

Verbundvorhaben NAMOSYN: Nachhaltige Mobilität durch synthetische Kraftstoffe

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung



Nachhaltige Mobilität durch synthetische Kraftstoffe

FKZ: 03SF0566Q0

Zeitraum: 01.04.2019 bis 31.03.2022

- Die Verantwortung für den Inhalt liegt bei den Autoren -

Leiter: Herr Dr.-Ing. Michael Elicker

SCHAEFFLER



Partner: Schaeffler Technologies AG & Co. KG

Autor: Knorr Michael

AP1.2.3 Abgastemperaturmanagement und schnelle AGR-Regelung durch variablen Ventiltrieb

AP1.2.5 Erforschung funktionaler Anforderungen und geeigneten Regelalgorithmen für die Motorsteuerung

1 Aufgabenstellung, Voraussetzungen, Planung und Ablauf

1.1 Aufgabenstellung

Für beide oben genannten Arbeitspakete wird ein variables Ventiltriebssystem an einem 1-Zylinder Forschungsmotor der Technischen Universität Darmstadt umgesetzt. Dieser Motor ist angelehnt an einen Serien-Reihenvierzylinder Dieselmotor von BMW (B47). Dieser Serienmotor wird reduziert auf einen Zylinder, sodass die Serienteile mit einigen, wenigen Modifikationen übernommen werden können.

Auf der Ein- und Auslassseite des Ventiltriebs wurde ein Konzept auf Basis des Schaeffler eRocker-Systems entworfen. Dieses Schaeffler eRocker-System besteht aus mechanisch schaltbaren Schleppebeln, welche durch eine Umlenkung und Blattfedern mittels eines Aktuators geschaltet werden.

AP1.2.3 Abgastemperaturmanagement und schnelle AGR-Regelung durch variablen Ventiltrieb

Auf der Auslassseite wurden hierfür zwei voneinander unabhängig ansteuerbare Schleppebel implementiert. Diese können zum aktiven Abgastemperaturmanagement und zur schnellen AGR-Regelung einen Nachhub, nach dem eigentlichen Auslassvollhub, hinzuschalten. Diese Nachhübe werden, je nach Schleppebel- und Ventilposition unterschiedliche Nockenerhebungen besitzen. Damit ist eine 4-Stufigkeit des Systems erreichbar.

AP1.2.5 Erforschung funktionaler Anforderungen und geeigneten Regelalgorithmen für die Motorsteuerung

Auf der Einlassseite besteht das eRocker-System analog zur Auslassseite aus Schleppebeln und einer Umlenkeinheit. Das System wurde in der Konzeptphase zweistufig ausgelegt. D.h. die Schleppebel können nur gemeinsam gesteuert werden. Entweder wird ein Millerhub oder ein Vollhub durch die Schleppebel übertragen.

1.2 Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

„Die neu entwickelten nachhaltigen SynFuels sollen günstige Verbrennungseigenschaften aufweisen, damit der Motor möglichst effizient arbeitet und der lokale Schadstoffausstoß niedrig gehalten wird. In NAMOSYN werden die Verbrennungseigenschaften der Kraftstoffe unter Laborbedingungen und Realbedingungen getestet. Im Fall von OME-Kraftstoffen wirkt sich der hohe Sauerstoffgehalt bzw. die Abwesenheit von Bindungen zwischen Kohlenstoffatomen positiv auf das Emissionsverhalten in Dieselmotoren aus, da die Bildung von Feinstaub erwünscht niedrig ist. Die Verbrennungstemperatur muss nicht so hoch gewählt werden, so dass weniger Stickoxide entstehen.

Die motorische Testung umfasst auch die Kompatibilität des Motors, der Dichtungen und der kraftstoffführenden Komponenten mit dem neuen Kraftstoff. Im Vergleich zu konventionellem Benzin

oder Diesel ist dieser hydrophiler, er zieht also mehr Wasser an. Ein Schwerpunkt von NAMOSYN ist die Anwendung von OME im Dieselmotor, aber auch andere SynFuels für den Ottomotor werden motorisch getestet.

Hinsichtlich von OME im Dieselmotor wird außerdem getestet, inwiefern bestehende Motoren nachgerüstet werden müssen und wie die Umrüstung ablaufen kann. Dazu werden geeignete Komponenten, zum Beispiel Einspritzsysteme, für OME-Kraftstoffe optimiert oder neu entwickelt. Anschließend wird ein Prototypmotor mit diesen Komponenten ausgerüstet und getestet. Zum Schluss wird dieser Prototypmotor in ein Testfahrzeug eingebaut und unter Realbedingungen auf das Fahrverhalten und den Ausstoß von Emissionen untersucht.

Außerdem wird die Kompatibilität der SynFuels mit der bestehenden Infrastruktur für Kraftstoffe, wie Tanklastern oder Tankstellensystemen, evaluiert. Für eventuell erforderliche Anpassungen werden Lösungskonzepte erarbeitet.

Die technologische Entwicklung allein reicht nicht aus, um die synthetischen Kraftstoffe erfolgreich auf den Markt zu bringen. Es muss auch gezeigt werden, wie wirtschaftlich die SynFuels sind, welche Mengen in absehbarer Zeit produziert werden können, wie nachhaltig die Kraftstoffe in ökologischer Hinsicht sind und welche sozialen Auswirkungen zu erwarten sind. Außerdem ist zu klären, wie bestehende Normen erfüllt werden können. Weil NAMOSYN mit den SynFuels nur einen Teil der Lösungsansätze für nachhaltige Mobilität betrachten kann, arbeitet das Projekt zusammen mit BEniVer, der Begleitforschung "Energiewende im Verkehr" des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi). Im Sinne einer Lebenszyklusanalyse werden SynFuels über die gesamte Prozesskette evaluiert und ihr Beitrag zur CO₂-Minderung nach den gleichen Kriterien wie andere nachhaltige Technologien evaluiert.“ [1]

1.3 Wissenschaftlicher und technischer Stand

„Das optimale Zusammenspiel der Technologien und Produkte ist ein entscheidender Faktor zur weiteren Reduzierung von Verbrauch und Emissionen. Hier bietet Schaeffler durch sein einzigartiges Know-how und die übergreifende Zusammenarbeit der Fachbereiche Motorsysteme, Getriebesysteme, Chassis und Elektromobilität der Automobilindustrie Vorteile wie kein anderer Zulieferer.“ [2]

Mit einer innovativen Ventilhubstrategie wird das Abgastemperaturmanagement an einem Einzylinder Forschungsmotor untersucht. Die Ventilhubstrategie beruht auf einer abgasseitigen Variabilität zur internen Abgasrückführung mittels Auslassdoppelhub (engl. Secondary Exhaust Valve Lift (SEVL)) und einer einlasseitigen Variabilität zur Reduzierung des Luftdurchsatzes. Hierdurch kann die Abgastemperatur an Betriebspunkten niedriger Motorlast ohne nennenswerten Kraftstoffmeherverbrauch angehoben werden. Mit Hilfe eines gezielten Zylindertemperaturmanagements kann dabei noch die Motorrohmission auf einem sehr geringen Niveau gehalten werden. [3]

1.4 Bekannte Konstruktionen, Verfahren und Schutzrechte, die für die Durchführung des Vorhabens benutzt wurden

Nachfolgend ist eine Auflistung der Hauptpatente zum eRocker-System die Schaeffler besitzt:

Pub.-Nr.	Title
DE 10 2017 101 792	VARIABLE VALVE DRIVE OF A COMBUSTION PISTON ENGINE
DE 10 2018 103 961	Variable valve DRIVE OF AN INTERNAL COMBUSTION PISTON ENGINE
DE 10 2017 129 419	VARIABLE VALVE TRAIN OF AN INTERNAL COMBUSTION ENGINE

1.5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Zwischen den Projektpartner des Forschungsclusters gab es während der gesamten Projektlaufzeit eine offene und ergebnisorientierte Zusammenarbeit.

Wissenschaftliche Partner:

Forschungsinstitut für Kraftfahrwesen und Fahrzeugmotoren Stuttgart (FKFS)
Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie (F-ICT)
Institut für Verbrennungskraftmaschinen und Fahrzeugantriebe (vkm), TU Darmstadt
Institut für Werkstoffkunde (IfW), TU Darmstadt
Institut für reaktive Strömungen und Messtechnik (rsm), TU Darmstadt
Institut für die Simulation reaktiver Thermo-Fluid Systeme (stfs), TU Darmstadt
Öl-Wärme-Institut an der RWTH Aachen (OWI)
Ostbayerische Technische Hochschule Regensburg, Prof. Rabl (OTH Regensburg)

Industriepartner:

AVL Deutschland GmbH (AVL)
BMW Motoren GmbH (assoziiertes Partner) (BMW)
DEUTZ AG (assoziiertes Partner) (Deutz)
DERC GmbH (DERC GmbH)
Federal Mogul Burscheid GmbH
Tec4Fuels (T4F)
MANN+HUMMEL GmbH ((MANN+HUMMEL))
Motorenfabrik Hatz GmbH & Co. KG (Hatz Diesel)
Parker Hannifin Manufacturing Germany GmbH & Co. KG (assoziiertes Partner) (Parker PTD)
Robert Bosch GmbH (Bosch)
Schaeffler Technologies AG & Co. KG
Umicore AG & Co. KG (Umicore)

Innerhalb des Forschungsclusters FC1A steht Schaeffler in sehr engem und direktem Austausch mit der TU Darmstadt, vor allem aufgrund der Entwicklung und Auslegung der Ventilhubkurven für den variablen Ventiltrieb.

2 Verwendung der Zuwendung, Ergebnisse im Vergleich zu Zielen

2.1 Verwendung der Zuwendung und des erzielten Ergebnisses im Einzelnen, mit Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele

Der Arbeitsumfang von Schaeffler erstreckte sich von der Entwicklung des eRocker-System Ventiltriebs, Anpassung des Zylinderkopfes und Ventildeckels bis hin zur Abprüfung der Komponenten.

Der Zylinderkopf, Ventildeckel sowie der Nockenwellenträger müssen für die Implementierung des eRocker-Systems konstruktiv angepasst werden. Die simulierten Ventilhube von der TU Darmstadt wurden durch Schaeffler an die Ventiltriebssdynamik und Kinematik angepasst. Dabei wurden die maximalen Beschleunigungen begrenzt und der Ventilhub entsprechend dem Know-how von Schaeffler optimiert. Damit sind eine problemlose Ventiltriebssdynamik und Haltbarkeit des Ventiltriebs, mit den uns zur Verfügung gestellten Daten und Geometrien, gewährleistet.

Auf der Einlassseite („**AP1.2.5 Erforschung funktionaler Anforderungen und geeigneten Regelalgorithmen für die Motorsteuerung**“) ist ein Miller Ventilhub vorgesehen, der durch die längere Expansionsphase ein Erreichen höherer Motorwirkungsgrade bewirkt. Außerdem werden die Ladungswechselverluste durch den Miller Ventilhub reduziert. Weiterer wichtiger Effekt durch den Miller Ventilhub ist, dass der Luftüberschuss der kalten Ansaugluft im Zylinder reduziert wird, was eine höhere Zylindertemperatur zur Folge hat.

Im nachfolgenden Diagramm sind die Ventilhube für das „**AP1.2.5 Erforschung funktionaler Anforderungen und geeigneten Regelalgorithmen für die Motorsteuerung**“ dargestellt. Der Einlassvollhub entspricht nahezu dem Serienvollhub des BMW B47 Motors, jedoch angepasst an die Schaltschlepphebel des eRocker-Systems. Das frühe Einlass schließen (Millerhub) hat eine Hubhöhe von 4,1mm (Diagramm 1):

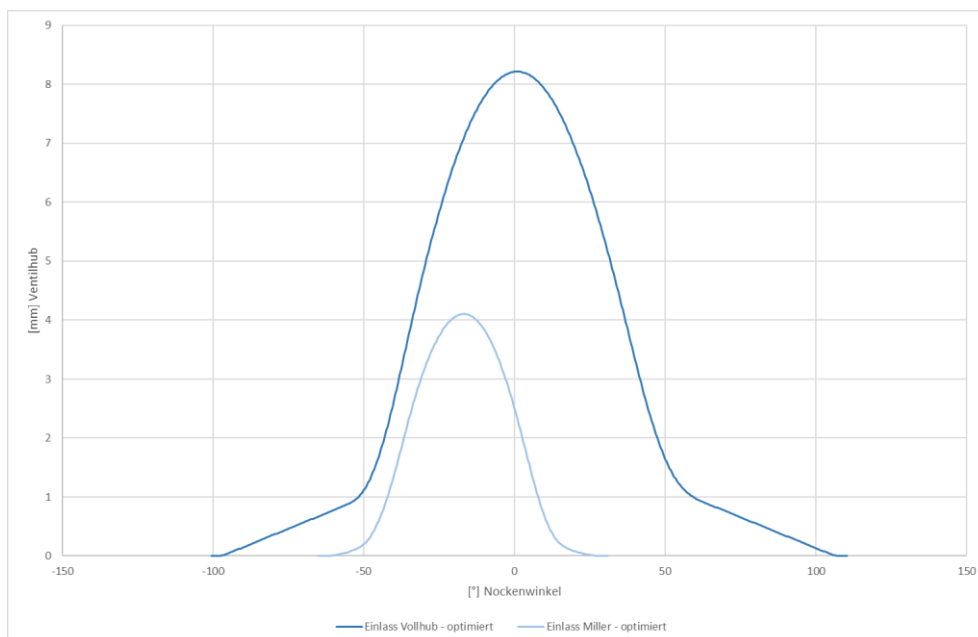


Diagramm 1: Ventilhubkurven Einlassventile

Auf der Auslassseite (**AP1.2.3 Abgastemperaturmanagement und schnelle AGR-Regelung durch variablen Ventiltrieb**) ergaben sich nach einigen Iterationsschleifen zwei unterschiedlich große Nachhübe (Diagramm 2), mit welchen eine schnelle AGR-Regelung und Abgastemperaturmanagement realisiert werden sollen.

Die bereitgestellten Mittel für die Involvierung eines Externen Dienstleisters zur Definition von Ventilhuben wurden nicht benötigt, da die Definition der Wunschhübe durch die TU Darmstadt erfolgte. Mithilfe des Schaeffler Know-hows wurden die Ventilhübe an die realen Randbedingungen angepasst.

Die Ansteuerung der Nachhübe kann getrennt voneinander erfolgen. Für die kleine interne AGR-Rate kann der kleine Nachhub mit 2,3mm geschaltet werden. Für die mittlere interne AGR-Rate wird der große Nachhub mit 4,25 mm geschaltet. Beide zusammen geschaltet erreichen die maximale interne AGR.

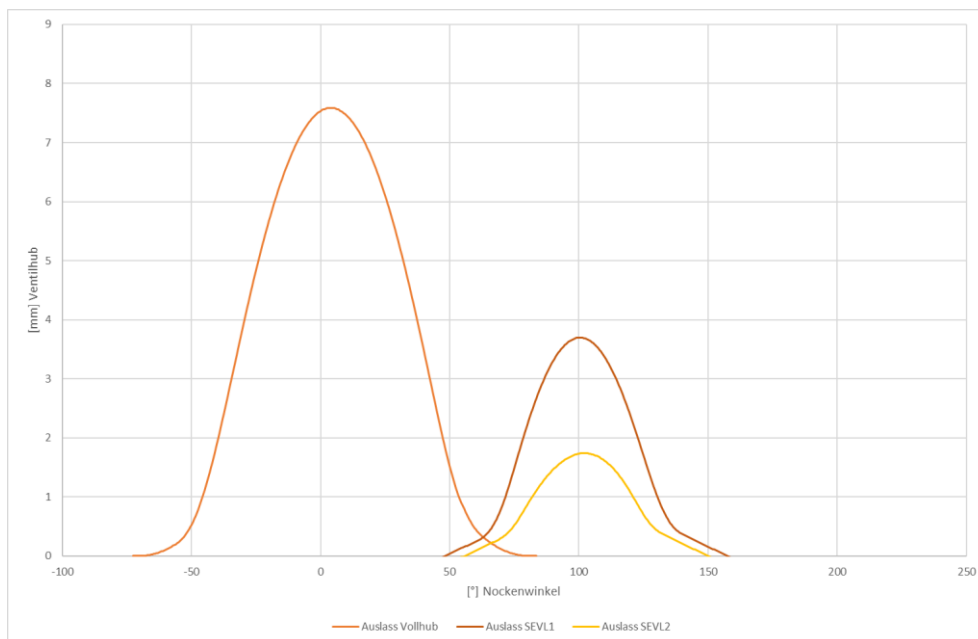


Diagramm 2: Ventilhubkurven Auslassventile

Die interne AGR kann anhand der verschiedenen Nachhübe variiert werden:

- keine interne AGR: beide Nachhübe deaktiviert
- geringe interne AGR: kleiner Nachhub aktiviert
- mittlere interne AGR: großer Nachhub aktiviert
- hohe interne AGR: beide Nachhübe aktiviert

Mithilfe des Schaeffler Wissens wurden die Nockenwellen neu ausgelegt und mit den zusätzlichen Nockenhuben für Millersteuerzeiten (Einlassseite) und Auslassdoppelhuben (Auslassseite) versehen.

Der Zylinderkopf wurde dahingehend modifiziert, dass er schaltbare Rollenschlepphebel aufnehmen kann. Die Schaltschlepphebel wurden ausgelegt und mithilfe der Schaeffler eigenen Softwaretools entwickelt und konstruiert. Die Fertigung erfolgte im Prototypenbau der Firma Schaeffler.

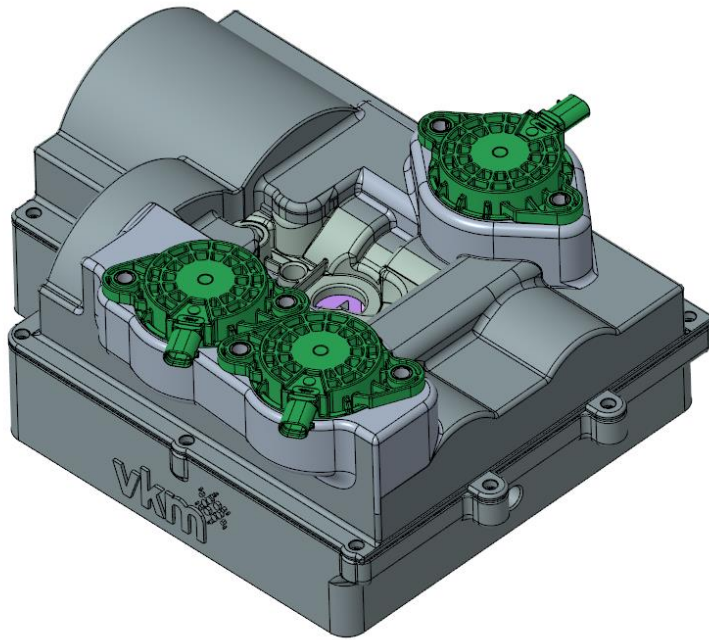


Bild 1: CAD-Modell 1-Zylinder eRocker System

Nach der Analyse und Freigabe der Ventilhübe, erfolgte die FE-Analyse und endgültige Auslegung des eRocker-Systems. Die Zeichnungserstellung erfolgte bis Ende des Jahres 2019 damit die Prototypenbeschaffung im Januar 2020 starten konnte. Die Lieferung der Komponenten erfolgte Ende März 2020.



Bild 2: Komponenten des Schaeffler eRocker-Systems

Des Weiteren sind für das eRocker-System noch weitere Bauteile notwendig, wie die Umlenkeinheit zur Betätigung der Schaltschlepphebel. Die Gestaltung der Blattfedern war aufgrund der beengten Platzverhältnisse eine große Herausforderung. Die Gestaltungsmöglichkeiten waren derart beschränkt, dass die Dauerhaltbarkeit ein Problem darstellte und verschiedene Designs validiert werden mussten. Die Validierung der Blattfedern erfolgte anhand eines extra dafür gefertigten Prüfstandes. Hier wird die Auslegung der Blattfedern auf Dauerfestigkeit überprüft. Hauptaugenmerk liegt dabei auf der Federsteifigkeit der verschiedenen Blattfedern. Diese Federsteifigkeit wird vor und nach jedem Dauerlauf bestimmt und hat einen beträchtlichen Einfluss auf die Dauerfestigkeit. Es werden außerdem verschiedene Oberflächenrauigkeiten und Wärmebehandlungen abgetestet, um diesen Einfluss für die Zukunft mit abschätzen zu können.

Der Prüfstand konnte gleichzeitig mehrere Blattfedern abtesten, um eine Reproduzierbarkeit schneller sicherzustellen:

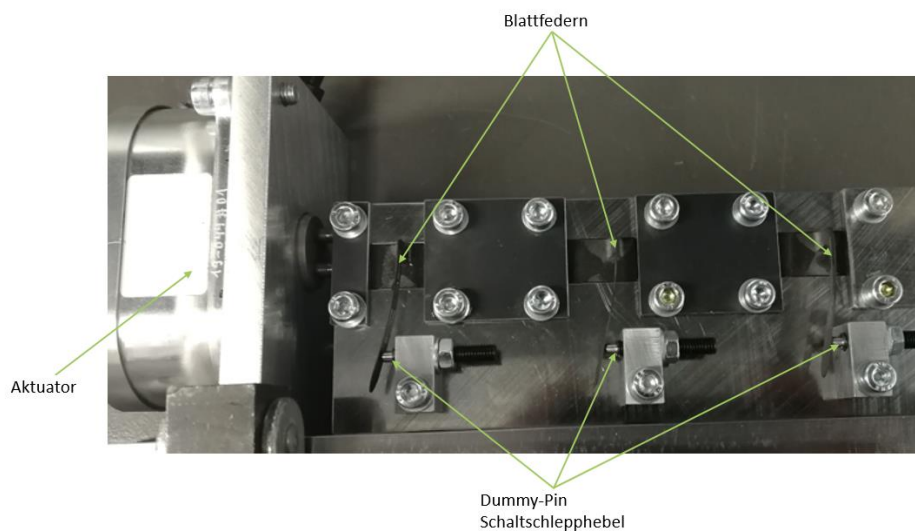


Bild 3: Blattfederprüfstand

Die Aktuatoren (dargestellt in Bild 2) zur Betätigung der schaltbaren Schlepphebel wurden anhand der geforderten Kräfte und Verstellwege ausgewählt. Hierbei konnte auf einen bei Schaeffler in Serie produzierten Aktuator zurückgegriffen werden. Hier mussten keine extra Teile entwickelt werden, was zu erheblichen Kosteneinsparungen geführt hat. Diese Serien-Aktuatoren wurden intern bestellt und eine entsprechende Ansteuerelektronik und Software entwickelt (Bild 4). Die Ansteuerung der drei Aktuatoren erfolgt dabei PWM (engl. Pulse-Width-Modulation) geregelt. Bei einem Schaltwunsch wird der entsprechende Aktuator eine kurze Zeit lang mit einem Peak-Strom angesteuert, um den Pin mit maximaler Kraft und Geschwindigkeit auszufahren. In dieser Erprobung wurden die optimalen Werte für einen schnellen Schaltvorgang und einen stabilen Haltevorgang ermittelt. Wenn der Pin ausgefahren ist, wird in den Haltestrom übergegangen. Damit wird die benötigte elektrische Leistung des eRocker-Systems auf ein Minimum reduziert. Sobald kein Schaltwunsch mehr vorhanden ist, wird dieser Haltestrom abgestellt und der Aktuatorpin wird kraftlos. Somit kann die Umlenkeinheit den Aktuatorpin wieder in die Ausgangsstellung zurückdrücken und der Schaltschlepphebel wird nicht mehr betätigt.



Bild 4: Steuergerät eRocker-System für Namosyn

Die Beschaffung des Zylinderkopfes erfolgte über den Kontakt der TU Darmstadt zur externen Nehr + Saurer GmbH Eisengießerei. Die Lieferung der bestellten Zylinderköpfe für das eRocker System wurden mit Verzögerung Ende August 2020 an Schaeffler geliefert.



Bild 5: Zylinderkopf Gußrohlinge

Die Fertigbearbeitung der beiden Zylinderkopfhälften war daraufhin zeitbestimmende Schritt im zweiten Halbjahr 2020. Die Verzögerung (entstanden durch Modellanpassung und Konvertierungsprobleme, Verzögerungen bei Gießerei) ließ den Terminplan durcheinandergeraten. Damit sind die Arbeitspakete in die kritische Urlaubszeit in Kombination mit der Kurzarbeit bei Schaeffler gefallen. Dies hat die Versuchswerkstatt vor große Herausforderungen bei der Priorisierung gestellt und die zeitaufwendige Bearbeitung immer wieder verschoben. Erst im Dezember 2020 wurden die beiden Hälften fertiggestellt und aufgebaut. Der Zusammenbau des Prüfstandes und das erste Drehen der Nockenwelle von Hand erfolgte Anfang Dezember 2020. Dabei waren erste Schaltvorgänge möglich.

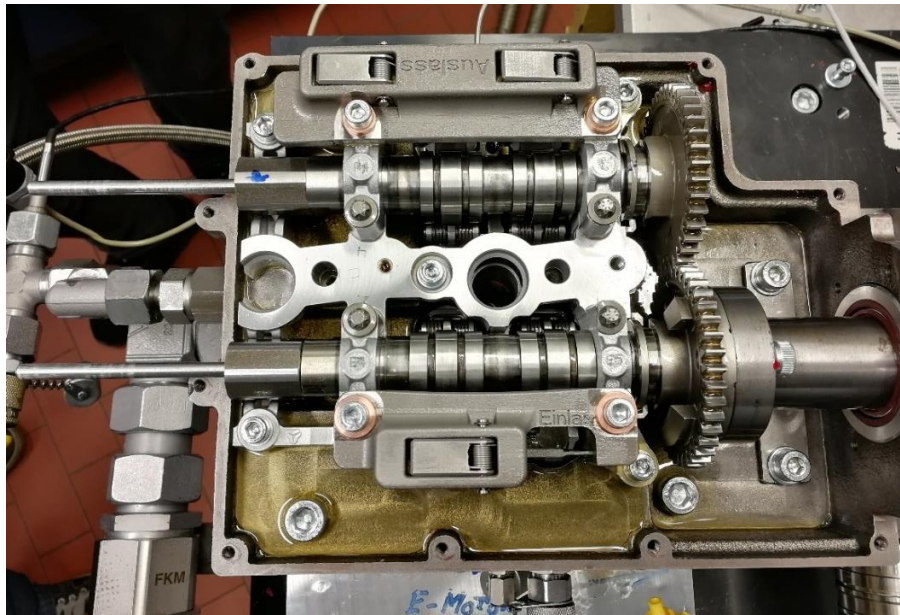


Bild 6: eRocker Zylinderkopf ohne Zylinderkopfhabe

Kurz vor der endgültigen Montage des Zylinderkopfes bei Schaeffler trat bei der TU Darmstadt ein Schaden am unteren Zylinderkopf auf. Dieser konnte in der Werkstatt an der TU Darmstadt repariert werden. Jedoch haben sich Schaeffler und TU Darmstadt darauf verständigt die Zylinderkopfunterteile zu tauschen, damit am befeuerten Prüfstand ein unbeschädigtes Neuteil zum Einsatz kommt. Für die internen Tests bei Schaeffler spielt dieser Schaden keine Rolle, da am Unterteil keine hohen Kräfte und Temperaturen auftreten. Umso wichtiger war deshalb der Tausch, dass die Arbeiten und Versuche am befeuerten 1-Zylinder-Forschungsmotor wieder weiter gehen können und keine weiteren großen Verzögerungen entstehen.

Die internen Versuche der Funktionserprobung, Kinematik und Ventiltriebndynamik wurden im Januar und Februar 2021 durchgeführt.

Versuche bei Schaeffler Technologies AG & Co. KG

Bei der Ventiltriebndynamik- und -kinematikuntersuchung waren weder die Ventilaufsetzgeschwindigkeit noch die Ventilhubverluste auffällig:

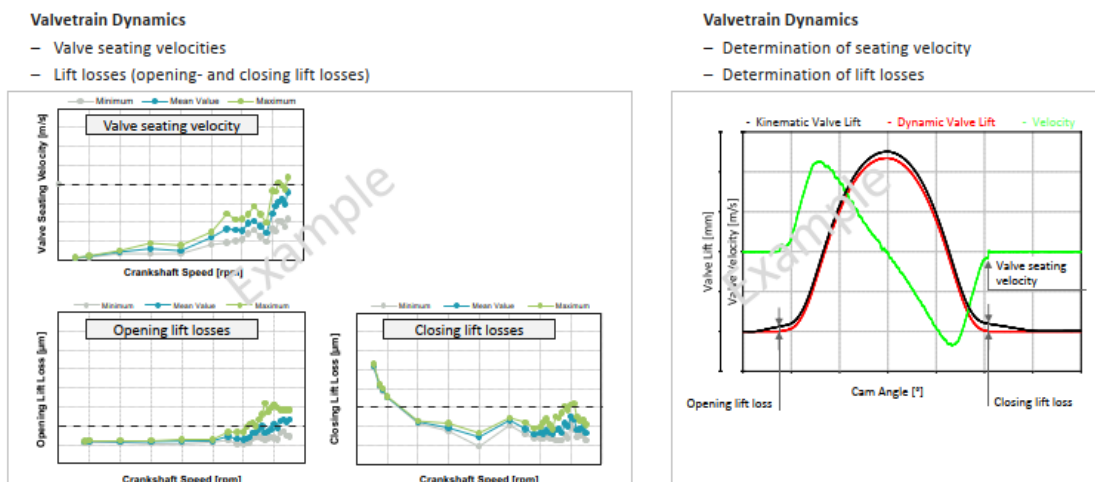


Bild 7: Beispielhafte Auswertung Ventiltriebndynamik

Hier ergab sich die Freigabe zur problemlosen Nutzung des Systems bis zur ausgelegten Nenndrehzahl: Der Millerhub und die SEVL-Hübe können bis zu einer Motordrehzahl von 2.500rpm gefahren werden. Selbst darüber hinaus ist das Ventiltriebverhalten noch sehr gut und entspricht damit der Auslegung. Ebenfalls waren die Schaltzeiten des eRocker-Systems innerhalb der erwarteten Zeitfenster.

Valvetrain Dynamics – NAMOSYN with eRocker System

		max. Speed: 2500 rpm																																				
Intake unlocked (Miller lift) / Exhaust locked (SEVL lift)	Position	Crankshaft Speed [rpm]																																				
		600	1000	1600	2000	2100	2200	2300	2400	2500	2600	2700	2800	2900	3000	3100	3200	3300	3400	3500																		
Valve Train Behavior (Limit: no critical contact loss)	IN 1.2	unlocked mode, measured max. speed 2700 rpm																starting of unwanted valve opening at base circle		-	-																	
	EX 1.1	locked mode (SEVL 1.5 mm)																																				
	EX 1.2	locked mode (SEVL 3.5 mm)																																				
Valve Seating Velocity (Limit: < 1 m/s)	IN 1.2	unlocked mode, measured max. speed 2700 rpm																-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	EX 1.1	locked mode (SEVL 1.5 mm)																relatively high seating velocities over entire measurement speed for SEVL with 1.5 mm																				
	EX 1.2	locked mode (SEVL 3.5 mm)																relatively high seating velocities over entire measurement speed for SEVL with 3.5 mm																				
Opening Lift Loss (Limit: Mean values ≤ Opening ramp height)	IN 1.2	unlocked mode, measured max. speed 2700 rpm																-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	EX 1.1	locked mode (SEVL 1.5 mm)																																				
	EX 1.2	locked mode (SEVL 3.5 mm)																																				
Closing Lift Loss (Limit: Mean values ≤ Closing ramp height)	IN 1.2	unlocked mode, measured max. speed 2700 rpm																-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	EX 1.1	locked mode (SEVL 1.5 mm)																																				
	EX 4.2	locked mode (SEVL 3.5 mm)																																				
Dynamik Faktor 1 st Acceleration Maximum	IN 1.2	unlocked mode, measured max. speed 2700 rpm																-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	EX 1.1	locked mode (SEVL 1.5 mm)																																				
	EX 4.2	locked mode (SEVL 3.5 mm)																																				

- Results within Limits
Assessment: Uncritical
- Results outside Limits
Assessment: Uncritical
- Results outside Limits
Assessment: Critical

Bild 8: Auswertung Ventiltriebsverhalten

Die Auslieferung des Systems war, in Absprache mit der TU Darmstadt, Ende März 2021. Im November 2021 wurde der Zylinderkopf von der TU-Darmstadt, auf einem „befeueren“ Motorprüfstand in Betrieb genommen und wird seitdem für die weitere Potentialermittlung des Kraftstoffes OME verwendet. Auch nach dem Projektende von Namosyn wird der Motor weiterhin bei der TU Darmstadt zur Verfügung stehen und weiter betrieben.

Betrieb am befeuerten 1-Zylinder Motor bei TU Darmstadt

Hierbei traten ungewöhnlich Geräusche des Ventiltriebes auf. Nach einer kurzen Laufzeit brachen die Sekundärschlepphebel (Gleitflächenabgriff) des schaltbaren eRocker-Systems auf der Auslassseite.



Bild 9: gebrochener Sekundärschlepphebel

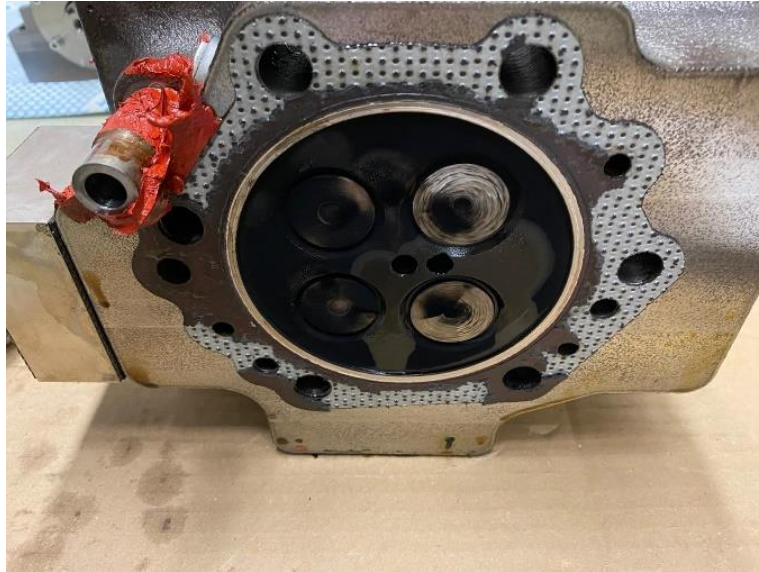


Bild 10: Einschlagspuren auf den Auslassventilen durch Kolbenkollision

Als Ursache wurde eine permanente Kolbenkollision festgestellt, die aufgrund von erhöhter Kolbenkompressionsrate (gegenüber dem Serienmotor) stattgefunden hat. Das erhöhte Verdichtungsverhältnis war Schaeffler bei der Auslegung nicht bekannt und konnte deshalb nicht berücksichtigt werden. Der Schaden wäre vermeidbar gewesen, wenn Schaeffler Kenntnis von dieser Veränderung gegenüber dem Serienmotor gehabt hätte.

Im Zuge der Fehlersuche und Diagnose sind vier Sekundärschlepphebel auf der Auslassseite gebrochen.

Der dritte und letzte Satz an schaltbaren Schlepphebel wurde im Dezember 2021 an die TU-Darmstadt ausgeliefert. Die TU-Darmstadt kümmert sich um die Instandsetzung des Forschungsmotors. Hierzu wurden Maßnahmen abgesprochen, die im Folgenden kurz erläutert werden:

- Instandsetzung der Nockenstücke (schleifen und polieren)
- Einbau neuer Auslassventile
- Einbau neuer Auslassventillager
- Das Kürzen der Auslassventile um 0,5mm auf der Zylinderrauminnenseite. (Zur Vermeidung erneuter Kolbenkollision)
- Das Verschieben der Auslasssteuerzeiten um 9° Nockenwelle nach spät. (Verstellung der Nockenwelle um ein Zahnradzahn)
- Optische Prüfung einer Kolbenkollision mit Hilfe eines Endoskops mit einem 45°-Spiegel und/oder Knetmassentest

Die Ergebnisse zum Verhalten des eRocker-Systems im befeuerten Betrieb sowie Abgas- und Temperaturmessungen mit OME sind dem Bericht der Technischen Universität Darmstadt: Institut für Verbrennungskraftmaschinen und Fahrzeugantriebe (vkm) zu entnehmen.

2.2 Wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

In folgender Auflistung sind die Nachweise zu den Schaeffler Kosten und Aufwänden:

Position	Entstandene Kosten
0823 – FE-Fremdleistungen	0 €
0837 – Personalkosten	374.773,95 €
0838 – Reisekosten	60,00 €
0850 – Sonstige unmittelbare Vorhabenskosten	30.786,95 €
0856 – Kosten innerbetrieblicher Leistungen	39.836,02 €
SUMME	445.456,92 €
Zuwendungen	178.182,77 €

Die Personalkosten beinhalten alle Entwicklungs-, Konstruktions-, Prüfstands- und Kalibrierungstätigkeiten. Sie fielen zusammen mit den geplanten innerbetrieblichen Leistungen jedoch in die durch die Covid-19-Pandemie verursachten Schließtage und Kurzarbeit, die Schaeffler und die Projektpartner dazu zwangen ihre Arbeitspakete deutlich zu straffen, um im Zeitplan zu bleiben. Die resultierenden Kosten in diesen Kategorien fielen demnach geringer aus, als zunächst geplant.

Die geplanten FE-Fremdleistungen wurden durch den Projektpartner TU-Darmstadt übernommen.

Aufgrund der COVID-19-Pandemie entfielen einige Reisen zu den Projektpartnern und zu den Namosyn-Treffen. Diese Reisevorhaben wurden durch virtuelle Meetings so weit wie möglich ersetzt.

2.3 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Ohne die Zuteilung der beantragten Zuwendung ist Schaeffler Technologies AG & Co. KG nicht in der Lage, die Entwicklungsarbeiten durchzuführen. Ohne eine Förderung würde der Aufwand für die notwendigen, im Forschungscluster durchgeführten Untersuchungen und die Optimierung der Technologie sowie die Rückführung der erzielten Ergebnisse auf die Anwendungsfälle der Partner die Leistungsfähigkeit der Projektpartner übersteigen. Die Erforschung alternativer synthetischer Kraftstoffe im Motorbetrieb wäre für alle Partner nicht möglich.

Durch die Erfahrung und das Wissen von Schaeffler Technologies AG & Co. KG im Bereich der Ventiltriebauslegung und Erprobung wurde mit geringen Mitteln das Projekt durchgeführt und erfolgreich abgeschlossen.

2.4 Während der Durchführung des Vorhabens dem ZE bekannt gewordenen Fortschritts auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

Es sind von dritter Seite keine FE-Ergebnisse bekannt geworden, die für die Durchführung des Vorhabens relevant sind.

2.5 Erfolgte oder geplante Veröffentlichungen der Ergebnisse

Von Seiten Schaeffler sind keine Veröffentlichungen aufgrund der Namosyn arbeiten erfolgt.

Abbildungsverzeichnis

Diagramm 1: Ventilhubkurven Einlassventile	5
Diagramm 2: Ventilhubkurven Auslassventile	6
Bild 1: CAD-Modell 1-Zylinder eRocker System	7
Bild 2: Komponenten des Schaeffler eRocker-Systems	7
Bild 3: Blattfederprüfstand	8
Bild 4: Steuergerät eRocker-System für Namosyn	9
Bild 5: Zylinderkopf Gußrohlinge	9
Bild 6: eRocker Zylinderkopf ohne Zylinderkopfhaube	10
Bild 7: Beispielhafte Auswertung Ventiltriebsdynamik	10
Bild 8: Auswertung Ventiltriebsverhalten	11
Bild 9: gebrochener Sekundärschlepphebel	11
Bild 10: Einschlagspuren auf den Auslassventilen durch Kolbenkollision	12

Literaturverzeichnis

[1] [NAMOSYN - Themen](#) aufgerufen am 26.09.2022

[2] [Motorsysteme | Schaeffler Deutschland](#) aufgerufen am 26.09.2022

[3] Breakthrough in Diesel Low Load Emission Compliance for EU7 and Beyond, Wiener Motorensymposium 2020 / Schaeffler Technologies AG & Co. KG | IAV GmbH