

# Untersuchungen des ottomotorischen Betriebs mit verschiedenen Kraftstoffmischungen

Oleksiy Antoshkiv, Heinz Peter Berg, Rodion Wagner  
Lehrstuhl Verbrennungskraftmaschinen und Flugantriebe

## Kurzfassung

Die Entwicklung einer kompakten Multifuel-Power-Unit für hybride Antriebssysteme stellt eine Zielsetzung des Lehrstuhls VFA dar. Erste Vorarbeiten als Maßnahmen zur Zielerreichungen wurden am Beispiel eines Hubkolbenmotors durchgeführt. Für Dieselmotoren werden heutzutage vermehrt alternative Kraftstoffe verwendet. Besonders vorteilhaft erscheint aber die Erforschung der Verbrennung von alternativen Treibstoffen mit ottomotorischen Brennverfahren. Die Kriterien für eine sichere Verbrennung von alternativen Treibstoffen im Ottomotor werden in diesem Beitrag definiert. Weiterhin werden verschiedene Kraftstoffmischungen neben bereits bekannten E50 und E85 im Einzylinderottomotor beschrieben. Die Mischungsverhältnisse für eine normale ottomotorische Verbrennung werden bestimmt und das Leistungsverhalten des Versuchsmotors bei Volllast untersucht.

## Abstract

The development of compact Multifuel-Power-Unit for hybrid systems is one of the tasks of the chair VFA. The first work is carried out on the base of a piston engine. The alternative fuels are used for the diesel engines today. The research of alternative fuels combustion in petrol engines is very important. This article defines the criteria of efficient combustion of alternative fuels in a petrol engine. Different fuel mixtures and already known mixtures E50 and E85 will be investigated in this article in one-cylinder petrol engine. The optimal ratio of petrol-alternative-fuel-mixture, which guaranteed the normal combustion, was defined. The power behavior of the test engine has been investigated at full load.

## Einleitung

Die Verfügbarkeit und der Preis der Erdölprodukte spielen eine große Rolle in der Weltwirtschaft. Die Ölvorräte der Welt sind ungleichmäßig verteilt. Die Entwicklung der Alternativkraftstoffe wird das Risiko von politischer Erpressbarkeit verringern. Zur Zeit sind die Preise für Öl sehr hoch und sie werden weiter steigen, da die Mineralölvorräte der Welt sehr knapp geworden sind. Bei dem jetzigen Verbrauch wäre der Bedarf, aufgrund der vorhandenen und der noch geschätzten Erdölreserven, für etwa 30-40 Jahre gedeckt.

Es ist also notwendig eine Alternative zu diesem Energieträger zu finden, um diese einseitige Abhängigkeit zu minimieren. Weiterhin müssen die Wirkungsgrade der Antriebssysteme erhöht werden. Mit den technischen Möglichkeiten und unter den genannten globalen Zwängen ist beispielsweise die Hybridantriebstechnologie in der Fahrzeugtechnik eine echte Alternative zu den konventionellen Systemen. Die Automobilindustrie stellt sich diesen zukünftigen Herausforderungen. Die diesjährige IAA konnte sehr deutlich diesen Sachverhalt durch ihre Konzeptfahrzeuge der verschiedenen Hersteller belegen.

Zur Zeit gibt es keine geeignete „Multifuel Power Unit (MPU)“. Die Brennstoffzellentechnologie ist auf dem Markt noch nicht verfügbar und sie ist wie das konventionelle Hubkolbenmotor-Generator-System auch nicht „Multifuel“-tauglich. Die Automobilhersteller reden von „Multifuel“-Systemen, sie haben aber faktisch nur Lösungen für „dieselmotorische“ Brennstoffe (Pflanzenöle, Diesel...) und „ottomotorische“ Brennstoffe (Alkohole, Benzin, Flüssiggas, Methangas, Wasserstoff usw), d. h. es gibt immer noch eine strenge Aufteilung zwischen diesel- und ottomotorischen Treibstoffen auf Biobasis. In Verbindung mit den neuen Konzepten bezüglich Hybridfahrzeugen werden aber geeignete wirtschaftlich herstellbare „Multifuel“-Systeme benötigt. Es ist sinnvoll, ein Triebwerk-Generator-System zu entwickeln, in dem die Verbrennung von sämtlichen Treibstoffen bei hohem Wirkungsgrad und geringen Emissionen realisiert werden kann.

Prinzipiell würde eine Gasturbine diese Randbedingungen erfüllen. Ein niedriger spezifischer Brennstoffverbrauch (d. h. hoher Wirkungsgrad) ist aber ohne den Einsatz eines Wärmetauschers (siehe [2]) nicht realisierbar. Die motorische Verbrennung im Bereich kleinerer Leistungseinheiten stellt aber mittelfristig den einzigen Ansatz im Bereich akzeptabler Wirkungsgrade dar. Dieselmotorische Brennverfahren im Vergleich zu vorgemischten Brennverfahren (Premix-Combustion) erzeugen aber Ruß und besitzen ein geringeres Leistungsgewicht und ein größeres Bauvolumen. Bedingt durch diesen Nachteil und durch den höheren Systemaufwand (höhere Herstellungskosten) werden zur Zeit am Lehrstuhl VFA motorische „Multifuel“-Verfahren mit Vormischung untersucht.

Im Systemverbund Motor-Generator (mit reiner Drehzahlregelung) kann ein ottomotorisches Brennverfahren im entdrosselten Betrieb (auf der Vollastkennlinie) mit einem einfachen Gemischbildungssystem bei hohen Wirkungsgraden realisiert werden. Die Klopfgefahr kann durch die geeignete Wahl der Gemischbildungs- und Kompressionszeiten (z. B. durch eine höhere Drehzahl) minimiert werden. Weiterhin ist

das Motorenkonzept zur Realisierung einer geeigneten MPU entscheidend. So befasst sich der Lehrstuhl u. a. mit dem Wankelmotor, da dieser die Kompression auf der „kalten Seite (geringe Klopfgefahr)“ realisiert und eine hohe Drehgleichförmigkeit, keine oszillierenden Massenkräfte, wenig Bauteile und eine hohe Kompaktheit besitzt – die idealen Voraussetzungen für ein neuartiges MPU-System.

Erste praktische Voruntersuchungen zur Eignung eines vorgemischten Brennverfahrens wurden am Beispiel eines Hubkolbenmotors vorgenommen. Eine erste Teilaufgabe bestand darin, ein optimales Brennverfahren und eine geeignete Mischungszusammensetzung von Alternativkraftstoffen zu bestimmen, bei denen noch normale ottomotorische Verbrennung möglich ist. Hierbei ist das Leistungsverhalten des Versuchsmotors bei Volllast zu untersuchen. In diesem Beitrag werden die ersten Ergebnisse der Tests von verschiedenen Kraftstoffmischungen am Motorprüfstand dargestellt und bewertet.

### Verbrennung von alternativen Brennstoffen mit einem ottomotorischen Brennverfahren

Um die ganze Palette von alternativen Treibstoffen in einer Verbrennungskraftmaschine effektiv einsetzen zu können, sollten otto- und dieselmotorische Brennverfahren gegeneinander abgewogen werden.

Die alternativen Treibstoffe wie Biodiesel, Rapsöl, sowie unterschiedliche Destillate werden in Dieselmotoren eingesetzt. Die Voraussetzung einer sicheren dieselmotorischen Verbrennung ist die Selbstzündung des eingespritzten Kraftstoffes. Der in den heißen Brennraum des Dieselmotors eingespritzte Kraftstoff, sollte sicher gezündet und anschließend vollständig verbrannt werden. Bei der Selbstzündung spielt die Cetanzahl eine entscheidende Rolle. Die Verbrennung erfolgt in Form einer Diffusionsflamme, allerdings mit dem Nachteil der Rußbildung. Abb. 1 zeigt, dass Treibstoffe mit höherer Cetanzahl, wie z. B. Dieselmotorkraftstoffe, bei relativ niedriger Verdichtung gezündet werden können. Die nicht besonders zündwilligen Kraftstoffe, wie z. B. Benzin und alternative Treibstoffe auf Alkoholbasis, können nur bei sehr hohen Verdichtungen (über  $\epsilon=20$ ) oder Temperaturen (z. B. über eine heiße Stelle im Brennraum) gezündet werden.

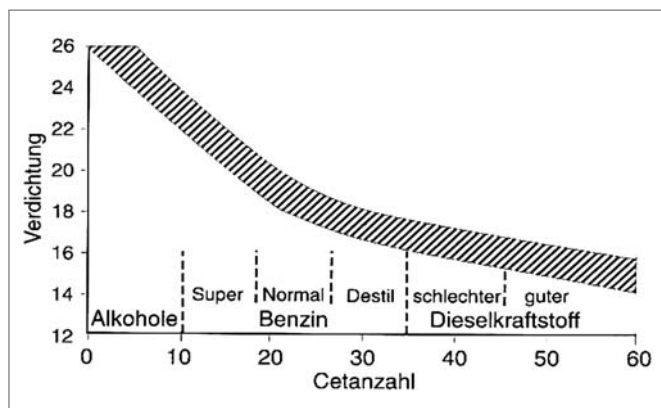


Abbildung 1: Notwendiges Verdichtungsverhältnis für die Kraftstoffe [1]

Daher ist die dieselmotorische Verbrennung von diesen Treibstoffen schwer realisierbar. Als Beispiel kann das Konzept einer homogenen Kompressionszündung (Homogeneous Charge Compression Ignition) erwähnt werden, weil bei diesem Verfahren im Teillastbereich eine Zündkerze benötigt wird. Die Realisierbarkeit der dieselmotorischen Benzinverbrennung hängt von den Zündverzugszeiten dieser Kraftstoffe ab. Der Zündverzug ist die Zeit von Einspritzbeginn in den Zylinder eines Motors bis zum tatsächlichen Brennbeginn des Luft-Kraftstoff-Gemischs.

Diese Zündverzugszeit nimmt mit steigendem Brennraumdruck und Brennraumtemperaturen ab (Abb. 2).

Gleichung 1 beschreibt die exponentielle Abhängigkeit der Zündverzugszeit von der Brennraumtemperatur.

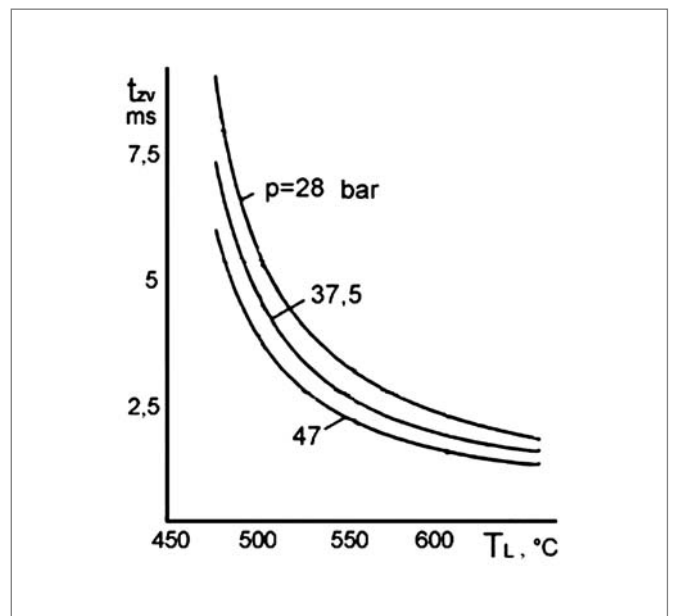


Abbildung 2: Abhängigkeit der Zündverzugszeit von der Brennraumtemperatur und dem Druck

$$t_{zv} = C_1 \cdot \frac{e^{\frac{E}{RT_2}}}{p_2^{C_2}} \quad (1)$$

- $C_1, C_2$  = Konstanten
- $T_2$  = Brennraumtemperatur
- $p_2$  = Brennraumdruck
- $R$  = Allgemeine Gaskonstante
- $E$  = Aktivierungsenergie

Weiterhin scheitert die Realisierbarkeit der Verwendung von Alkoholen als Treibstoff im Dieselmotor an den schlechten Schmierungseigenschaften dieser Kraftstoffe, da die schmierungsbedürftigen Teile des Dieseleinspritzsystems hierdurch beschädigt werden.

Schwierigkeiten mit der Schmierung und der Selbstzündung treten aber bei den Ottomotoren nicht auf. Das Kraftstoff-Luft-Gemisch wird im Ottomotor in einem einfacheren, von der Schmierung unabhängigen Kraftstoffsystem gebildet und mittels einer Zündkerze gezündet. Verschiedene Systeme zur Erzeugung eines homogenen und quasihomogenen Gemisches befinden sich z. Z. am Lehrstuhl VFA in der Erprobung. Für das ottomotorische Brennverfahren spricht die rußfreie Verbrennung von einem homogenen Kraftstoff-Luft-Gemisch. Ein weiterer Vorteil bietet das geschichtete homogene Gemischbildungsverfahren, bei welchem ebenfalls eine rußfreie Verbrennung möglich ist (sinnvoll bei Teillast).

Im Gegensatz zu den Dieselmotoren, wird der normale Verbrennungsablauf von den dieselähnlichen Kraftstoffen im Ottomotor durch die Klopfgefahr beeinträchtigt. Bei zu heißen Brennräumen und durch den weiteren Temperatur- und Druckanstieg beim Verdichten, kann sich das Luft-Kraftstoff-Gemisch selbst entzünden. Die Gase verbrennen dann mit hoher Geschwindigkeit. Temperatur und Druck steigen schlagartig an (sehr hoher Druckgradient), die Druckwellen breiten sich mit Schallgeschwindigkeit im Brennraum aus und treffen auf dessen Wände. Durch die klopfende Verbrennung wird der Motor mechanisch und thermisch sehr hoch belastet. Es treten Druckspitzen auf, die Kolben, Lager und Zylinderkopf beschädigen können.

Die Klopfgefahr ist niedriger, wenn die Brennraumtemperatur und der Druck gering sind. In Bezug auf Abb. 2 kann festgestellt werden, dass die besten Bedingungen für eine ottomotorische Verbrennung durch einen längeren Zündverzögerung realisiert werden können. Praktisch gesehen, sollte dieser Motor bei hohen Drehzahlen (Zündverzögerung wird verhältnismäßig größer als die Gemischbildungs- + Zündzeit) betrieben werden, wobei das Gemischaufbereitungssystem entsprechend konzipiert sein muss. Außerdem sollten die in Tab. 1 dargestellten Abweichungen von den Benzineigenschaften beim Gemischbildungskonzept berücksichtigt werden.

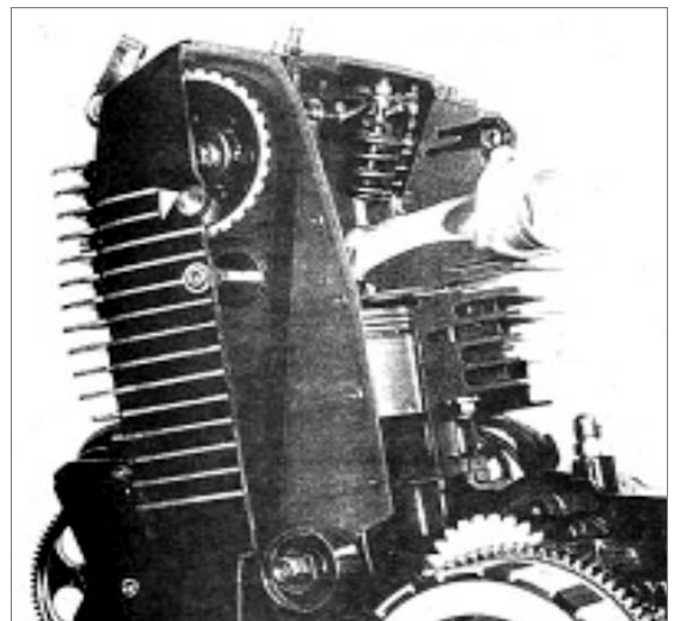
**Tabelle 1:**  
Charakterisierung der Treibstoffgruppen in Bezug auf die Motorenanwendung

	Alkohol	Benzin	Destillat	Rapsöl	Diesel
<b>Cetanzahl</b>	0-10	10-25	28-35	44-50	50-60
<b>Oktanzahl (ROZ)</b>	100-110	90-100	–	–	–
<b>Schmierungseigenschaften</b>	Schlecht	Schlecht	Vorhanden	Gut	Gut
<b>Kinematische Viskosität, mm<sup>2</sup>/s bei 20°C</b>	1,52	<1	5-15	69	2,5-5
<b>Heizwert, MJ/kg</b>	20-27	43,5	42	38	43
<b>Dichte, kg/l</b>	ca. 0,790	0,750	0,860	0,920	0,840

Die Kraftstoffviskositäten haben einen entscheidenden Einfluss auf die Konstruktion des Systems. Weiterhin müssen die Heizwerte jeweiliger Treibstoffe berücksichtigt werden. Die Effektivität der Zündung von Diesel- und Rapsöl-Luftgemischen hängt von der Aerosolqualität ab, welche die (quasi homogene) Gemischbildung beeinflusst. Eine sichere Zündung ist nur bei höheren Zündenergien möglich. Da sich alle wichtigen Eigenschaften der alternativen Kraftstoffe sehr stark von den Eigenschaften des Benzins unterscheiden, wäre es sinnvoll, die Mischungen aus unterschiedlichen Treibstoffen (im Mittel: Benzineigenschaften) in einem Verbrennungsmotor einzusetzen. Damit gleichen sich die extremen Unterschiede in den Kraftstoffeigenschaften aus. Es muss aber vorausgesetzt werden, dass solche Kraftstoffmischungen stabil sind.

### Versuchseinrichtung

Um die Tauglichkeit von alternativen Kraftstoffen und deren Mischungen für Ottomotoren beurteilen zu können, wurden Messungen an einem modifizierten Einzylindermotor durchgeführt. In diesem Versuchsaufbau kamen verschiedene Kraftstoffmischungen zum Einsatz. Die Leistungsmessung erfolgte über eine Wirbelstrombremse. Um eine mögliche klopfende Verbrennung beim Betrieb mit den jeweiligen Kraftstoffmischungen zu untersuchen, wurde das Verdichtungsverhältnis des Motors zwischen 5,2 und 9,2 variiert. Bei einem Verdichtungsverhältnis von 9,2 hat der Motor eine maximale Leistung von 27 kW bei 7600 1/min und ein maximales Drehmoment von 32 Nm bei 5500 1/min.

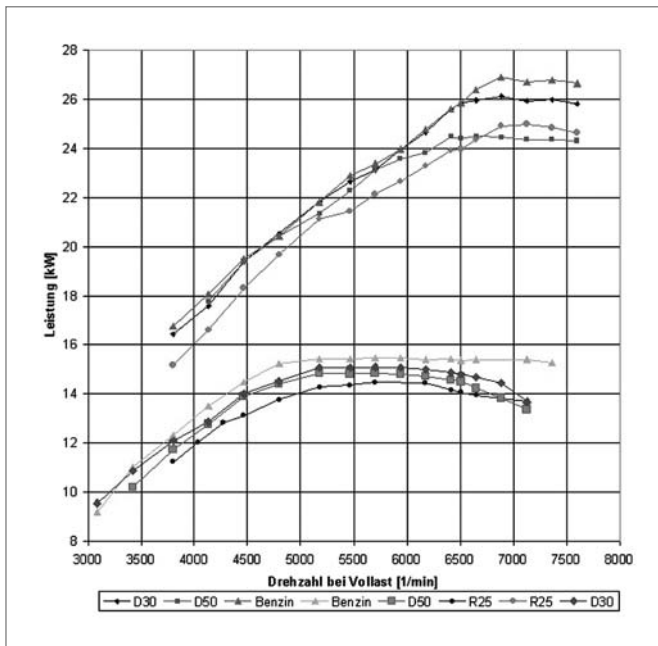


**Abbildung 3:**  
Schnittbild des 1-Zylinder-Versuchsmotors/Basis: ROTAX504

## Experimentelle Ergebnisse bei verschiedenen Kraftstoffmischungen

Die Grundidee dieses Beitrags wird dadurch bestätigt, dass die verschiedenen alternativen Kraftstoffmischungen am Motorprüfstand bei Volllast zufriedenstellende Ergebnisse zeigten.

Hierbei wurde neben dem Volllastverhalten, auch die Klopfestigkeit und das Kaltstartverhalten der jeweiligen Kraftstoffmischung betrachtet.

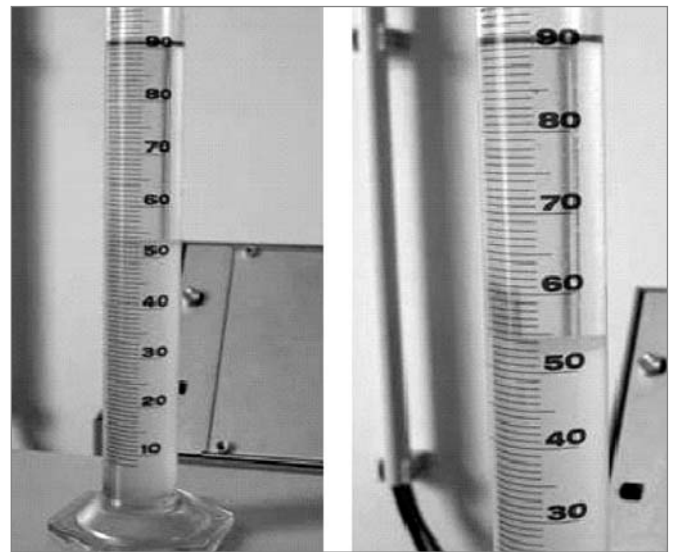


**Abbildung 4:**  
Vollastkurve verschiedener Kraftstoffmischungen im Vergleich zu Benzin  
oben: Verdichtung  $\epsilon=9,2$ ; unten: Verdichtung  $\epsilon=5,2$

Wie aus Abb. 4 ersichtlich ist, beweisen die Ergebnisse der Motorprüfstandtests, dass z. B. eine Zumischung von 50 % Diesel zum Benzin möglich ist. Die Leistung des Motors wurde hierbei etwas reduziert, insbesondere im höheren Drehzahlbereich. Das Ergebnis weist auf die Möglichkeit des Betriebs mit der Beimischung des Kraftstoffes mit kurzem Zündverzug hin.

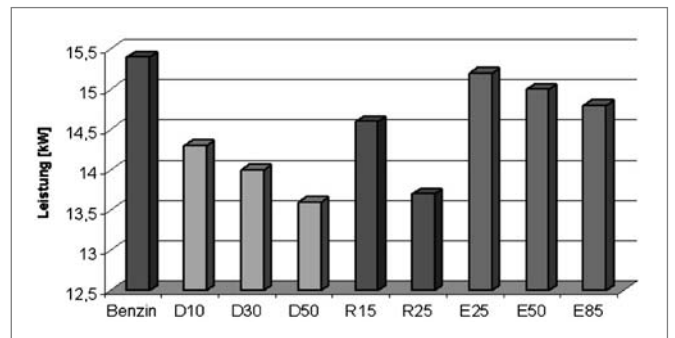
Bei den Untersuchungen mit den Rapsöl-Benzin-Mischungen konnten max. 25 % Rapsöl als Zumischung zum Benzin realisiert werden. Eine weitere Erhöhung des Rapsölanteiles konnte, bedingt durch das noch unangepasste Gemischbildungsverfahren (Viskositätsunterschied) nicht erfolgen. Rapsöl hat im Vergleich zu Dieselmotorkraftstoff eine höhere Dichte und besitzt eine ca. 10-mal so große kinematische Viskosität.

In Bezug auf das Leistungsverhalten zeigt beispielsweise D30 die besseren Resultate als die R25-Mischung. Gegenüber dem Ottokraftstoff sind geringfügige Verschlechterungen erkennbar. Das Problem für den Einsatz der Benzin-Rapsölmischung für Ottomotoren besteht im Wesentlichen darin, dass es bereits nach kürzester Zeit zur Phasentrennung im Kraftstofftank (Abb. 5) kommt.



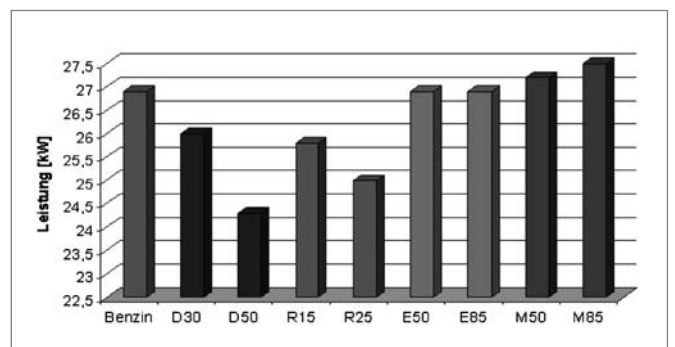
**Abbildung 5:**  
Phasentrennung bei der Benzin-Rapsöl-Mischung

Die Leistungsdaten der Motorprüfstandtests sind in den Abb. 6 und 7 zusammengefasst.



**Abbildung 6:**  
Leistung des Motors bei 7000  $\text{min}^{-1}$ , Vollast ( $\epsilon=5,2$ )

Da die Tests bei einem reduzierten Verdichtungsverhältnis keinen wesentlichen Unterschied zum Normalbetrieb des Motors zeigten, wurde das Verdichtungsverhältnis des Motors auf den Standartwert gesetzt ( $\epsilon=9,2$ ) (Abb. 7).



**Abbildung 7:**  
Leistung des Motors bei 7000  $\text{min}^{-1}$ , Vollast ( $\epsilon=9,2$ )

Die Abb. 6 und 7 bestätigen, dass durchaus Benzin-Alkohol-Mischungen eine Alternative zu herkömmlichen Ottokraftstoffen darstellen, da diese bei Volllast annähernd gleiche Werte für max. Leistung im Vergleich zum Benzin (ROZ 92) zeigen.

Bei den Benzin-Ethanolmischungen und einem Verdichtungsverhältnis  $\epsilon=5,2$  mit einem Ethanolanteil größer als 50 %, wurde eine leichte Leistungsminderung festgestellt.

**Tabelle 2:**  
 Betriebsverhalten von Kraftstoffmischungen im Vergleich zu Benzin

	D10	D30	D50	R15	R25	E50	E85	M15	M50	M85
<b>Volllast</b>	0	-	-	-	--	0	0	0	0	+
<b>Kaltstartverhalten</b>	0	-	--	-	--	0	-	0	0	-
<b>Klopfverhalten</b>	0	0	0	0	0	+	+	+	+	+
<b>Zündverhalten</b>	0	0	0	0	-	0	0	0	0	-
besser: +    gleich: 0    schlechter: -    viel schlechter: --										

Untersuchungen auf dem Motorprüfstand ergaben beispielsweise ein deutlich schlechteres Kaltstartverhalten mit folgenden Kraftstoffmischungen: D30, D50, R15, R25, M85, insbesondere D50 und R25. Um den Betrieb mit diesen Kraftstoffmischungen zu realisieren, musste der Motor betriebswarm sein.

Bei allen untersuchten Kraftstoffen wurde aber keine klopfende Verbrennung festgestellt. Bei der Zumischung der hochklopfesten Alkohole zum Benzin wurde natürlich die Klopfestigkeit der Mischung deutlich erhöht. Einen Wirkungsgradvorteil erhält man durch eine weitere Erhöhung des Verdichtungsverhältnisses.

Die zukünftige Anpassung des Gemischbildungssystems wird auch das Volllastverhalten (max. Leistung) und Zündverhalten der D- und R-Mischungen deutlich verbessern.

In der Erforschung der Gemischbildung befinden sich am Lehrstuhl VFA z. Z. neuartige Injektoren, Luftzerstäuber- und Ultraschallzerstäubersysteme.

## Zusammenfassung

In diesem Beitrag wurden verschiedene Kraftstoffmischungen untersucht, welche als Alternative zu herkömmlichem Benzin bei der ottomotorischen Verbrennung unter Berücksichtigung der Kraftstoffeigenschaften in Betracht kommen. Dargestellt ist die Möglichkeit alle bekannten flüssigen Kraftstoffe ottomotorisch gemischt zu verbrennen, wobei auf die Effizienz der Verbrennung geachtet wurde.

Die Ergebnisse am Motorprüfstand zeigten, dass die Benzin-Alkohol-Mischungen besser geeignete Kraftstoffmischungen für Ottomotoren sind.

Die R- und D-Kraftstoffmischungen sind für den Einsatz in Ottomotoren nur mit einer deutlichen Verbesserung des Gemischbildungssystems geeignet, da es beispielsweise schon bei 25 %-Rapsöl zu einem deutlichen Leistungsabfall kam. Der normale klopf- und rußfreie Motorbetrieb mit diesen Mischungen ist sowohl beim Verdichtungsverhältnis  $\epsilon=5,2$ , als auch beim Verdichtungsverhältnis  $\epsilon=9,2$  realisierbar.

Die Verwendung von Alkohol-Benzin-Kraftstoffmischungen erfordert einige Anpassungsmaßnahmen. Um die höheren Oktanzahlen der Alkohol-Benzin-Kraftstoffmischungen völlig ausnutzen zu können, muss die Verdichtung des Motors zur Wirkungsgraderhöhung gesteigert werden. Bei dem neuartigen MPU-Konzept wird der Ladedruck (via Turbolader) variabel gestaltet. Der Einsatz von Mischungen aus Benzin und Alkoholen, als Kraftstoff für Ottomotoren ist bereits weltweit verbreitet und bietet ein großes Potenzial für zukünftige Motorenentwicklungen. Die Vorteile dieses Einsatzes sind überzeugend.

Die Entwicklung eines „Multifuel“-Motors als Herzstück einer neuartigen MPU erfordert aber noch weiteren Forschungsaufwand.

Diese Studie ist eine Voruntersuchung zur Entwicklung eines ottomotorischen Brennverfahrens von unterschiedlichen Kraftstoffen und Kraftstoffmischungen. Die Ergebnisse weisen auf die wesentlichen Vorteile eines Multifuelmotors hin. Dieser Motor in Verbindung mit einem Generator (variabler Drehzahl) kann ein sehr einfacher, leichter und kompakter Antrieb für zukünftige Hybridfahrzeuge werden. Nur in Verbindung mit der Randbedingung „entdrosselt, drehzahleregelt“ wird das ottomotorische Brennverfahren in einer neuartigen MPU seine Vorteile gegenüber den dieselmotorischen Verfahren hinsichtlich Einfachheit und Umweltfreundlichkeit auskosten.

## Literatur

- [1] **MOLLENHAUER, K. (HRSG.):** Handbuch Dieselmotoren, 2.Auflage, Springer Verlag, Berlin/Heidelberg 2002
- [2] **AHLINDER, S.; BISOLD, V.; BERG, H. P.:** Hot side flow investigation on the exhaust case of a recuperated industrial gas turbine. Forum der Forschung 19/2006. BTU Cottbus



**Dipl.-Ing. Oleksiy Antoshkiv**, geboren in Lviv/Ukraine am 15.03.1975. In den Jahren 1992-1997 studierte er Kraftfahrzeugtechnik an der Staatlichen Universität „Lvivska Polytechnika“. Seit Juni 2002 ist er wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl Verbrennungskraftmaschinen und Flugantriebe der BTU Cottbus.



**Prof. Dr.-Ing. Heinz Peter Berg** wurde am 1. September 1960 in Friedberg/Hessen geboren. Er studierte von 1979 bis 1985 an der TH Darmstadt in der Fachrichtung Allgemeiner Maschinenbau. Nach dem Studium promovierte er am Fachgebiet Flugantriebe und Gasturbinen der TH Darmstadt. 1991 wechselte er zur neu gegründeten Triebwerksfirma BMW Rolls-Royce Aero Engines GmbH, die er mit aufbaute. Hier war er zunächst als Referent Prüfstandsentwicklung für die Auslegung und den Entwurf von neuen thermodynamischen sowie strömungstechnischen Testaufbauten, Komponenten- und Triebwerksprüfstände zuständig. 1992 übernahm er die Testprogrammleitung im F&E-Bereich der BMW Rolls-Royce Aero Engines GmbH, Anfang 1994 wurde er zum Leiter des aero-/thermodynamischen Komponentenversuchs (Strömungskomponenten- und Brennkammerversuch) ernannt. Ab 1994 übernahm er die Gesamtleitung der Abteilung Triebwerkskomponentenerprobung, bestehend aus den Fachgruppen Anbaugeräteerprobung und Triebwerksregelung; mechanische Bauteilerprobung; aero- und thermodynamischer Komponenterversuch. In dieser Zeit wurde das erste deutsche Ziviltriebwerk (BR 710) konzipiert, erprobt und für den Flugbetrieb zugelassen. 1995 erhielt er den Ruf an die BTU Cottbus. Seit Ende 1996 leitet er den Lehrstuhl Verbrennungskraftmaschinen und Flugantriebe mit den Forschungsgebieten Verbrennungsmotoren und Gasturbinen.



**Cand.-Ing. Rodion Wagner**, geboren in Pawlodar/Kasachstan am 21.12.1979. Er studiert an der Brandenburgischen Technischen Universität Cottbus Maschinenbau mit der Vertiefung Fahrzeug- und Verkehrstechnik. Seit Oktober 2007 ist er Diplomand bei der IAV GmbH Berlin.