

Schlussbericht

zum Verbundvorhaben

Thema:

Methanol Standard

Zuwendungsempfänger:

TEC4FUELS GmbH

Förderkennzeichen:

19I20005I

Laufzeit:

01.08.2020 - 31.12.2022

Monat der Erstellung:

März 2023



Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages mit Mitteln des BUNDESMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT UND KLIMASCHUTZ (BMWK) über die Projektträger Bodengebundene Verkehrstechnologien (PT Bvt) | TÜV Rheinland Consulting GmbH als Projektträger des BMWK für die Fördermaßnahme Grundlagenforschung Energie unterstützt. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Autor.

Ansprechpartner:

TEC4FUELS GmbH

Kaiserstr. 100

52134 Herzogenrath

Chandra Kanth Kosuru

Tel: +49 2407 55830-18

Chandrakanth.kosuru@tec4fuels.com

Autoren:

Chandra Kanth Kosuru, Simon Eiden, Ashrith Arun, Klaus Lucka

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	V	
Tabellenverzeichnis.....	VII	
Abkürzungsverzeichnis	IX	
I	Ziele	11
I.1	Einleitung und Problemstellung	11
I.2	Aufgabenstellung.....	11
I.2.1	Übergeordnetes Ziel des Projektes	11
I.2.2	Teilziel der Firma TEC4FUELS GmbH.....	12
I.3	Stand der Technik.....	12
I.4	Zusammenarbeit mit anderen Stellen	12
II	Ablauf des Vorhabens	13
III	Ergebnisse und Zusammenarbeit mit anderen Forschungsstellen	14
III.1.1	Prüfstands Konzept und -anpassung	14
III.2	Wesentliche Ergebnisse.....	15
III.2.1	AP B.1.....	15
III.2.1.1	Prozedur und Testparameter	15
III.2.1.2	Ergebnisse.....	15
III.2.1.2.1	Fazit der Untersuchungen.....	19
III.3	AP E	21
III.4	Wichtigste Positionen des Zahlenmäßigen Nachweises	28
III.5	Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Projektarbeiten	28
III.6	Verwertung	28
III.7	Erkenntnisse von Dritten.....	28
III.8	Veröffentlichungen	28
IV	Anhang	29
IV.1	Prüfstands Konzept (Detaillierte Darstellung)	29
V	Quellenverzeichnis.....	30

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: P&ID des Prüfstands.....	14
Abbildung 2: Kavitation im Injektor.....	16
Abbildung 3: Kavitation in Drosselventile	17
Abbildung 4: Von links nach rechts zeigte sich der Einfluss von Additiven am Druckregelventil. Mit M100 (Links) wurde eine leichte Korrosion und Materialabrieb beobachtet. Die Verbesserungen durch die Additive sind auf den rechten Bildern sichtbar	18
Abbildung 5: Flammen Färbung Tests mit Borsalz	26

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Tests mit verschiedenen Varianten zur Vermeidung von Kavitation in der HDP.	16
Tabelle 2: Zusammenfassung der durchgeführten Versuche	19
Tabelle 3: Eigenschaften Methanol im Vergleich zu Benzin, Ethanol und Butanol [7,9,10]	22

Abkürzungsverzeichnis

CEC	Coordinating European Council
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
CoCoS	Complete Commonrail System (Eigenname für einen Gesamtsystemprüfstand nach dem Hardware-in-the-loop Konzept)
DIN	Deutsches Institut für Normung e. V.
DK	Dieselmotorkraftstoff
DRV	Druckregel Ventil
EE(-Strom)	Erneuerbare Energien; EE-Strom: erneuerbar erzeugter Strom
E-Fuel	„Elektro-Fuel“; Synthetisch aus EE-Strom und CO ₂ hergestellt
EN	Europäische Norm
ENIAK	Projekt der OWI GmbH mit der Langbezeichnung: Entwicklung eines nichtmotorischen Injektor-Verkockungsprüfstandes für alternative Kraftstoffe; FKZ 22000611
FKZ	Förderkennzeichen
GDI	Gasoline Direct Injection, Benzindirekteinspritzung
HDP	(Kraftstoff-) Hochdruckpumpe
KFZ	Kraftfahrzeug
MeFo	MethylFormiat
MM	Mannmonate
NO _x	Stickoxide (mono- und dioxide)
OEM	Original Equipment Manufacturers (Erstausrüster)
PKW	Personenkraftwagen
V	(hier:) Versuch

I Ziele

I.1 Einleitung und Problemstellung

Die TEC4FUELS sollte innerhalb des Arbeitspaketes agieren, das clusterübergreifend die Themen Materialverträglichkeit, Kraftstoffalterung und Kraftstoff/Schmieröl-Interaktion eingehender betrachtete. TEC4FUELS sollte hierbei im Besonderen die Kraftstoff-Material-Interaktionen im Gesamtsystem der kraftstoffführenden Bauteile untersuchen. Im Gesamtsystem können Querreaktionen auftreten, die in den Untersuchungen der Einzelkomponenten nicht auftreten oder nicht zu merklichen Problemen führen. Daher sollte ein Gesamtsystemprüfstand für Diesel eingesetzt werden, in denen der gesamte kraftstoffführende Strang eines Fahrzeugs vom Tank über die Vordruckpumpe, die Hochdruckpumpe, und das Rail bis hin zum Injektor aus Originalteilen abgebildet wird. Innerhalb dieses Prüfstands werden die Kraftstoffproben im Kreis gefördert, nach der Einspritzung also weder verbrannt noch verworfen, sondern wiederverwendet. Es war vorgesehen, einen bestehenden Prüfstand einzusetzen und für die vorliegenden Untersuchungen anzupassen. Dies betraf insbesondere Vorkehrungen zum Ex-Schutz bei der Testung für Methanol-Kraftstoffe. Für das Dieselsystem sollten bekannte Komponenten beschafft und eingesetzt werden.

I.2 Aufgabenstellung

I.2.1 Übergeordnetes Ziel des Projektes

Das Gesamtprojekt konzentriert sich auf das Förderprojekt "Innovative Fahrzeuge" und insbesondere auf "Innovative Antriebstechnologie". Die Verwendung von Methanol als Kraftstoff soll die Kraftstoffdiversifizierung fördern und durch die Verwendung von Methanol aus erneuerbaren Quellen die Emissionen im Lebenszyklus im Vergleich zu aktuellen Kraftstoffen massiv senken. Wesentlicher Bestandteil des Projektes wird daher die Optimierung der Otto- und Diesel-motorischen Verbrennungskonzepte sein. Im Rahmen des AP B wurde das Methanol auf seine Kompatibilität mit der Ausrüstung eines speziell für Methanol modifizierten Dieselsystems getestet. Die Komponenten werden so modifiziert, dass höhere Durchflussraten möglich sind, um sie mit der Leistung eines Dieselsystems vergleichbar zu halten.

Das Gesamtforschungsprojekt wird weiterhin Fragen der Kraftstoffzulassung und -normung klären, die auch vom Förderprogramm abgedeckt werden. Mit diesem Projekt soll der Weg zur Standardisierung und Markteinführung von Methanol-Kraftstoffen geebnet werden. Das Potential von Methanol-Kraftstoffen bereits mittelfristig einen signifikanten Beitrag zur Reduktion der CO₂-Emissionen zu leisten, ist als hoch zu bewerten.

I.2.2 Teilziel der Firma TEC4FUELS GmbH

Ziel für die TEC4FUELS war es, die im Projekt untersuchten Kraftstoffe hinsichtlich der Kompatibilität mit den Kraftstoff führenden Bauteilen zu untersuchen. Um potenzielle Quereffekte wie beispielsweise das Auswaschen einer Materialkomponente in einem Teil des Kraftstoff führenden Systems und die Wirkung in einem anderen Teil zu untersuchen, sollte das Gesamtsystem betrachtet werden. Ein Beispiel aus der Vergangenheit ist hierbei das Lösen von Zink-Ionen in Tankverschraubungen von Dieseltanks, die für die Tanksysteme unkritisch waren. Zink begünstigt jedoch wesentlich die Ablagerungsbildung in den Düsenlöchern von Einspritzdüsen. Das Gesamtsystem neu fasst für ein off-road System für die Untersuchung von Methanol eingesetzt werden. Ziel war es, Methanol unter verschiedenen Testbedingungen zu prüfen und auch mit Additiven im Hinblick auf seine Materialverträglichkeit und Leistung im Kraftstoffeinspritzsystem eines Off-Road-Dieselmotors zu testen.

I.3 Stand der Technik

Für die Untersuchungen zur Einsatztauglichkeit von Kraftstoffen, aber auch der Motorkomponenten wie Förderpumpen und Injektoren und selbstverständlich auch zur Erforschung von wissenschaftlichen Zusammenhängen ist es von großer Wichtigkeit, eine geeignete Prüfmethode zur Verfügung zu haben. Hierzu steht aktuell für den Automobilbereich im Wesentlichen der motorische DW10-Test (CEC F-98-08) zur Verfügung. Dieser wurde im März 2008 vom „Coordinating European Council“ (CEC) als zertifizierte Prüfmethode zur Verfügung gestellt [1]. Aktuell wird die Variante „DW10c“ (CEC-F-110-16), eingesetzt. Die Versuchsdurchführung eines DW10-Tests ist sehr teuer, unter anderem, weil die Lebensdauer des Versuchsmotors nur 600 bis 1.110 Betriebsstunden beträgt und bei jedem Versuchslauf ein kompletter Satz Injektoren sowie ca. 700 bis 1.000 l Prüfkraftstoff benötigt werden [2]. Ein weiterer Test ist der XUD9-Test (CEC F-23-01) [3]. Dieser ist kostengünstig, schnell und erprobt, verwendet jedoch einen veralteten Nebenkammerdieselmotor aus den 1990ern. Er ist dennoch nach wie vor verbreitet.

Zertifizierte oder gar genormte Einspritzsystemprüfstände vergleichbar zu dem bei der-TEC4FUELS eingesetzten CoCoS wurde im Rahmen der üblichen Informationsrecherche nicht gefunden. Als Hausmethoden werden bei OEMs und Komponentenherstellern häufig „Hydraulik-Prüfstände“ eingesetzt. Diese dann jedoch selten als Gesamtsystem. Eine Veröffentlichung zur vollständigen Abbildung inklusive Injektor Beheizung wurde ebenfalls nicht gefunden.

I.4 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

T4F ist der Leiter des Arbeitspakets für das AP B. Die Aufgaben im AP B wurden in enger Zusammenarbeit mit Liebherr durchgeführt. Die Beschaffung der Additive wurde von ASG an die Partner im AP B organisiert. Die Zusammenarbeit mit Liebherr erfolgte unter

Berücksichtigung der sich aus dem Konsortialvertrag ergebenden Geheimhaltungsverpflichtungen unter Abschluss von separaten Geheimhaltungsvereinbarungen.

Der Partner Liebherr stellte Heavy-Duty Diesel-Hochdruckpumpen, die auf den Betrieb von Methanol angepasst waren, bereit. Der Partner stellte auch Serieneinspritzequipment für ein direkteinspritzendes Dieselsystem zur Verfügung, die auch für Methanol angepasst waren. Hier war die Kompatibilität seines angepassten Systems für ihn von Interesse.

II Ablauf des Vorhabens

Nach der geplanten Beschaffung der Komponenten von Liebherr wurde der Prüfstand entsprechend der Komponentenanforderungen umgerüstet. Da der Prüfstand von einem PKW-System zu einem Off-Road-System umgebaut wurde, war der Einbau eines größeren Elektromotors für die Hochdruckpumpe und der Einbau eines gekühlten Schmierölkreislaufs für die HDP notwendig. Darüber hinaus musste die Steuerung erheblich modifiziert werden, da das HDP-System eine Zwei-Ventil-Steuerung benötigt, während das PKW-System eine Ein-Ventil-Steuerung aufweist. Darüber hinaus musste das Einspritzprofil wegen höherer Strom- und Spannungswerte geändert werden. Alle Änderungen werden zu Beginn des Projekts über einen Zeitraum von 6 - 8 Monaten durchgeführt.

Die Versuchsmatrix und die Parameterauswahl für die Versuche wurden in Absprache mit Liebherr festgelegt und die Bauteile nach den Versuchen zur Detailanalyse an Liebherr zurückgesandt. Aufgrund des unerwarteten Versagens von Bauteilen durch den Einfluss von Methanol und die Einflussparameter für dieses Verhalten auf die Komponenten zu bestimmen mussten mehr als 20 Versuche durchgeführt werden, als die ursprünglich im Projektantrag vereinbarten 15 Versuche. Dies war mit einem höheren Personalaufwand verbunden. Durch die erhöhte Versuchsanzahl war auch ein höherer Aufwand für die Vorbereitung und die Auswertung bzw. nach den Versuchen notwendig. Daher wurde Budget des Materials auf die Personalkosten umgewidmet. Die Versuche konnten jedoch innerhalb des Zeitrahmens des Projekts abgeschlossen werden. Alle Ergebnisse wurden mit den Partnern in den Konsortialsitzungen eingehend besprochen und die notwendigen Vorschläge oder Änderungen wurden berücksichtigt.

III Ergebnisse und Zusammenarbeit mit anderen Forschungsstellen

III.1.1 Prüfstands Konzept und -anpassung

Die Hardware-in-the-Loop-Methode (HiL) ist eine flexible und kostengünstige Methode zur Untersuchung der Kompatibilität von Komponenten des Kraftstoffeinspritzsystems mit dem Prüfkraftstoff. Im AP B T4F wurde die Kompatibilität von Kraftstoffkomponenten sowohl mit reinem Methanol als auch mit dessen Additivmischungen untersucht. Der Schwerpunkt der Untersuchung lag dabei auf den beiden Dieseleinspritzsystemen (PKW und LKW). Im Folgenden wird die Kompatibilität von Methanol mit den Komponenten detailliert erörtert und es werden Schlussfolgerungen gezogen.

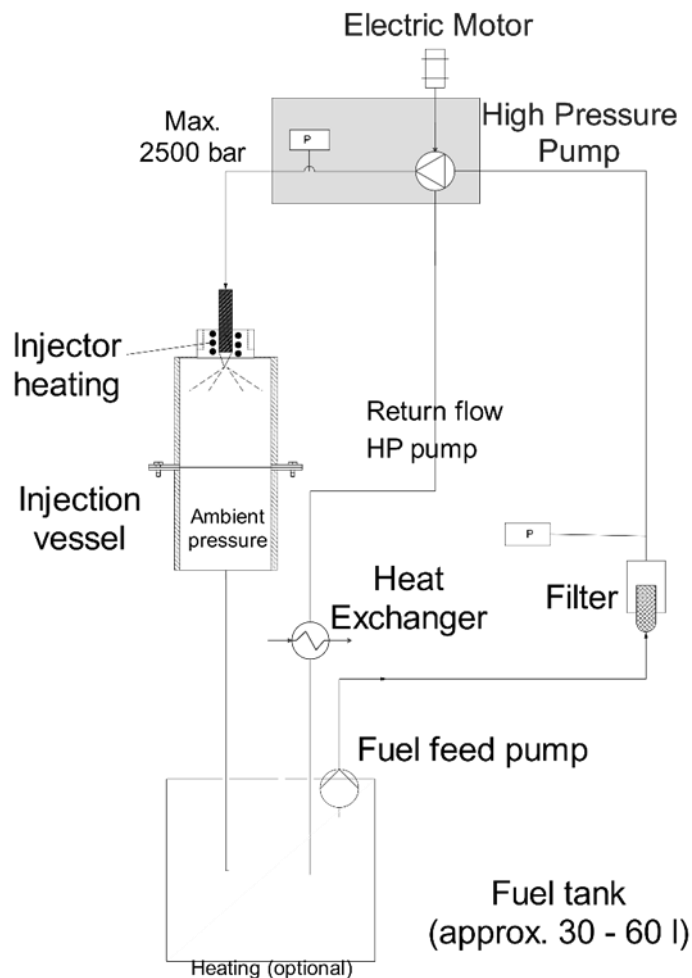


Abbildung 1: P&ID des Prüfstands

Das Prüfprinzip der Hardware-in-the-Loop-Methode besteht darin, die Komponenten des Kraftstoffeinspritzsystems in einem geschlossenen Kreislauf zu verbinden, der die herkömmliche Anwendung nachbildet. Die Verbrennung des Kraftstoffs nach der Einspritzung wird vermieden, indem der Kraftstoffnebel zum Kraftstofftank kondensiert

wird. Dies ermöglicht die Verwendung von 30 Litern Kraftstoff und die Rückführung durch die Kraftstoff führenden Komponenten. Der durch die wiederholte Durchströmung der Bauteile belastete Kraftstoff beschleunigt die Auswirkungen der Materialwechselwirkungen. Auf diese Weise lässt sich die Kompatibilität von Kraftstoff und Bauteilen in nur 100 Stunden Zyklusbetrieb ermitteln. Um den Einfluss der Verbrennungswärme auf die Einspritzdüse nachzubilden, wird die Einspritzdüse zusätzlich auf die erforderlichen, aus der Anwendung ermittelten Temperaturen aufgeheizt. Die Prüfzyklen und die Prüfparameter werden immer in Abstimmung mit den Parametern des Restbetriebs mit nur mittlerer Lastbereich ausgewählt. Abbildung 1 zeigt das P&ID-Diagramm eines HiL-Aufbaus.

III.2 Wesentliche Ergebnisse

III.2.1 AP B.1

III.2.1.1 Prozedur und Testparameter

In der aktuellen Testmatrix wurden die gewählten Parameter gemeinsam mit Liebherr abgestimmt. Die Druckbereiche bis 800 bar wurden für die Untersuchungen ausgewählt. Die Injektor-Einspritzdauer betrug 800 µs mit einer Frequenz von 17 Hz. Die Düsenspitze des Injektors wurde auf eine Temperatur von 230 °C aufgeheizt. Die Temperatur des Kraftstofftanks wurde auf 50 °C begrenzt, was eine konstante Aufheiz- und Abkühlphase nach Bedarf ermöglicht. Der zyklische Betrieb wurde zunächst mit 1,5 h ON und 45 min OFF für 20 h und gefolgt von 2 h 15 min Dauerlauf und 1,5 h Pause eingestellt. Die Testparameter und der Zyklus sind jedoch flexibel und werden je nach den erzielten Ergebnissen oder den erforderlichen Änderungen angepasst.

Komponenten und Befundung:

Die Komponenten des Dieseleinspritzsystems wurden von dem Partner Liebherr an T4F geliefert. Die Komponenten, die im Fokus stehen, sind die In-Tank-Pumpe, die Hochdruckpumpe, das Rail und der Injektor. Diese Komponenten wurden bei T4F am Hardware-in-the-Loop-Prüfstand getestet. Darüber hinaus wurden die Komponenten nach den Experimenten von T4F befundet und an Liebherr zurückgeschickt, um detaillierte Analysen durchzuführen und die Beobachtungen bezüglich der Auswirkungen des Kraftstoffs auf die Komponenten abzuleiten. Neben diesen Komponenten wurden auch die notwendigen Ausrüstungen wie Drosselventile und verschiedene Injektor Typen berücksichtigt und von T4F getestet, um ein detailliertes Bild der Wechselwirkungen zwischen Kraftstoff und Material zu erhalten.

III.2.1.2 Ergebnisse

Die Versuchsmatrix umfasst Tests von M100 und ihren Additivmischungen. Im Rahmen des Projekts wurden zwei von ASG als geeignet Additivpakete ausgewählt. Es handelt

sich um das Additiv 2.1 und das Additiv 2.4. Im jeweiligen ersten Lauf fielen die Hochdruckpumpen nach 16 h und 50 h mit Additiv 2.1 bzw. 2.4 aus. Der Ausfall ist daran zu erkennen, dass der Druck abfällt und der ursprüngliche Sollwert von 800 bar nicht erreicht wurde. Das Problem wurde am PCV (Pressure Control Valve der HDP) festgestellt und bei den Untersuchungen der Firma Liebherr an der Hochdruckpumpe auf Kavitation identifiziert. Die Liebherr-Pumpen werden mit einer 2-Ventil-Steuerung betrieben. Das erste Ventil ist das PCV, das den Druck regelt und das andere ist das VCV (Volume Control Valve), das den Volumenstrom durch den Hochdruckteil regelt. Ein Ausfall des PCV-Ventils führte dazu, dass die Pumpe nicht am erforderlichen Sollwert betrieben werden kann.

Tabelle 1: Tests mit verschiedenen Varianten zur Vermeidung von Kavitation in der HDP.

<u>Änderung</u>	<u>Resultat</u>	<u>Beobachtung</u>
Mit/ohne Additive	Nicht erfolgreich	Kavitation in PCV
Volumenstrom Reduktion durch Drehzahl Reduktion	Nicht erfolgreich	Kavitation in PCV
Druck Reduktion	Nicht erfolgreich	Kavitation in PCV
PCV mit Blindstopf ersetzt. Druck Regelung über VCV	Erfolgreich	Kavitation mit reinem Methanol

Die Tests wurden in der Folge auf reines Methanol ohne Additive umgestellt, um den Einfluss der Additive zu ermitteln. Tabelle 1 zeigt die verschiedenen Testvarianten, die zur Vermeidung von Kavitation PCV durchgeführt wurden. Die Druckregelung erfolgte allein über das VCV durch Regulierung des Volumenstroms.



Abbildung 2: Kavitation im Injektor

In der Zwischenzeit zeigte auch die Einspritzdüse eine abnormale Funktion, da sie auch im unbestromten Zustand einen hohen Durchfluss aufweist. Der Durchfluss durch die Rücklaufleitung des Injektors hat sich von 50 ml/min auf 275 ml/min erhöht. Dies führt zu einem Druckverlust, da die hohe Durchflussrate den Gegendruck für die Pumpe verringert, was sich wiederum auf den Druck im Rail auswirkt. Es wurde festgestellt, dass aufgrund von Kavitation ein Materialverschleiß auftrat, der dazu führte, dass auch die Nadel

offenbleibt und den ununterbrochenen Durchfluss verursachte. Dies scheint der Grund für den Druckabfall bei den vorherigen Versuchen zu sein. Siehe Abbildung 2.

Die Liebherr-Pumpe mit reiner VCV-Steuerung wurde für die weiteren Versuche verwendet, und es wurden verschiedene Injektoren mit unterschiedlichen Parametern getestet, um den Einfluss der Kavitation zu verringern. Die Verkürzung der Einspritzzeiten, die Erhöhung der Durchflussmengen, die Ableitung von Wärme usw. zeigte keinen verbessernden Effekt. Außerdem konnte der Kavitationseffekt aufgrund der erhöhten Durchflussraten im Laufe der Zeit festgestellt werden, da dadurch auch die Temperatur im Kraftstoff anstieg und die für die Kavitation erforderliche Energie erreicht werden konnte. Da die Liebherr-Einspritzdüsen auf den Energiebedarf ausgelegt sind, d.h. mit höheren Durchflussraten für Methanol im Vergleich zu konventionellen Dieseleinspritzdüsen, wäre ein Betrieb bei niedrigerem Drücken kontraproduktiv, sowohl für die Energieerzeugung als auch für das Spritzmuster. Daher wurde entschieden, dass die Liebherr-Einspritzdüsen nicht für den Betrieb mit reinem Methanol (in diesem Druckbereich) geeignet sind. Es wurde seitens Liebherr nicht empfohlen, diese bei niedrigerem Druck zu betreiben. Weitere Tests wurden dann mit Bosch- und Delphi-Injektoren durchgeführt, um eine geeignete Ersatzoption zu finden. Daher konzentrierten sich die Tests auf die Hochdruckpumpe hinsichtlich ihrer Haltbarkeit. Die Hochdruckpumpe zeigte ein robustes Verhalten mit der VCV-Steuerung und scheint in der Lage zu sein, den notwendigen Druck (bis 800 bar) aufzubauen.

Um die Hochdruckpumpe zu testen, muss die Pumpe jedoch gegen ein geeignetes Ventil betrieben werden, das den Gegendruck liefern kann. Die Drosselung der Hochdruckleitung am Rail, um den Kraftstoff in die Rücklaufleitung umzuleiten, hat dazu beigetragen, dass die Pumpe 100 Stunden lang getestet werden konnte. Dadurch hat sich die Temperatur in der Pumpe erheblich erhöht, was zur Beschädigung der Kolbenventile geführt hat. Es wurden verschiedene Drosselventile getestet, um den Gegendruck für die Pumpe zu erzeugen. Alle Ventile sind aufgrund von Kavitation bei 500 bar und 800 bar ausgefallen. Auch die Reduzierung der Drehzahl auf 500 U/min (um die Energie im Kraftstoff zu reduzieren und Kavitation zu vermeiden) zeigt keine Verbesserung. Eine Reihenschaltung der Drosselventile zur Reduktion der absoluten Druckdifferenz führte zu keiner Laufzeitverlängerung. Das erste Drosselventil wurde innerhalb kurzer Laufzeit geschädigt.

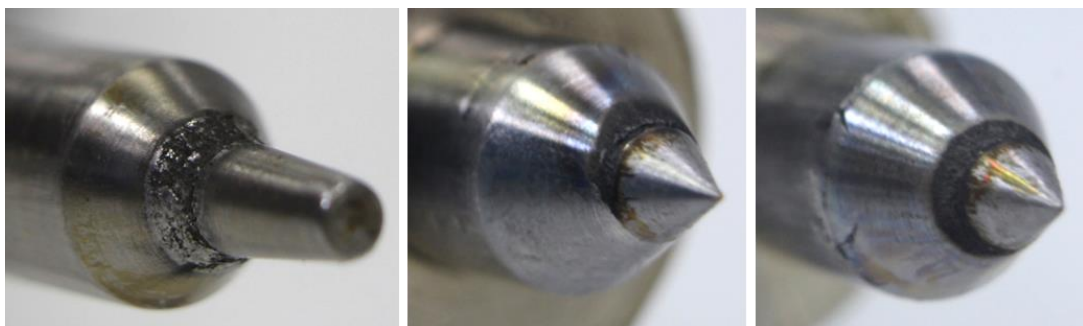


Abbildung 3: Kavitation in Drosselventile

Schließlich wurden mit einem hauseigenen Druckregelventil Versuche durchgeführt, um den anwendungstechnisch, sicheren Druckbereich für Methanol zu ermitteln. Dabei wurde festgestellt, dass der Betrieb der Komponenten mit M100 bei hohem Druck nicht zu empfehlen ist und die Auswirkungen der Kavitation in diesen Bereichen für die Komponenten kritisch sind. Um diesen Effekt entgegenzuwirken, wurde der Druck auf max. 250 bar reduziert. Bei all diesen Kurzzeit Versuchen scheint die Hochdruckpumpe mit der Volumenregelung zu funktionieren, und es wurden keine Anzeichen für einen Ausfall beobachtet.

Die Langzeit Versuche bei 250 bar wurden erneut mit reinem Methanol gestartet. Dieser Test zeigte, dass das Ventil (am hauseigenen Druckventil) nach 36 Stunden ausgefallen ist, aber die Pumpe funktionierte einwandfrei. Anschließend wurden die Versuche mit dem Additiv 2.1 und einem neuen Druckregelventil durchgeführt, und die Versuche liefen 100 Stunden lang ohne Probleme durch. Die gleichen Versuche mit der doppelten Konzentration des Additivs zeigten keine Anzeichen von Kavitation und liefen 100 Stunden lang. Um die Wiederholbarkeit zu gewährleisten, wurden die Versuche mit M100 und M100+ 1000 ppm Add zur Doppelbestimmung und für 200 h durchgeführt.



Abbildung 4: Von links nach rechts zeigte sich der Einfluss von Additiven am Druckregelventil. Mit M100 (Links) wurde eine leichte Korrosion und Materialabrieb beobachtet. Die Verbesserungen durch die Additive sind auf den rechten Bildern sichtbar

Nach Betrachtung der Bilder des DRV und in Anbetracht der Tatsache, dass das Additiv eigentlich für die Verbesserung der Schmierung und der Unterbindung der Korrosion entwickelt wurde, deutet dies auf eine kombinierte Schädigung durch Korrosion und Kavitation hin (Siehe Abbildung 4). Dies ist eine wichtige Erkenntnis aus dem Projekt und es werden weitere detaillierte Tests und Analysen empfohlen. In der nachstehenden Tabelle 2 ist die gesamte Versuchsmatrix des Projekts zusammengefasst.

Tabelle 2: Zusammenfassung der durchgeführten Versuche

Ver- such	Fuel	Betriebsparametern			Lauf- zeit von 100 h	Ausfall	Grund
		Druck	Injektor Bestro- mung Zeit	Dreh- zahl			
		[bar]	[µs]	[RPM]			
Strang 1							
S1V1	Methanol+Additiv-2.4	800	800	1000	56 h	HDP	Kavitation am PCV
S1V2	Methanol+Additiv-2.4	800	800	1000	50 h	HDP	
S1V3	Methanol ohne Additiv	800	600	1000	10 h	HDP	
S1V4	Methanol ohne Additiv	500	600	1000	13 h	Injektor	Kavitation im Injektor
S1V5	Methanol ohne Additiv	500	800	1000	5,5 h	Injektor	
S1V6	Methanol ohne Additiv	800	800	1000	10,6 h	Injektor	
S1V7	Methanol ohne Additiv	800	800	1000	7,7 h	Injektor	
S1V8	Methanol ohne Additiv	800	800	1000	22,5 h	Injektor	
S1V9	Methanol ohne Additiv	800	--	1000	100 h	Erfolg	
S1V10	Methanol ohne Additiv	800	--	1000	24 h	HDP	HDP zu heiz geworden
S1V12	Methanol ohne Additiv	250	mit DRV	1000	36h	DRV	Kavitation in DRV
S1V13	Methanol +1000ppm 2.1	250	mit DRV	1000	100 h*	Erfolg	
S1V14	Methanol +2000ppm 2.1	250	mit DRV	1000	100 h	Erfolg	
S1V15	Methanol +1000ppm 2.1	250	mit DRV	1000	200 h	Erfolg	
Strang 2							
S2V1	Methanol+Additiv-2.1	800	800	1000	16 h	HDP	Kavitation in PCV
S2V2	Methanol ohne Additiv	800	800	1000	14 h	HDP	
S2V3	Methanol ohne Additiv	800	800	1500	0 h	HDP	
S2V4	Methanol ohne Additiv	800	800	1500	22,5 h	HDP	
S2V5	Methanol ohne Additiv	800	800	1000	11 h	Injektor	Kavitation in Injektor

HDP: Hochdruck Pumpe, DRV: Druckregel Ventil, PCV: Pressure control valve in der HDP

III.2.1.2.1 Fazit der Untersuchungen

Aus den HiL-Tests geht hervor, dass das Rail und die In-Tank-Pumpe mit reinem und additiviertem Methanol problemlos funktionieren und eine hohe Kompatibilität aufweisen. Die Hochdruckpumpen sind kompatibel, und es wurde kein kritisches Versagen der O-Ringe beobachtet. Die Druckregelung musste aber auf die Volumenregelung mit VCV beschränkt werden. Außerdem war es wegen der Kavitationseffekten kritisch, das Druckregelventil in höheren Druckbereichen (größer 250 bar) zu betreiben. Da die Kavitation ein Phänomen ist, das sich auch mit Additiven nicht vermeiden lässt, müssen die Arbeitsdruckbereiche reduziert werden. Der Betrieb der Dieselkomponenten in niedrigen Druckbereich ist jedoch nach Einschätzung der Firma Liebherr nicht empfehlenswert. Daher müssen weitere Forschungsarbeiten durchgeführt und eine Reihe von kompatiblen

Komponenten für den Betrieb von Methanol in solchen Hochdruckbereichen entwickelt werden. Methanol als Kraftstoff hat ein hohes Potenzial gezeigt, aber die Kompatibilität mit der bestehenden Infrastruktur erweist sich als herausfordernd. So haben sich die eingesetzten Diesel-Einspritzdüsen als inkompatibel mit Methanol erwiesen, da sie nicht für den Betrieb bei so niedrigem Druck ausgelegt sind. In General muss die Wirkung von Methanol auf verschiedene Drosselklappen und Einspritzdüsen kritisch geprüft werden, und es werden weitere technische Entwicklungen empfohlen, um das System in höheren Druckbereichen zu betreiben. Darüber hinaus wird empfohlen, das kombinierte Phänomen von Korrosion und Kavitation im Detail weiter zu untersuchen. Dieser Einfluss ist vermutlich auch die Hauptursache dafür, dass das Dieselsystem keine hohen Drücke mit Methanol zulässt.

III.3 AP E

Die Standardisierung/Normung von Methanol als Kraftstoff soll die nötigen Anforderungen an die Methanol-Qualität identifizieren und regeln. Aufgrund der chemisch-physikalischen Eigenschaften des Methanols werden innerhalb des geplanten Normvorhabens Annahmen und Herausforderungen für den sicheren Einsatz von Methanol als Kraftstoff zugrunde gelegt. Innerhalb des Arbeitspakets E wurden vor dem Hintergrund des Normarbeitskreises verschiedene weltweit verfügbare Methanol-Standards verglichen und innerhalb des Gesamtprojekts identifizierte bzw. aus der Forschung bekannte Herausforderungen adressiert.

Die Einführung von erneuerbaren Kraftstoffen in den Transportsektor ist eines der Kernthemen heutiger Diskussionen. Insbesondere die umweltpolitischen Rahmenbedingungen spielen eine entscheidende Rolle bei der Integration zukünftiger Kraftstoffe. Methanol ist ein möglicher alternativer Kraftstoff, der ein hohes CO₂-Reduktionspotenzial ermöglicht. Methanol kann aus Erdgas, aus Biogas oder aus regenerativen Energien wie Solar- und Windenergie in Kombination mit CO₂ über PtX Verfahren hergestellt werden. Ein entscheidender Vorteil ist die Nutzung der bestehenden Infrastruktur. Methanol besitzt die chemische Struktur CH₃-OH und weist keine C-C-Bindungen auf. Der vergleichsweise hohe Sauerstoffgehalt ist ein Grund für die nahezu partikelfreien Emissionen. Für die Nutzung von Methanol als Kraftstoff muss eine normative Grundlage geschaffen werden, um die Betriebssicherheit der Anwendungstechnik sicherzustellen und die Qualität des Methanols zu garantieren.

Eigenschaften von Methanol

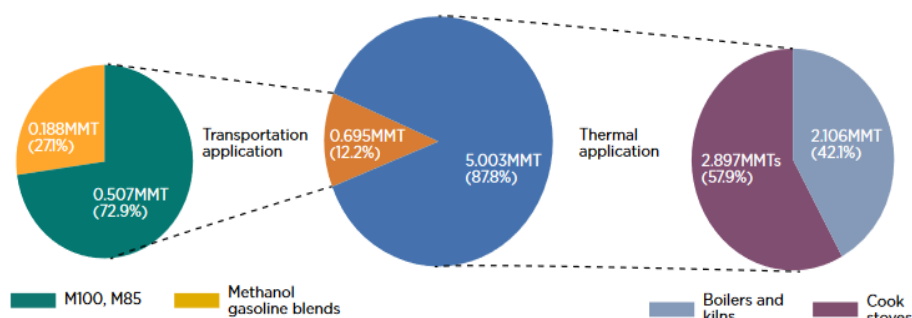
Tabelle 3 zeigt den Vergleich der chemischen Eigenschaften von Methanol mit konventionellem Benzin und auch mit dem marktbekannten Ethanol und Butanol. Der erhöhte Sauerstoffgehalt des Methanols und der Alkohole im Allgemeinen ist der Hauptgrund für ihren geringeren Energiegehalt. Allerdings trägt dieser Sauerstoffgehalt zur Verringerung der Rußemissionen bei. Darüber hinaus hat seine hohe Oktanzahl den Vorteil, dass Methanol als Oktanverstärker verwendet wird. Aber die Eigenschaft der hohen Zündverzögerung und die Probleme beim Kaltstart des Motors sind Herausforderungen, die es zu bewältigen gilt. Des Weiteren wurde vom Projektpartner FiW ein detaillierter Schwerpunkt auf die Eigenschaften, sowie die Herstellung von Methanol gelegt. Für weitere technische Hintergründe und Informationen wird daher empfohlen, deren ausführlichen Bericht zu lesen.

Tabelle 3: Eigenschaften Methanol im Vergleich zu Benzin, Ethanol und Butanol [7,9,10]

Properties	Gasoline	Methanol	Ethanol	Butanol
Chemical formula	C_8H_{15}	CH_3OH	C_2H_5OH	C_4H_9OH
Molecular weight	111.21	32.04	46.07	74.12
Oxygen content, wt%	-	49.93	34.73	21.59
Density, g/cm ³	0.737	0.792	0.785	0.811
Carbon content, wt%	86.3	37.5	52.2	64.8
Hydrogen content, wt%	24.8	12.5	13.1	13.5
Stoichiometric AFR	14.5	6.43	8.94	11.12
Lower heating value, Mj/kg	44.3	20	27	33
Heat of evaporation, kj/kg	305	1178	840	578.4
Octane number (RON+MON)/2	87	99	100	86
Vapor pressure (psi at 37.7 °C)	4.5	4.6	2	0.33
Specific gravity (kg/dm ³)	0,7430	0,7913	0,7894	0,8097
Auto-ignition temperature (°C)	246-280	470	365	345

Methanol Standards weltweit.

Im Jahr 2009 traten in ganz China nationale Kraftstoffbeimischungsnormen für M85 und M100 in Kraft, und derzeit befindet sich eine nationale M15-Norm vor Veröffentlichung. Diese Normen sowie die niedrigeren Kosten von Methanol im Vergleich zu Benzin und die Verfügbarkeit im Inland werden die Verbreitung von Methanol auf dem Markt sicherstellen. Als eines der ersten Länder, das Methanol zu 100 % in seiner Flotte eingeführt hat, zeigt die untenstehende Grafik, wie der Verbrauch von Methanol im Jahr 2019 war [9]. Methanol ist nicht nur im Verkehrssektor, sondern auch in der Heizungsindustrie ein geeigneter Kandidat, wobei M100 der bevorzugte Kandidat ist [9].



Nachfolgend unten gibt es eine Liste der Länder und deren maximal zulässigen Anteil an Methanol Mischungen, die bereits auf dem Markt zugelassen sind: (zuletzt aktualisiert 2020) [9]

- USA - Motorsport-Kraftstoff. Maximal 0,3 % in Benzinmischungen, aber weitere Normen für M51-85 sind verfügbar.

- UK - EN228 Max - 3 % erlaubt
- Island - M100-Versuche.
- Schweden - Schiffskraftstoff.
- Dänemark - Brennstoffzellen für Fahrzeuge.
- Italien - Eni/FCA M15/E5
- Ägypten - M15-Versuche.
- Indien - Fahrplan für die Methanol Wirtschaft.
- Australien - GEM-Kraftstoffe.
- China - M15 bis M100.
- Neuseeland - M3

In mehreren Ländern der Welt werden Kraftstoffe mit unterschiedlichem Volumenanteil von Methanol eingesetzt. Was das Ausmaß der Verwendung von Methanol-Kraftstoffen angeht, ist China der Spitzenreiter mit dem Einsatz von Mischungen aus Methanol und Benzin von 5% bis hin zu 100% Methanol. In den USA können dagegen Kraftstoffe mit maximal 5% Methanol und in europäischen Ländern nur mit maximal 3% Methanol verwendet werden (Ausnahme ist hier Italien mit dem Kraftstoff A20 mit 15% Methanol und 5% Ethanol) [9]

Der Methanol-Anteil im Kraftstoff ist durch verschiedene Standards in vielen Ländern geregelt. So gibt es in der Europäischen Union die Fuel Quality Directive (2009/30/EC) und den CEN-Standard (EN 228), die das Beimischen von maximal 3 vol-% von Methanol zum Benzin zulassen. In den USA gibt es hierfür mehrere Standards: die ASTM D 4814-10a, welche entweder bis zu 0,3 vol-% Methanol oder maximal 2,75 vol-% Methanol mit dem gleichen Volumen eines höheren Alkohols (z.B. Butanol) erlaubt. [10]

Der US EPA Waiver lässt bis zu 5 vol-% Methanol mit dem „Octamix“ zu, wobei mindestens 2,5 vol-% von Co-Lösungsmitteln (höhere Alkohole) enthalten sein sollten. Ebenfalls gibt es Standards für M70 bis M85 Methanol-Kraftstoff-Mischungen (ASTM D5797-07) [10], für M51 bis M85 (ASTM D5797-18) [11] und für reines Methanol (ASTM D-1152/97). In China gibt es nationale Standards für M85 (GB/T 23799-2009 [3]) und M100 (GB/T 23510-2009 [3]), welche die Verwendung von diesen Mischungen als Motorkraftstoffe erlauben, derjenige für M15 wird noch verfasst. In einigen Provinzen gibt es auch Standards für die Kraftstoffe von M5 bis hin zu M100. [10]

In Indien gibt es den Standard IS 17076:2019 für M15, M100 und MD95 (95 vol.% Methanol, 5 vol. % Dieseladditive) sowie einen für wasserfreies Methanol zur Verwendung als Mischungskomponente (IS 17075:2019). Israel hat einen Standard für Benzin 95 mit 15 vol-% Methanol (SI 90, Teil 4, 2016) und für reguläres und Premium-Benzin mit maximal 3 vol-% Methanol (SI 90, Teil 2, 2014). Italien hat den Standard NC 627-02 für den Kraftstoff A20.[11]

Beitrag Standardisierung

Für Methanol liegt eine Registrierung nach der europäischen Chemikalienverordnung REACH unter der EC-Nr.: 200-659-6 vor. Zudem ist das Produkt unter der CAS-Nr: 67-56-

1 identifiziert. In Rahmen des Projekts, ein Normungskreis für den Einsatz von Methanol in Verbrennungsmotoren wurde mit der konstituierenden Sitzung des NAK 51697 „Methanol als Kraftstoff“ zum 02.12.2022 unter Leitung des DIN-FAM begonnen. Bei ISO gibt es darüber hinaus seit einiger Zeit ein Projekt zur Normung von Methanol für Schiffsmotoren. In diesem Bereich ist allerdings zu beachten, dass z.B. Sicherheitsvorschriften den Einsatz leicht brennbarer Flüssigkeiten einschränken. Die Verwendung in Brennstoffzellen ist beim derzeitigen Stand des Antrags nicht vorgesehen, soll aber diskutiert werden.

Datensammlung des Projekts

Betrachtet man die Ergebnisse des aktuellen Vorhabens, so kann Methanol mit einigen Kompromissen und der richtigen Entwicklung in verschiedenen Bereichen des Verbrennungssystems ein potenzieller Kraftstoff der Zukunft sein. Die Ergebnisse von ASG und OWI haben eine mögliche Lösung für das aggressive Verhalten von Methanol unter Verwendung verschiedener Additive aufgezeigt. Aus den Ergebnissen von T4F geht jedoch hervor, dass die Materialkompatibilität immer noch eine Herausforderung darstellt, die bei der Auswahl der Komponenten und der weiteren Auswahl der möglichen Arbeitsparameter und Leistungsbereiche berücksichtigt werden muss.

Während des Betriebs des Einzylindermotors, am TME, mit dem sehr hohem Verdichtungsverhältnis von 19,5 kam es ab einem indizierten Mitteldruck von 18 bar wiederholt zu Einzelevents mit Spitzendrücken von mehr als 250 bar, die sich langfristig negativ auf die Haltbarkeit des Motors auswirken. Die Ursache dieser Events konnte nicht abschließend geklärt werden. Durch eine moderateres Verdichtungsverhältnis lassen sich derartige Events vermeiden, jedoch auf Kosten des Wirkungsgrads.

Die hohe Aggressivität, die schlechten Schmiereigenschaften und die hohe Verdampfungsenthalpie sowie der hohe Siedepunkt von Methanol in den Prüfstands Untersuchungen bei Ford einer Reihe von Auffälligkeiten. Einerseits durch Ausfälle verschiedener Einspritzsystemkomponenten und zum anderen durch Verdünnung bzw. Verändern der Stoffeigenschaften des Motoröls als Folge von Methanol- und Wassereintrag. Die Kaltstartuntersuchungen, die FEV durchführte, zeigen ähnlichen Effekte.

In diesem Verbundvorhaben haben keine Einspritzsystemhersteller für den PKW-teil. Diskussionen mit Herstellern offenbarten, dass keine Ressourcen für die Entwicklung Methanol resistenter Systeme geplant sind. Einspritzsystemhersteller für PKW-Anwendungen müssen im Verbund mitarbeiten, um ein robustes Einspritzsystem für einen effizienten Prüfstands betrieb während der Entwicklungsarbeit bereit zu stellen.

Die einzelnen Berichte der Projektpartnern werden ebenfalls eine ausführliche Erläuterung der oben genannten Ergebnisse und Beobachtungen enthalten.

NORMAKRAFT Factsheet Methanol

Innerhalb des Fact Sheets wurde innerhalb des NormAKraft projekts die Systemkompatibilität aktuell in der Entwicklung befindlicher, synthetischer (strombasierter) Kraftstoffe aufgezeigt, welche spezifisch anhand des Status quo zu

- REACH-Registrierung,
- Normung,
- Richtlinien und Verordnungen,
- Materialverträglichkeit,
- Performance und
- Emissionen

im Projekt NormAKraft erarbeitet wurden. Als Ergebnis stehen dazu Fact Sheets zu den synthetischen Alternativen für die klassischen flüssigen Kraftstoffe Diesel (Fischer-Tropsch-Diesel), Benzin (Methanol-to-Gasolin) und Kerosin (synthetisches paraffinisches Kerosin), für die sauerstoffhaltigen Kraftstoffstoffe: Methanol, Dimethylether, Oxiymethylenether, Dimethylcarbonat und Methylformiat und für die gasförmigen Kraftstoffe Wasserstoff, Methan und Hythan (Methan-Wasserstoff-Gemisch) sowie eine Kurzübersicht zu Ammoniak als Kraftstoff zur Verfügung.

In Zusammenfassung der Veröffentlichung, Methanol ist bereits heute ein wesentlicher Grundbaustein der chemischen Industrie. Aufgrund seiner möglichen Herstellungsrouten ist Methanol zudem als erster flüssiger Vertreter der sogenannten eFuels denkbar. Sowohl als Reinstoff als auch als Ressource zur Weiterverarbeitung bspw. zu MtG-Benzin wird Methanol zukünftig weltweit benötigt werden. Im maritimen Sektor wird Methanol bereits als Schiffskraftstoff genutzt. Die Verwendung im Straßenverkehr (motorische Verbrennung) findet derzeit hauptsächlich in China und den USA statt. Des Weiteren ist Methanol in der Direkt-Methanol-Brennstoffzelle oder über die Reformierung in Wasserstoff in der Brennstoffzelle einsetzbar.

Definition normative oder technische Anforderungen durch Prüfstand versuche und Labor Tests

Die im Rahmen des Projekts durchgeführten Tests und Analysen weisen auf einen zwingenden Bedarf an Additiven für Korrosion und Schmierfähigkeit hin. Darüber hinaus sind modifizierte Analysemethoden erforderlich, um die Qualität des Methanols zu untersuchen. Schließlich ist auch die Forderung nach einem spezifischen Verfahren zur sicheren und kontaminationsfreien Handhabung des Methanols ein wichtiger Faktor. Methanol ist ein Alkohol, der stark hygroskopisch (absorbiert Wasser aus der Atmosphäre) und mit Wasser gut mischbar ist.

Fragestellungen Gefährdungsbeurteilung und Umweltschutzaufgaben

Die besonderen Eigenschaften von Methanol, wie z. B. seine Fähigkeit, mit farblosen Flammen zu brennen, macht ein besonderer Umgang mit Methanol erforderlich. Eine unerwartete Zündung der Flamme ist progressiv und kann von den Personen in der Nähe

nicht bemerkt werden. In diesem Szenario hat T4F mit Borsalzen eine grün gefärbte Flamme erzeugt. Die Verwendung einer höheren Konzentration wird jedoch nicht empfohlen, da sie auch unerwünschte Emissionen und Ruß verursachen kann. Dies deutet jedoch auf eine mögliche Chance hin, ein absichtliches Kontaminationsverfahren unter ungeplanten Umständen als Sicherheitsmaßnahme einzusetzen. Zum Beispiel: Verwendung eines doppelwandigen Methanol Tanks, der bei einem Unfall oder Leck Borsalz in Methanol freisetzen kann, um eine grüne Flamme zu erzeugen.

Da Methanol ist eines der kleinsten Moleküle ist und aggressiv ist, birgt es außerdem die Gefahr, dass es beim Betanken nicht richtig gehandhabt wird. Aufgrund seines hohen Dampfdrucks ist es immer ein Kandidat für die Verdampfung und das Eindringen in die Atmosphäre, was das Einatmen gesundheitsschädlich macht.

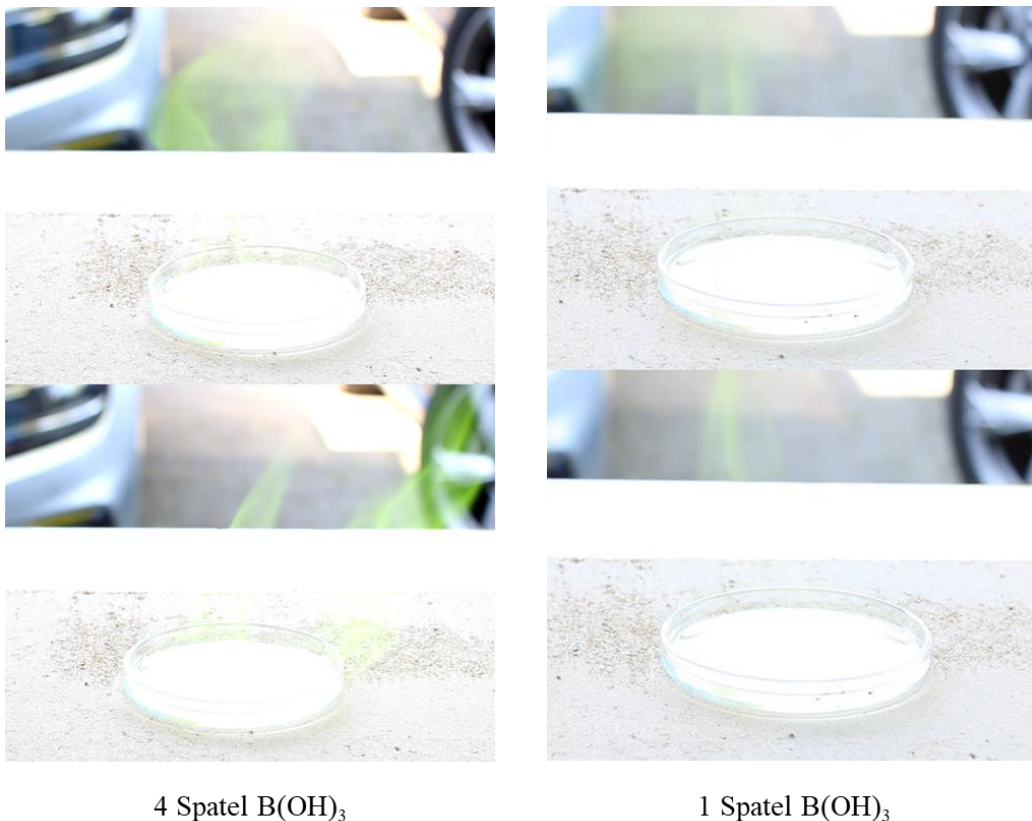


Abbildung 5: Flammen Färbung Tests mit Borsalz

Materialverträglichkeit

Kompatibilitätsprobleme in Kraftstoffkomponentensystemen nehmen mit dem Methanol Gehalt zu. Sie verursachen Schrumpfung, Verhärtung, Anschwellen oder Erweichung von weichen Kraftstoffkomponenten. Spezial formuliertes Motoröl könnte auch verwendet werden, um die Korrosionseffekte bei der Verwendung von Methanol in 4-Takt-Motoren zu verringern. [4]

Es ist nicht klar, ob herkömmliche faserverstärkte Tanks mit Methanol-Kraftstoffen kompatibel sind, wenn sie hohen Umgebungstemperaturen ausgesetzt sind. Erweichung,

Quellung, Blasenbildung und Anzeichen von Ablösung wurden bei diesem weit verbreiteten Kraftstofftank und dem Tankauskleidungsmaterial bei 50 °C beobachtet. Reaktionen bei Raumtemperatur (23 °C) waren ebenfalls feststellbar, aber weniger schwerwiegend.[5] Das Betankungssystem an den Tankstellen muss dementsprechend konzipiert werden. Tanks, Pumpen, Leitungen und Zapfhähne müssen Methanol tauglich sein. Die kalifornische Energiekommission hat die Konstruktionsmerkmale für ein Methanol kompatibles Betankungssystem ermittelt [6].

Methanol ist korrosiver als Ethanol. Sowohl Elastomere als auch Metalle sollten mit Bedacht gewählt werden, da sie sonst durch das Methanol angegriffen werden. Im kalifornischen Programm wurde nachgewiesen, dass Methanol-Fahrzeuge ohne technische Probleme effektiv konstruiert werden können. Methanol wirkt aggressiver gegen Magnesium und Aluminium, wenn die Methanol Mischungen abgeschiedenes oder gelöstes Wasser enthalten. Bei Stahl und Eisenmetallen sind die Auswirkungen gering. Die Verwendung von Additiven kann für M10-Kraftstoffe die Auswirkungen auf Stahl, Kupfer, Gusseisen und Al verringern. [7]

Entwicklung Prüfparameter

Die in den Kapiteln 2.1.1.1 und 2.1.1.2 dargestellten Ergebnisse aus dem Abschlussbericht von ASG, zeigen deutlich, dass Methanol großes Potential als Kraftstoff für den Straßenverkehr aufweist. Im Rahmen des Projektes ist es ASG gelungen, die im IMPCA-Standard für Methanol, aufgelisteten analytischen Methoden zu überprüfen, zu verbessern und neue Methoden zu etablieren. Gleichzeitig konnte ein Additiv identifiziert werden, dass zur Verbesserung von Korrosionseigenschaften und der Schmierfähigkeit von Methanol führt.

Die von ASG verbesserten und etablierten Methoden eignen sich zur Überwachung der Kraftstoffqualitäten und können als Vorlage für eine angestrebte Normung von Methanol als Kraftstoff gezeigt werden.

Emissionen (regulated/non-regulated)

In den USA wurde 1980 in Kalifornien ein Pilotprogramm zur Verringerung des bodennahen Ozons in Ballungsräumen gestartet. Die Verwendung von hohen Methanol Mischungen verringert die Emissionen der Ozonvorläufer CO, Kohlenwasserstoff und NOx. Für Ottomotoren wurde ein Dreiwegekatalysator entwickelt, der zu geringeren Emissionen und einer angemessenen Reaktivität des Methanols im Motor führt. Weitere Forschungsarbeiten sollten durchgeführt werden, um die Auswirkungen der Mischung von Methanol mit Ethanol-Benzin zu untersuchen, da die Beimischung kleiner Mengen Methanol zu einem hohen Dampfdruck führt, der Verdunstungsemissionen verursacht. In diesem Programm erfüllten die Methanol Fahrzeuge jedoch die gleichen Emissionsstandards wie vergleichbare Benzinfahrzeuge. Bei einem mittelschweren M85-Motor verwendete die EPA einen neuen Konstruktionsansatz zur Vermeidung von Rohkraftstoffemissionen. Die EPA testete 2 Katalysatoren, die von den Herstellern zur Verfügung gestellt wurden, und stellte eine Reduzierung der Formaldehydemissionen um bis zu 95 % im FTP-Zyklus fest.

III.4 Wichtigste Positionen des Zahlenmäßigen Nachweises

Die wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises sind im Erfolgskontrollbericht dargelegt.

III.5 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Projektarbeiten

Die Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Projektarbeiten sind im Erfolgskontrollbericht dargelegt.

III.6 Verwertung

Die geplante Verwertung ist im Erfolgskontrollbericht dargelegt.

III.7 Erkenntnisse von Dritten

Während der Durchführung des Vorhabens sind dem Zuwendungsempfänger keine wesentlichen Fortschritte auf dem konkreten Gebiet der Untersuchung der Kraftstoff-Material-Interaktion im Gesamtsystem der kraftstoffführenden Bauteile mittels CoCoS (Complete-Commonrail-System) Testung von anderer Stelle bekannt geworden.

III.8 Veröffentlichungen

Es erfolgte zum Projektstart eine Pressemitteilung unter dem Titel „Methanol als Kraftstoff - Forschung für die technischen Grundlagen zur Normung“, die am 29. September 2020 veröffentlicht wurde¹. Weitere Veröffentlichungen im Rahmen von Tagungen und Konferenzen waren vorgesehen, konnten aber aufgrund der pandemischen Lage nicht erfolgen. Die üblichen Veranstaltungen wurden überwiegend abgesagt. Aufgrund des Eigeninteresses ist beabsichtigt, Teile des Projektes zukünftig auf Tagungen und Konferenzen vorzustellen.





¹ <https://www.tec4fuels.com/methanol-als-kraftstoff/>

IV Anhang

IV.1 Prüfstands Konzept (Detaillierte Darstellung)

Das komplette Common-Rail-System (CoCoS) zur Kompatibilitätsbewertung von Komponenten des Diesel-Kraftstoffversorgungssystems ist in untere Tabelle dargestellt: Der Prüfstand bietet die Möglichkeit, zwei Kraftstoffe und die zugehörigen Komponenten parallel unter gleichen oder unterschiedlichen Betriebsbedingungen zu testen. Zu diesem Zweck besteht der Prüfstand aus zwei getrennten Strängen. Zur einfacheren Beschreibung kann der Prüfstand in vier Teilsysteme unterteilt werden:

- **Kraftstoffversorgungssystem:** Das Kraftstoffversorgungssystem besteht aus den zur Emulation des Realsystems notwendigen Komponenten, also dem Kraftstofftank, der elektrischen Pumpe im Tank, der Hochdruckpumpe, dem Rail, der Einspritzdüse (Injektor), dem Reaktor, den Heizelementen und dem Heizblock
- **Antriebssystem:** Das Antriebssystem besteht aus einem E-Motor, der die Hochdruckpumpe antreibt. Die Versuche mit Standard-PKW Komponenten erfolgten kraftstoffgeschmiert. Die Umrüstung auf das off-road System benötigte die Installation eines Ölkreislaufes zur Schmierung der Hochdruckpumpe. Die Schmierung erfolgte über einen separaten Pumpkreislauf.
- **Kühlungssystem:** Das Kühlsystem dient der Abkühlung des Kraftstoffs am Reaktoraustritt. Der aus der Einspritzdüse kommende Brennstoff hat eine Temperatur von etwa 100 °C und muss auf maximal 55 °C abgekühlt werden, bevor er in den Tank zurückfließt. Dies wird durch einen Wärmetauscher auf Wasserbasis bewerkstelligt. Ein Wasserkühler sorgt für eine geeignete Kühlmitteltemperatur von 25°C.
- **Mess-und-Regelungssystem:** Dieses System ist für die Messung, Aufzeichnung und Steuerung der relevanten Systemparameter zuständig. Zu den gemessenen physikalischen Größen gehören Temperatur und Druck. Die Datenerfassung in Echtzeit erfolgt über ein Siemens LOGO-Modul. Ein Temperatursignalwandler verarbeitet das Signal des Thermoelementes vom Typ K, bevor es von der Siemens LOGO erfasst wird. Auf dem Siemens-Steuermodul sind Regelsysteme implementiert, um die Temperatur der Einspritzdüsen Spitze auf 230°C und den Raildruck auf 1000 bar zu regeln. Die Parameter der Einspritzdüse, wie Frequenz und Pulsbreite, können mit dem Gerät der Firma Vemac GmbH gesteuert werden. Die Eingabe der Parameter erfolgt vor Versuchsbeginn über eine auf dem Prüfstands Rechner installierte Schnittstelle.

Kraftstoff system	
Antrieb system	
Kühlungssystem	
Messung und Regelung system	

V Quellenverzeichnis

- [1] QUIGLEY, R.; BARBOUR, R.; PANESAR, A.; ARTERS, D. V. (2009): A Review of Fuel and Additive Performance in the New CEC F-98-08 DW10 Injector Fouling Test. In: Bartz, W. J. (Hrsg.): Fuels 2009. Mineral Oil Based and Alternative Fuels. 7th International Colloquium. Esslingen, 14-15 January 2009. Ostfildern: Technische Akademie Esslingen (TAE), S. 307–314, ISBN 3-924813-75-2
- [2] HAWTHORNE, M.; ROOS, J. W.; OPENSHAW M. J. (2008): SAE Technical Paper 2008-01-1806 Use of Fuel Additives to Maintain Modern Diesel Engine Performance with Severe Test Conditions. Powertrains, Fuels and Lubricants Congress June 23-25 2008 Shanghai China. SAE International (Hrsg.). Warrendale, PA, USA, 1-7
- [3] PANESAR, A.; MARTENS, A.; JANSEN, L.; LAL, S.; RAY, D.; TWILLEY, M. (2000): SAE Technical Paper 2000-01-1921 - Development of a New Peugeot Xud9 10-Hour Cyclic Test to Evaluate the Nozzle Coking Propensity of Diesel Fuels. CEC/SAE Spring Fuels & Lubricants Meeting & Exposition, June 19-22 2000 Palais Congres Paris France; Session: Diesel Performance & Additives . SAE International (Hrsg.). Warrendale, PA, USA, 217-224
- [4] (S. SCHWARTZ, LABORATORY STUDIES OF THE EFFECTS OF METHANOL FUEL ON ENGINE OIL AND MATERIALS, IN PROCEEDINGS OF THE VI INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ALCOHOL FUELS TECHNOLOGY, VOL. I, MAY 21-25, 1984, OTTAWA, CANADA.)
- [5] [HTTPS://WWW.OSTI.GOV/SERVLETS/PURL/6672916](https://www.osti.gov/servlets/purl/6672916)
- [6] M. RAWSON, B. DOSS, D. TATE ET AL. METHANOL FUELING SYSTEM INSTALLATION AND MAINTENANCE MANUAL, REPORT P500-96-002 (1996) (AVAILABLE AT: [HTTP://WWW.ENERGYARCHIVE.CA.GOV/AFVS/INDEX.HTML](http://www.energyarchive.ca.gov/afvs/index.html))
- [7] INGAMELLS, J. AND LINDQUIST, R., "METHANOL AS A MOTOR FUEL OR A GASOLINE BLENDING COMPONENT," SAE TECHNICAL PAPER 750123, 1975,

[HTTPS://DOI.ORG/10.4271/750123](https://doi.org/10.4271/750123).LIU Z. LIU, S. XU, AND B. DENG, A STUDY OF METHANOL-GASOLINE CORROSIVITY AND ITS ANTICORROSIVE AGENT,IN PROCEEDINGS OF THE TENTH INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ALCOHOL FUELS, NOVEMBER 7-10, 1993, COLORADO SPRINGS, COLORADO, USA.

- [8] METHANOL: A SUSTAINABLE TRANSPORT FUEL FOR SI ENGINES. (2021). DEUTSCHLAND: SPRINGER SINGAPORE.
- [9] [HTTPS://WWW.IEA-AMF.ORG/CONTENT/FUEL_INFORMATION/METHANOL](https://www.iea-amf.org/content/fuel_information/methanol)
- [10] SGS INSPIRE METHANOL PROPERTIES AND USES TECHNICAL REPORT, S. 5-8.