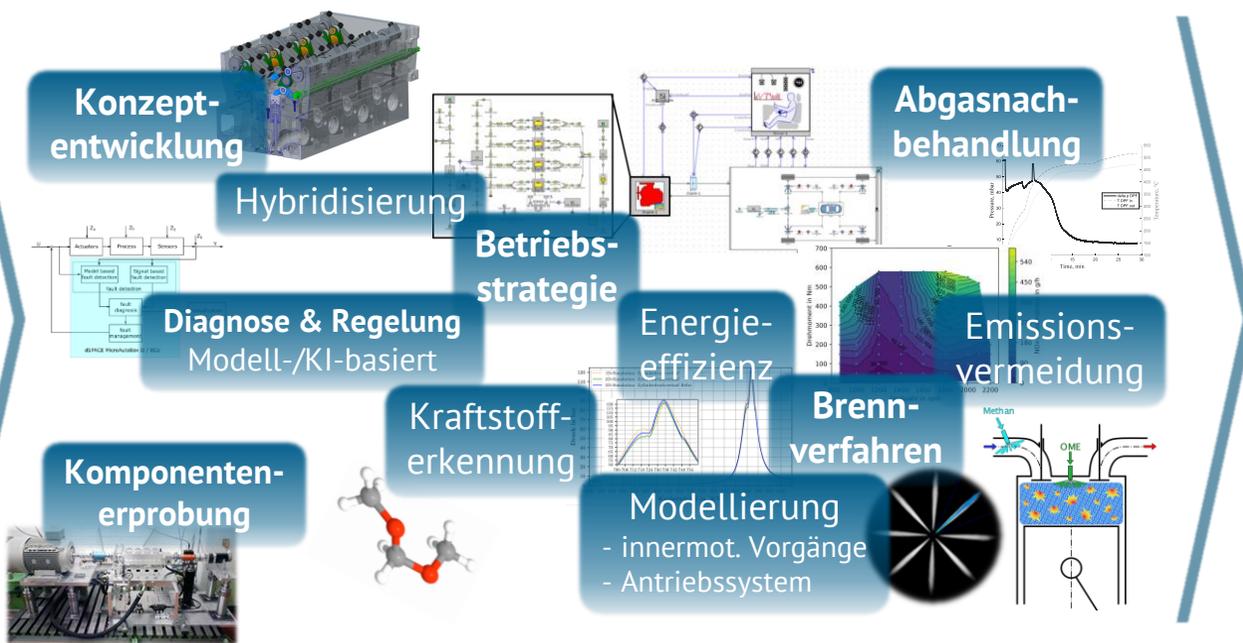
Kompetenzen, Forschungsfelder, Ausstattung

Lehrstuhl für Antriebe in der Fahrzeugtechnik (LAF): Methoden- und Themenspektrum in Forschung & Lehre

Alternative
Antriebskonzepte
„Elektrifizierung“

Überwachung
& Regelung
im Realbetrieb

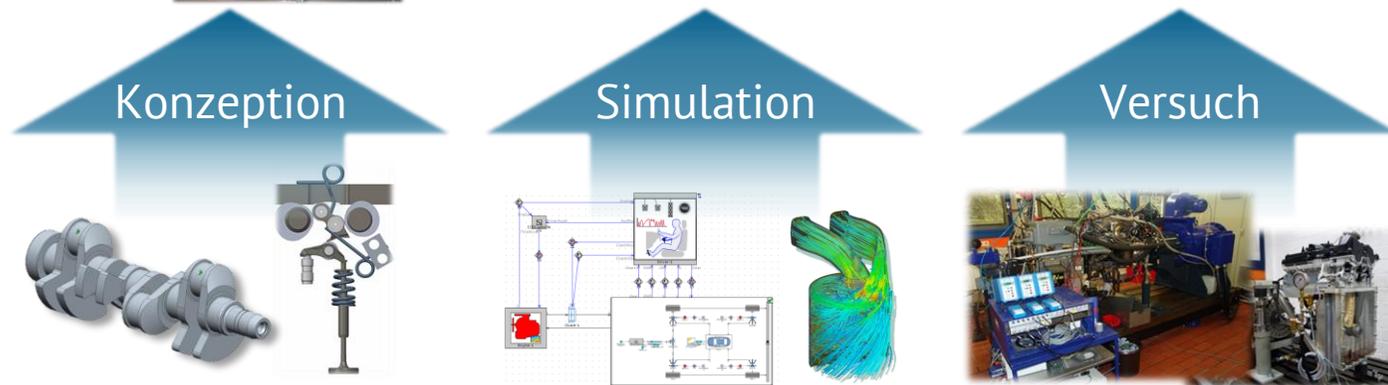
Alternative
Energieträger
„e-Fuels“



Ziele:

Schadstoffe \downarrow
 CO_2 \downarrow

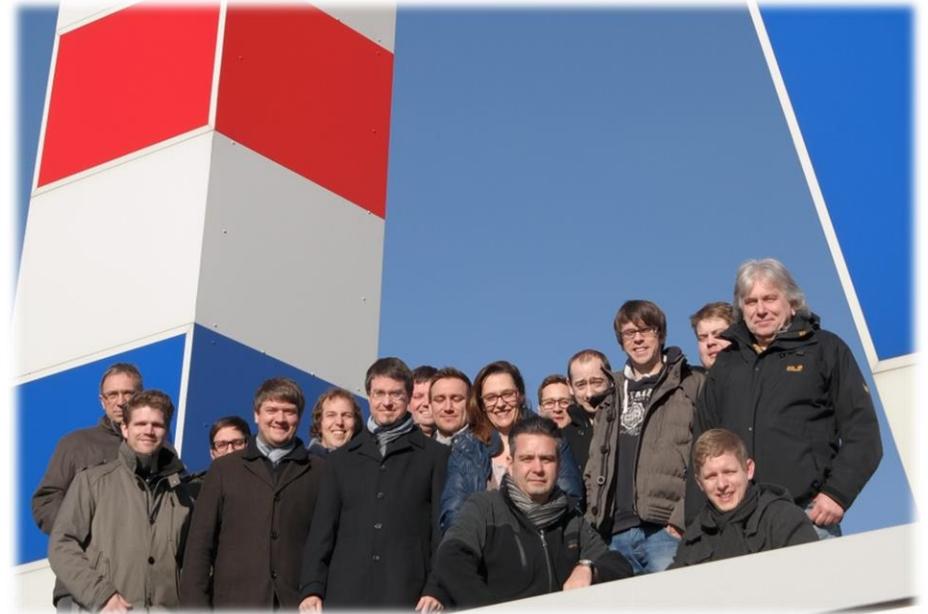
Wirkungsneutralität
(„zero impact“)



Der Lehrstuhl: Arbeiterteam und Einbindung in Fachbereich und Universität

LAF-Team:

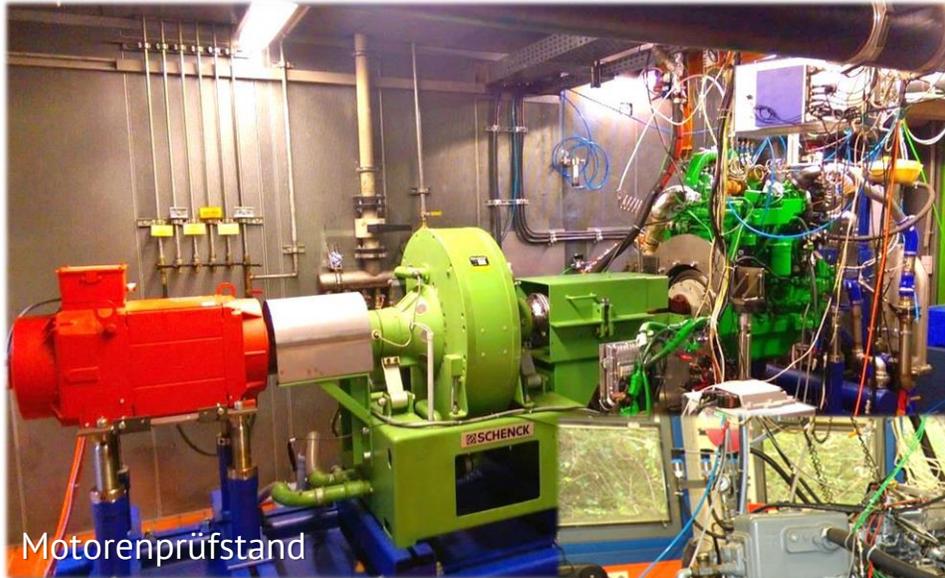
- ▶ **aktuell 12 wissenschaftliche Mitarbeiter**
(11 Doktoranden + 1 Oberingenieur)
- ▶ **4 technische Mitarbeiter**
 - Messtechnik-Ingenieur
 - Elektromechanikermeister
 - Kfz-Technikermeister
 - Zerspanungsmechaniker
- ▶ **Sekretariat**



Fachbereich Maschinenbau und Verfahrenstechnik der TU Kaiserslautern:

- **19 Lehrstühle** bzw. Arbeitsgruppen mit z. T. enger fachlicher Vernetzung
- **> 1700 Studenten** im FB (+ weitere aus verwandten Studiengängen, z. B. Wi.-Ing. MB 600)
- Vernetzung über FB-Grenzen z. B. im **Zentrum für Nutzfahrzeugtechnologie ZNT**
- hervorragend ausgerüstete **zentrale Werkstätten**, u.a. **Metallbearbeitung, Elektronik**

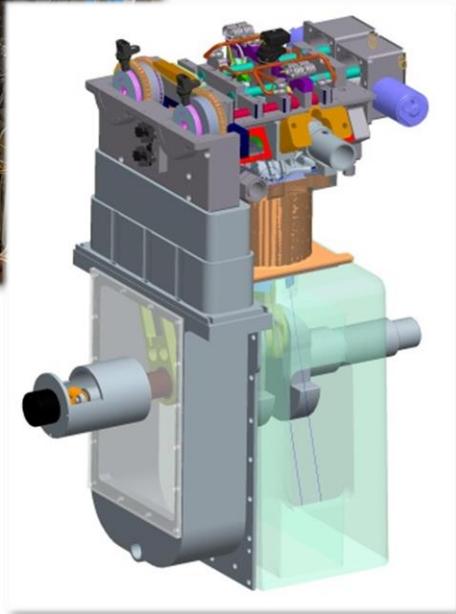
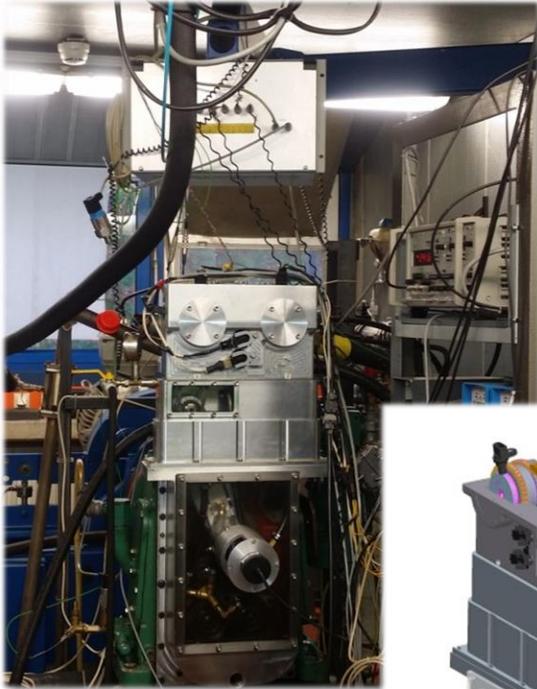
Überblick über die Prüfstände des Lehrstuhls



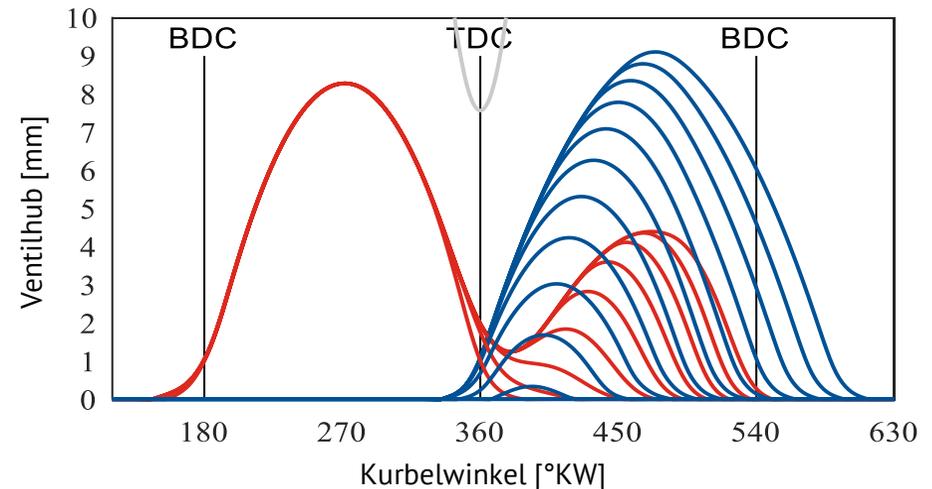
- ▶ 8 Motorenprüfstände, hiervon 2 Einzylinder-Motorenprüfstände
- ▶ 2 transiente Motorenprüfstände

- ▶ Komponentenprüfstände (z. B. zur Vermessung von Ventil- u. Kettentrieben)

Experimentelle Möglichkeiten am LAF: Einzylinder mit variabler Verdichtung + neuem hochvariablem Ventiltrieb

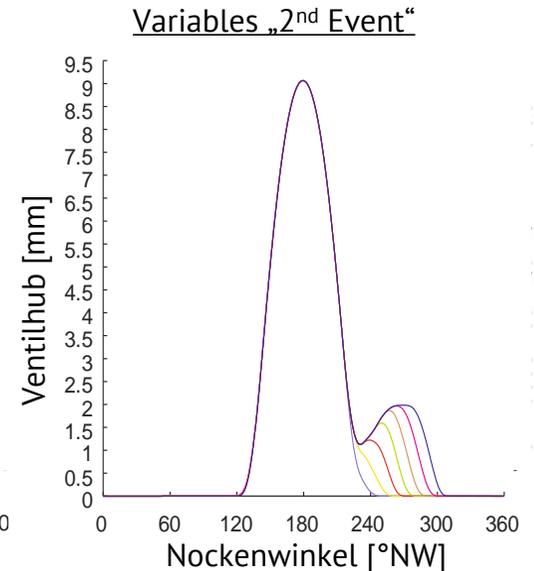
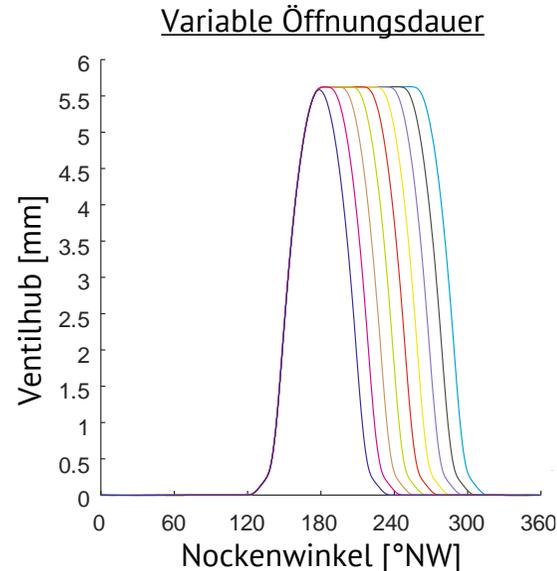
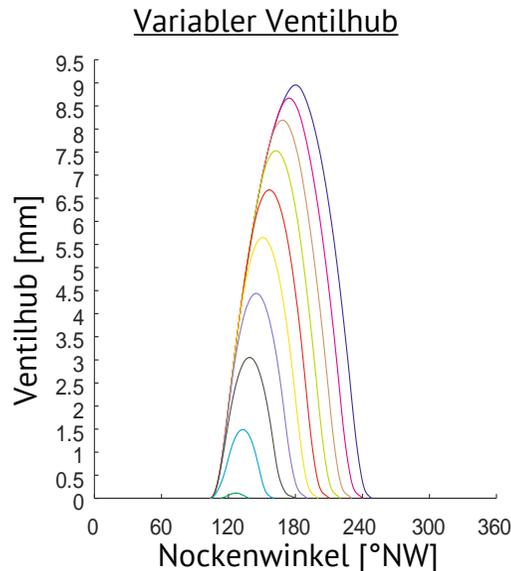


- ▶ Einzylinder-Versuchsmotor mit Benzin-Direkteinspritzung (typ. Layout mit zentraler Injektorlage und Tumble-Einlassströmung)
- ▶ **stufenlos variable Verdichtung** (bis zu 10 Einheiten)
- ▶ mechanisch **vollvariabler Ventiltrieb** auf **Ein- und Auslassseite**
⇒ **zusätzliche Freiheitsgrade** gegenüber aktuellen Serienlösungen durch je 2 rotierende Wellen (statt NW + EW).



Hochvariabler Ventiltrieb für Einzylindermotor

- ▶ mechanisch vollvariabler Ventiltrieb mit 2 rotierenden Wellen als **Entwicklungstool**
- ▶ variablen Phasenversatz in Kombination mit verschiedenen Nockenprofilen
⇒ **vielfältige Hubverläufe bzw. Funktionen** darstellbar, z. B.
 - **variable Öffnungsdauer bei konstantem Hub,**
 - **variabel zuschaltbares zweites Ventilöffnen** („second event“) etc.
- ▶ Umschaltung zwischen Abgasrückhaltung (FAS) und Abgasrücksaugung (second event) im laufenden Betrieb.

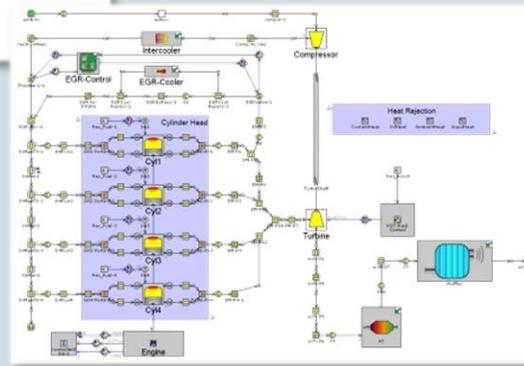
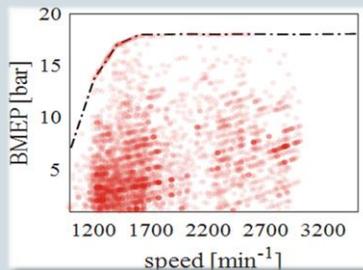
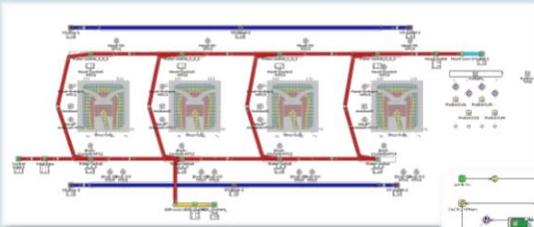
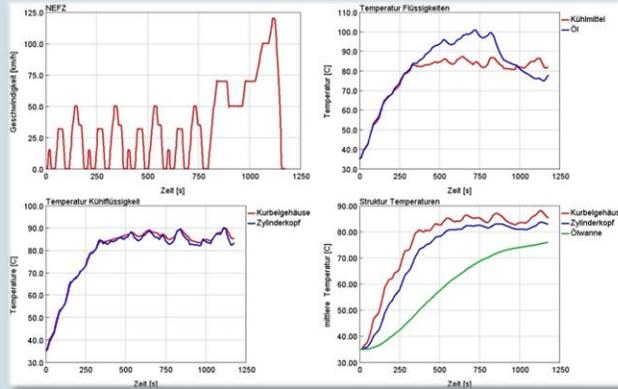


Überblick über die Berechnungstools am LAF

0D/1D-Strömungssimulation

GT Power

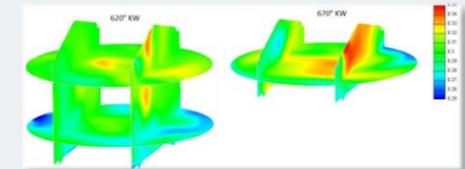
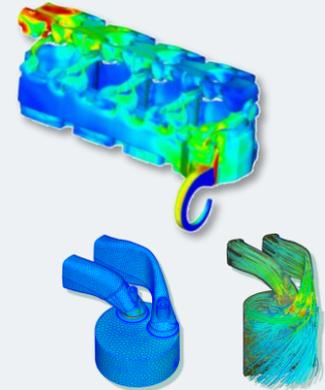
- Optimierung Ladungswechsel
- Druckverlaufsanalyse
- Gesamtfahrzeug-/ Fahrzyklensimulation (incl. Warmlauf), z. B. RDE



3D-Strömungssimulation

AVL Fire / Ansys CFX

- Berechnung/Optimierung Wassermantel
- Einlasskanaloptimierung (z. B. Durchflusscharakteristik)
- Optimierung Ansaugluftführung/Sammler (Gleichverteilung AGR/CNG)
- Zylinderinnenströmung und Gemischhomogenisierung
- Turbulenz und Restgasverteilung
- Optimierung Kolbendesign



Ventiltriebsauslegung inkl.

Mehrkörpersimulation

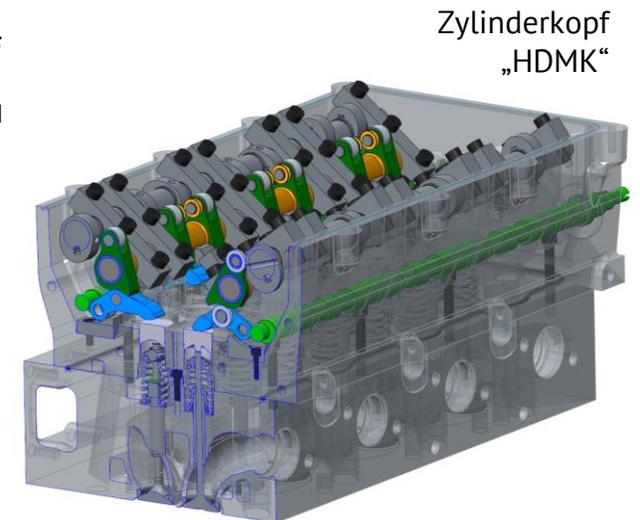
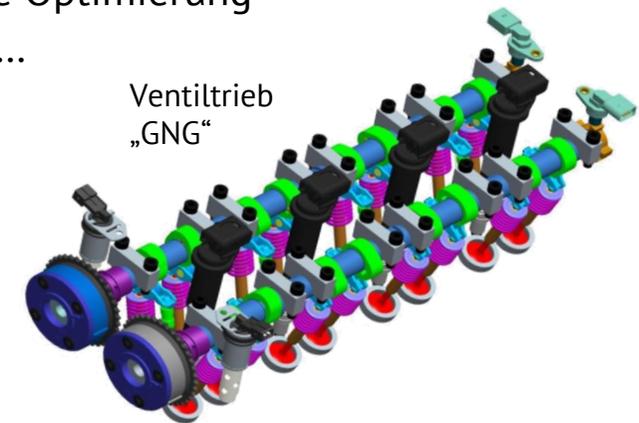
Matlab/GT-Valvetrain/RecurDyn

- Auslegungssoftware für mechanisch vollvariable Ventiltriebe (Basis Matlab)
- gekoppelte Validierungsmodelle GT-Valvetrain/RecurDyn
- FEM/MKS Kopplung (RecurDyn)



Projektbeispiele (z. T. abgeschlossene Projekte)

- ▶ **Brennverfahrensentwicklung** für **CNG**-Einsatz in Nutzfahrzeugmotoren:
Umbau von Diesel- auf CNG-Betrieb, experimentelle/simulative Optimierung
von Kolbengeometrie/Verdichtung/AGR-Strategie/Zündsystem...
- ▶ **Umbau** eines Nfz-Motors **von Diesel- auf Ottobetrieb** ⇒
mit größtmöglichem Übernahmeumfang,
Brennverfahrensentwicklung für **Mischbetrieb** „GNG“:
Benzin-CNG und Benzin-Ethanol
- ▶ Untersuchung **Diesel-Gas-Mischbetrieb** (Pkw & Lkw):
Diesel-CNG, Diesel-LPG, Diesel-H₂
- ▶ Umbau eines Nfz-Dieselmotors mit untenliegender Nockenwelle auf
DOHC-Konzept mit vollvariablem Ventiltrieb für Ein- und Auslass ⇨
(Förderprojekt „HDMK“ gemeinsam mit Industriepartner)
- prototypische Konzeptentwicklung inkl. Neuauslegung
Zylinderkopf-Kühlkonzept, Komponentenerprobung,
Aufbau & Betrieb Motorprototypen und Fahrzeugintegration
- ▶ Untersuchung von **Abgasnachbehandlungskonzepten**
für einen Dieselmotor zur Verwendung als **Bahnantrieb**.



Anwendung alternativer Kraftstoffe: Modellbasierte Motorregelung für Multi-Fuel-Betrieb

- ▶ Verbundprojekt „MUST5“, Laufzeit 11/2018-04/2021 (gefördert durch BMEL/PT FNR)
- ▶ Ziel ist die Darstellung eines Motors zum Betrieb mit beliebigen Mischungen aus Diesel, Biodiesel und Pflanzenöl mit **automatischer Kraftstofferkennung zur Einhaltung der Emissionslimits**
- ▶ **Kraftstofferkennung modellbasiert** bzw. alternativ mit **möglichst einfacher Sensorik** (z.B. Körperschallsensor)
- ▶ Partner: John Deere (Konsortialführer), TFZ Straubing
- ▶ assoziierte Partner: TU Darmstadt, UFOP.

gefördert durch:



Bundesministerium
für Ernährung
und Landwirtschaft



Potenziale synthetischer Kraftstoffe: Förderprojekt "E2Fuels"

- ▶ Verbundvorhaben gefördert durch BMWi (PT TÜV Rheinland), Laufzeit 11/2018-11/2021
- ▶ Ziel ist die Erforschung der **Anwendung von e-Fuels in einem sektorgekoppelten Ansatz**
Modul 2: **Straßenverkehrsanwendung** ("OME als strombasierter Kraftstoff für mobile Anwendungen")
⇒ **Erforschung** diverser **umsetzungsrelevanter Aspekte von e-Fuels mit Schwerpunkt OME** (*)
(inkl. Entwicklung spezifischer AGN), Darstellung von OME-Demonstratorfahrzeugen (Pkw / Lkw)

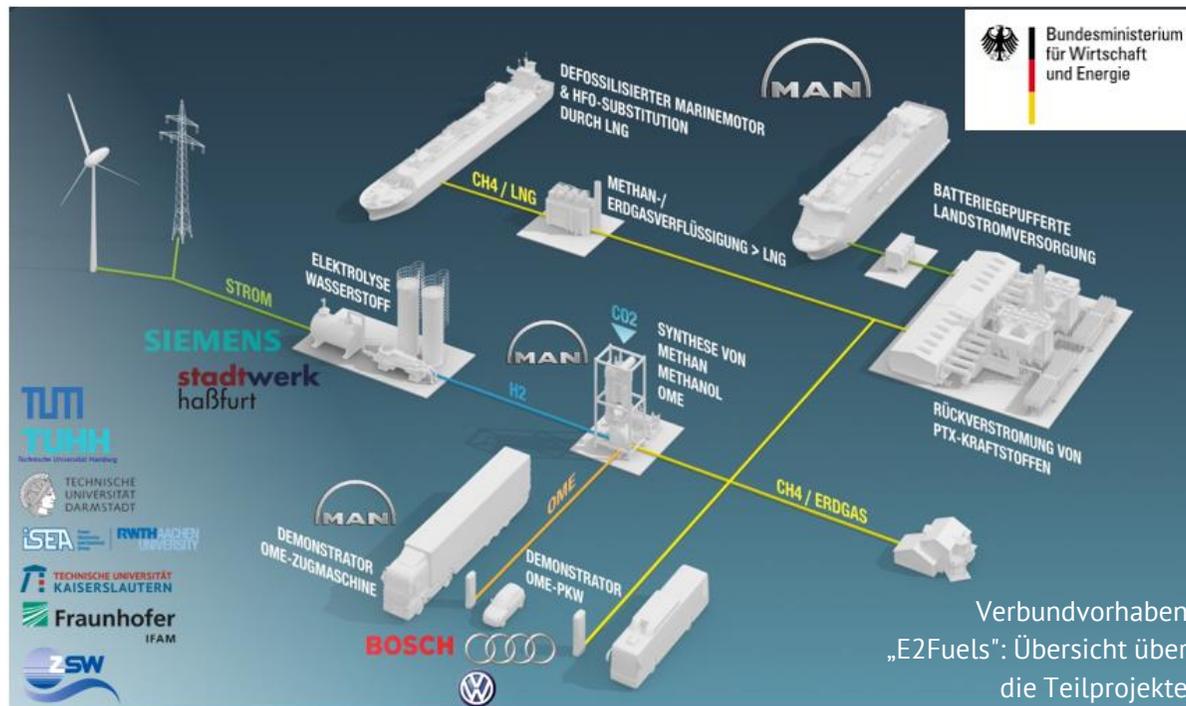
Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Industriepartner:

AUDI AG,
Robert Bosch GmbH,
MAN Energy Solutions SE,
MAN Truck & Bus AG,
Siemens AG,
Stadtwerk Haßfurt GmbH,
Volkswagen AG.



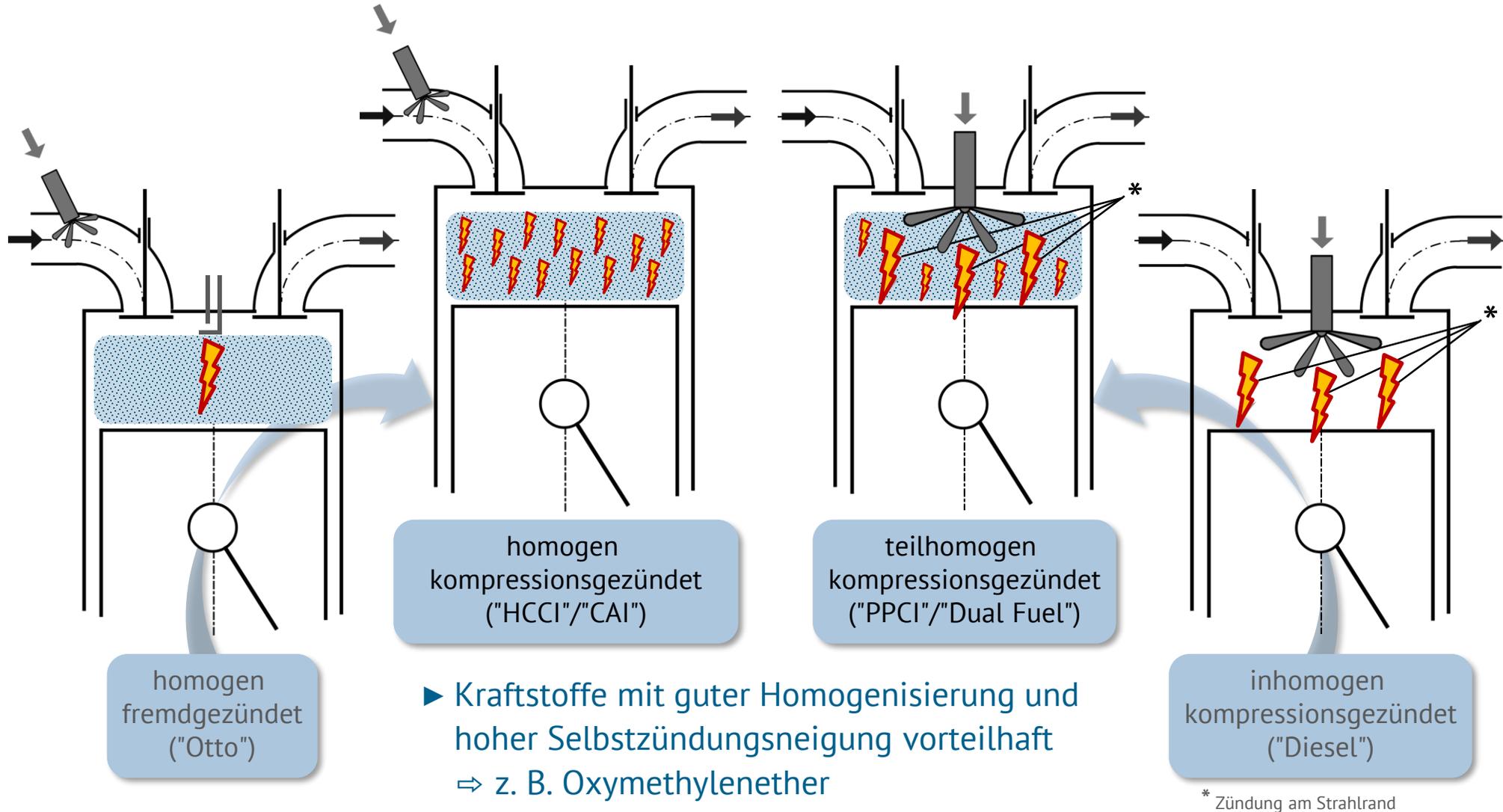
* OME = „Oxymethylenether“
(Polyoxymethylenmethylether)
⇒ partikelfrei verbrennender Diesel-
Ersatzkraftstoff

Forschungspartner:

FAU Erlangen-Nürnberg,
Fraunhofer IFAM Dresden,
HS Darmstadt,
RWTH Aachen,
TU Darmstadt,
TU Hamburg-Harburg,
TU Kaiserslautern,
TU München,
ZSW Baden-Württemberg.

Bildquelle: Projektkonsortium "E2Fuels"/MAN Energy Solutions (M. Auer)

Zukünftige Brennverfahren - Synergien mit synthetischen Kraftstoffen



Potenziale alternativer Kraftstoffe: Emissions- und wirkungsgradoptimale Dual-Fuel-Brennverfahren

- ▶ Förderprojekt „HKMVK“ (BMEL/PT FNR), Laufzeit 12/2019–11/2021
- ▶ Untersuchung **verschiedener Kraftstoff-Mischungen** - Diesel + alternativer Kraftstoff (Bio-Methan/Bio-LPG/Bio-Ethanol) - und **Kraftstoffmischkonzepte** (MPI+DI bzw. Emulsion-DI)
- ▶ **Zielsetzung: Brennverfahrensoptimierung**, Weiterentwicklung der **Modellierung** für die CFD-Simulation, Ermittlung der **betriebspunktoptimalen Kraftstoffmischung**
- ▶ hierauf tlw. aufbauend: Förderprojekt „CNG-OME Dual-Fuel Motorenkonzept“ (CVC-Leitprojekt + EFRE-Förderung), Laufzeit 07/2020-06/2022
 - ⇒ mageres homogenes CNG-Gemisch mit OME-Piloteinspritzung zur Zündung (CNG ersetzbar durch synthetisches Methan)
- ▶ **Zielsetzung:**
 - Verbesserung Verbrennung durch OME als Zündkraftstoff: OME ⇒ partikelfrei und hochreaktiv!
 - Reduzierung CH₄-Emission durch verbesserten Ausbrand ⇒ Ladungsaufheizung durch interne AGR (var. Ventiltrieb)
 - Einsatz CO₂-neutral herstellbarer Kraftstoffe: Methan/OME
- ▶ beide Projekte nutzen **Versuchsträger mit vollvariablem Ventiltrieb** aus Projekt HDMK

gefördert durch:



Bundesministerium
für Ernährung
und Landwirtschaft



gefördert durch:

▶ Partner: 

▶ assoziierte Partner:

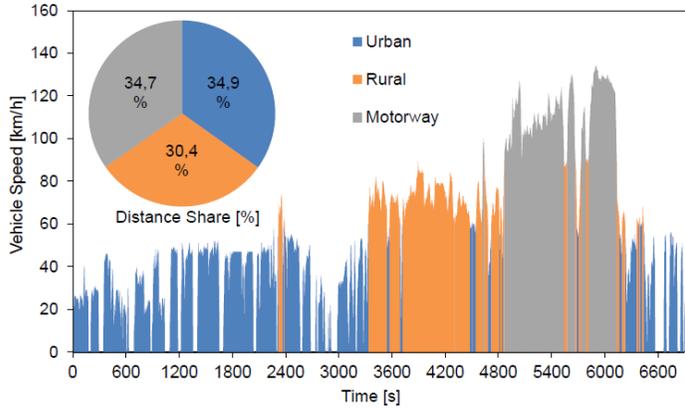
 **JOHN DEERE** automotive engineering  **iaU**  **IPG** AUTOMOTIVE



EUROPÄISCHER FONDS FÜR
REGIONALE ENTWICKLUNG

Emulation Fahrzeugumgebung am transienten Motorenprüfstand

Auswahl Zyklus oder Fahrmanöver
z. B. RDE Profil



Optimierung durch Simulationsmodelle
z. B. GT Suite/dSpace ASM/IPG Carmaker



Validierung am Motorenprüfstand
„Hardware in the Loop“



KI-basierte Emissionsregelung: Projekt „ML-MoRE“

(Maschinelles Lernen für die Modellierung und Regelung der Emissionen von Hybridfahrzeugen in Realfahrzyklen)



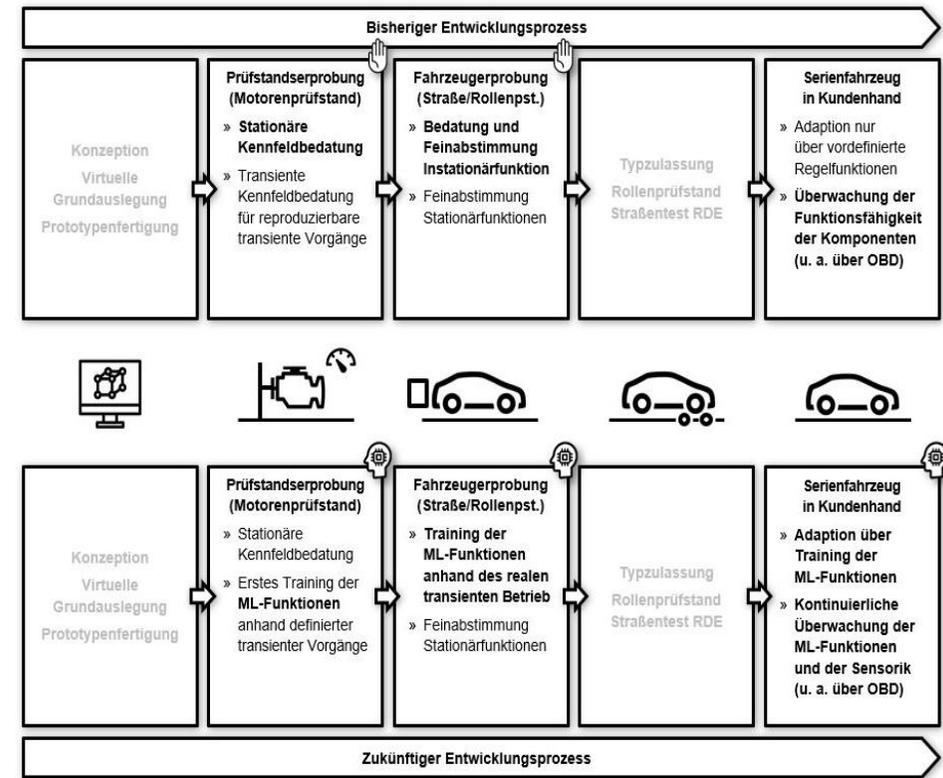
Lehrstuhl für Antriebe
in der Fahrzeugtechnik



gefördert durch:

Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

- ▶ Verbundvorhaben gefördert durch BMBF (PT DLR), Laufzeit 09/2020-08/2022
- ▶ Ziel ist die **Sicherstellung niedrigster Schadstoffemissionen im Realbetrieb** durch **KI-basierte situationsbezogene Betriebsstrategiewahl** in Hybridantrieben
- ▶ **Grundlagen:** KI- und modellbasierte Vorhersage der instationären Schadstoffbildung, Fahrererkennung, Streckenvorausschau und Diagnosefunktionen
 - ⇒ Überführung aktueller Erkenntnisse aus der Forschung zur innermotorischen Schadstoffbildung im transienten (hochdynamischen) Fahrzeugbetrieb in **praktisch anwendbare Modelle**
 - ⇒ Entwicklung einer neuen **KI-basierten Toolkette für den Entwicklungs-/Applikationsprozess** von Fahrzeugantrieben (insbesondere für **KMU**)



- ▶ Partner: **KST**, **RA CONSULTING**, **FACHGEBIET FÜR ELEKTROMOBILITÄT**
- ▶ assoziierte Partner: **CORNING**, **DENSO**



TU Kaiserslautern Lehrstuhl für Antriebe in der Fahrzeugtechnik

Ansprechpartner:

Prof. Dr.-Ing. Michael Günthner

guenthner@mv.uni-kl.de

0631/205-5796 bzw. -2766 (Sekretariat)

Dr.-Ing. Thorsten Fuchs

thorsten.fuchs@mv.uni-kl.de

0631/205-2304

Weiterführende Informationen zur messtechnischen Ausstattung des Lehrstuhls

8 Motorenprüfstände

Wirbelstrom- bzw. hydraulische Bremse + E-Maschine



- Leistung bis zu **1200 kW**
- Drehmoment bis zu **7500 Nm**
- Schleppmöglichkeit (ca. 30 kW)
- Umbau eines Prüfstands auf H₂-Betrieb in Vorbereitung (inkl. Hochdruck-Wasserstoffversorgung)

2 transiente Motorenprüfstände

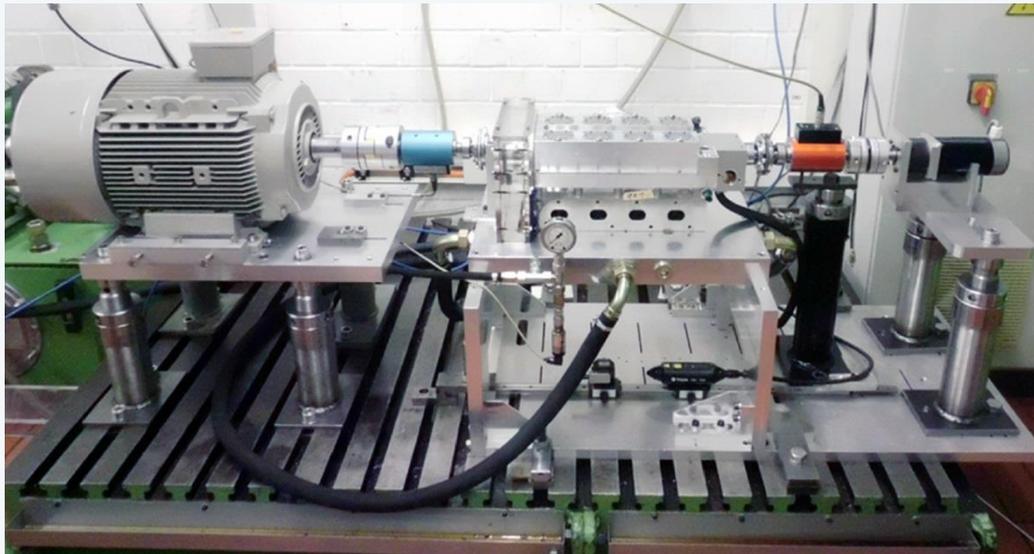
E-Maschine (+ hydraulische Bremse)



- Pkw-Prüfstand:
Leistung bis **250 kW**, Drehmoment bis **400 Nm**
- Pkw-/Nfz-Prüfstand:
Leistung **220 kW_{el.} + 550 kW_{hydr.}**
Drehmoment **480 Nm_{el.} + 2500 Nm_{hydr.}**

Zylinderkopf

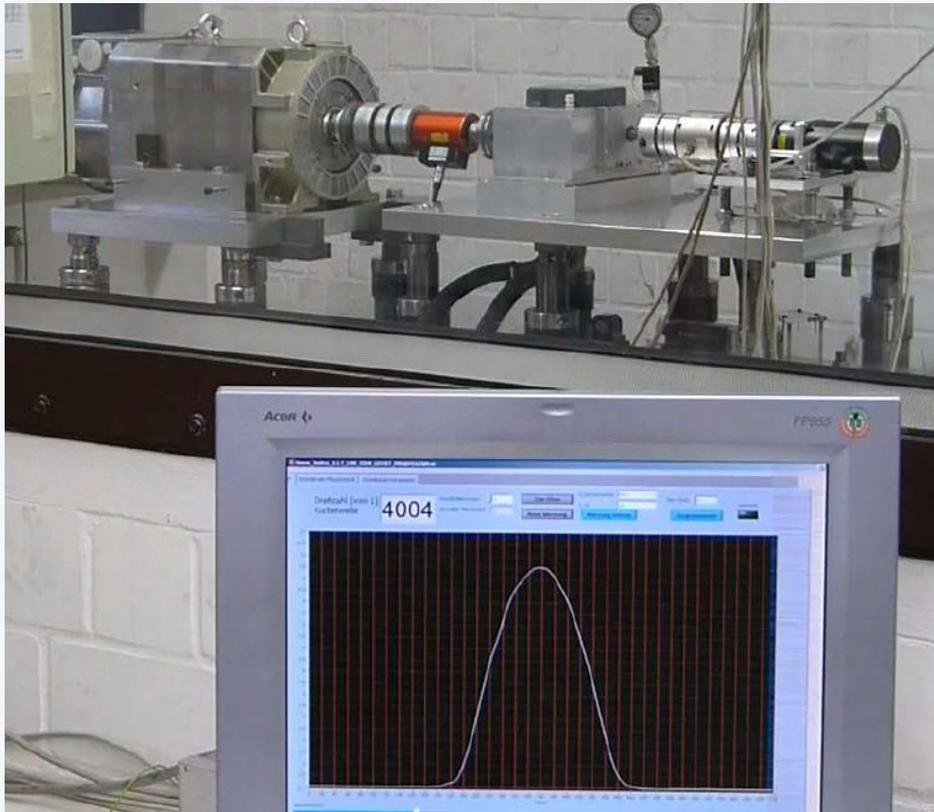
z. B. Benchmark, Validierung Neuauslegung...



- Bestimmung der Systemreibung
- Vermessung der Ventilhübe
- Untersuchung der dynamischen Eigenschaften
- Optimierung der tribologischen Parameter
- Verifizierung der Dauerfestigkeit

Ventiltrieb

z. B. Funktionsnachweis variable Ventiltriebe



- Vermessung der Ventilhub
- Verifizierung der mechanischen Auslegung
- Untersuchung der dynamischen Eigenschaften
- Optimierung der tribologischen Parameter
- Verifizierung der Dauerfestigkeit

Steuertrieb und Zylinderkopf

z. B. Benchmark, Validierung Neuauslegung...



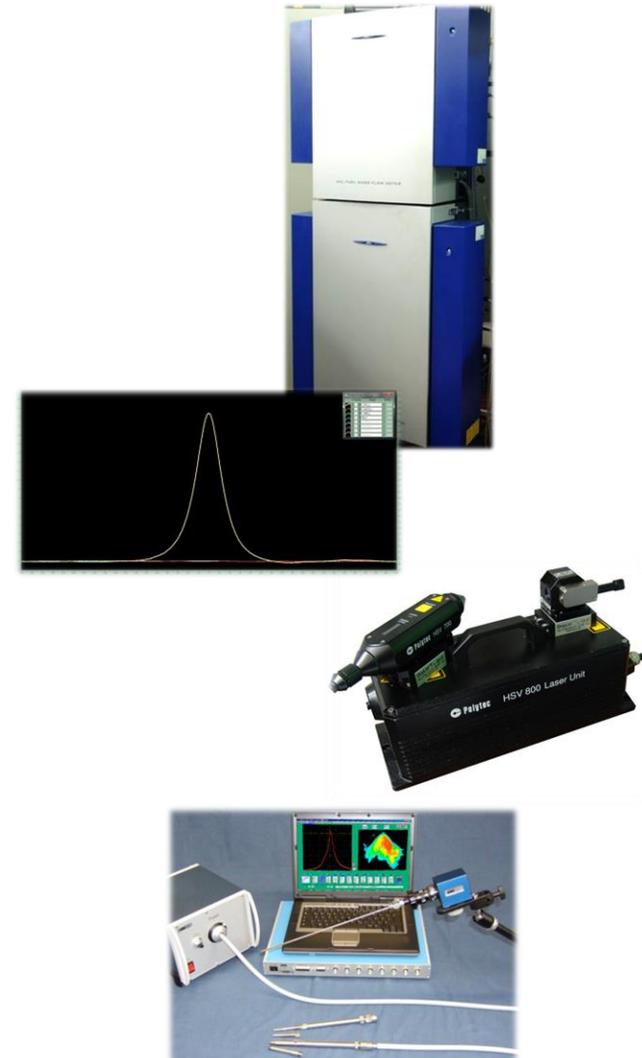
- Bestimmung der Systemreibung
- Untersuchung der dynamischen Eigenschaften
- Optimierung der tribologischen Parameter
- Untersuchungen an Kettenspannern und Kettenführungsschienen

Messtechnik am LAF: Abgasmessung

- ▶ Abgasmessanlagen (AMA):
 - AVL AMA i60
 - Horiba MEXA 7000 DEGR
 - EcoPhysics NOxMAT
- ▶ Fourier Transfer Infrarot Spektrometer (FTIR):
 - AVL SESAM i60 FT (Leihgabe)
 - Horiba MEXA-6000 FT (Mietgerät)
- ▶ Partikelmessung (Masse, Größenverteilung):
 - AVL Micro Soot Sensor
 - AVL Smart Sampler
 - AVL Smoke Meter
 - TSI EEPS 3090



- ▶ Kraftstoffmassenmessung ($\sqrt{\text{--}}$ -konditionierung):
 - AVL Fuel Conditioner/Fuel Flow 735/753C
 - AVL 733
 - Bronkhorst mini Cori-Flow
 - Endress+Hauser Cubemass
 - Mettler Präzisionswaagen
- ▶ Luftmassenmessung
 - ABB Sensyflow
 - Bosch HFM
 - Endress+Hauser Cubemass
- ▶ Zylinderdruckindizierung:
 - AVL X-ion
 - AVL Indicom
 - FEV CAS
 - Smetec Combi
- ▶ Polytec Laservibrometer (z. B. zur Ventilhubmessung)
- ▶ Smetec CCD-Kamera mit Endoskopsystem



Weiteres Prüfstandsequipment

- ▶ Flexible Motorsteuerungen:
 - VEMAC VeRa3 ECU-Adapterbox
 - IAV FI²RE (Einzyylinder-Motorsteuerung) incl. IAV TRA-2 (Druckindizierung)
 - Motec
 - dSpace (Scalexio) AutoBox
- ▶ Durchflussprüfstand
- ▶ Schleppmöglichkeit für Motorattrappen (z. B. für Komponentenversuche)
- ▶ Fahrer-/Fahrzeugemulation für Transientenprüfstand:
 - dSpace ASM
 - [IPG TruckMaker – projektgebunden]
 - TUK-eigenes Tool (Matlab-basiert)
- ▶ *geplant:*
Rototest Energy 355 als Ersatz für Rollenprüfstand (Belastungseinheiten direkt auf Radnabe wirkend)





TU Kaiserslautern Lehrstuhl für Antriebe in der Fahrzeugtechnik

Ansprechpartner:

Prof. Dr.-Ing. Michael Günthner

guenthner@mv.uni-kl.de

0631/205-5796 bzw. -2766 (Sekretariat)

Dr.-Ing. Thorsten Fuchs

thorsten.fuchs@mv.uni-kl.de

0631/205-2304