

# LEITPROJEKT „VBM4MZ – VERBRENNUNGSMOTOR FÜR DIE MOBILITÄT DER ZUKUNFT“





*CO<sub>2</sub>-reduzierte, nachhaltige Kraftstoffe aus biogenen Rest- und Abfallstoffen sind ein Baustein für die Mobilität der Zukunft*

**Im Teilprojekt „Synthetische Kraftstoffe“ des Leitprojektes „Verbrennungsmotor für die Mobilität der Zukunft“ wurde die Erzeugung von nachhaltigen Kraftstoffen mit der Qualität von Normkraftstoffen aus verfügbaren Roh- und Reststoffquellen erfolgreich demonstriert.**

## **Motivation und Notwendigkeit**

Sowohl die EU als auch Deutschland haben sich ambitionierte Klimaschutzziele gesetzt: Bis 2050 sollen die jährlichen Treibhausgas-(THG)-Emissionen im Vergleich zu 1990 um 80 bis 95 Prozent sinken. Zwischenziele der EU umfassen eine verbindliche Reduktion von mindestens 40 Prozent bis 2030. Diese Zielmarke soll in einem neuen Klimaschutzgesetz auf Bundesebene auch für den Verkehrssektor verankert werden.

Verbrennungsmotoren werden trotz der Diskussionen über Emissionen und wachsende Elektromobilität auch weiter einen bedeutenden Beitrag für unsere Mobilität leisten. Obwohl Automobilhersteller konkrete Ziele zum Ausstieg aus der Verbrennertechnologie angekündigt haben, ist unsicher, ob, in welchem Umfang und in welchem Zeitraum diese am Markt umgesetzt werden können. Weiter ist zu klären, wie die verbleibenden Verbrenner in ein Konzept zur CO<sub>2</sub>-Reduktion eingebunden werden. Prognosen für 2030 gehen davon aus, dass – bei einem Bestand von dann 10 bis 13 Mio. Elektroautos – weiterhin über 70% der Fahrzeuge mit Verbrennungsmotoren ausgestattet sein werden. Hinzu kommen Schwerlast- und Langstreckenverkehr sowie Luft- und Schifffahrt – Bereiche, welche absehbar kaum oder nur teilweise elektrifiziert werden können.

## **Hochwertige, normgerechte Kraftstoffe mit hoher Energiedichte werden daher auch zukünftig unverzichtbar sein**

Um dennoch eine signifikante Reduzierung der CO<sub>2</sub>-Emissionen zu erreichen, müssen Flüssigkraftstoffe nachhaltig erzeugt werden. Hier spielen verschiedene Technologien zusammen, indem unterschiedliche Energieträger koexistieren werden: Erneuerbare synthetische Kraftstoffe (Biokraftstoffe, E-Fuels), Elektromobilität, Wasserstofftechnologie und Hybridtechnologien müssen sich sinnvoll und komplementär ergänzen.

Gerade bei kurz- und mittelfristigen Lösungen müssen Wege gefunden werden, reife Technologien und vorhandene, nachhaltige Rohstoffe zu nutzen, um normgerechte drop-in Kraftstoffe zur Verfügung zu stellen. Auf Seiten der Raffinerie besteht hier mit Hinblick auf die Neufassung der Erneuerbare-Energien-Richtlinie (RED II) zusätzlich Handlungsdruck, da eine Quote von fortschrittlichen Kraftstoffen von 3,5 % bis 2030 genannt ist. Solche marktreifen, kurzfristigen Lösungen mit einem relevanten Einfluss auf Emissionen stellen heute allein Biokraftstoffe dar.



*Anlagentechnologien zur wirtschaftlichen Herstellung synthetischer Kraftstoffe sind in der Entwicklung*

## **Musterherstellung fortschrittlicher alternativer Kraftstoffe**

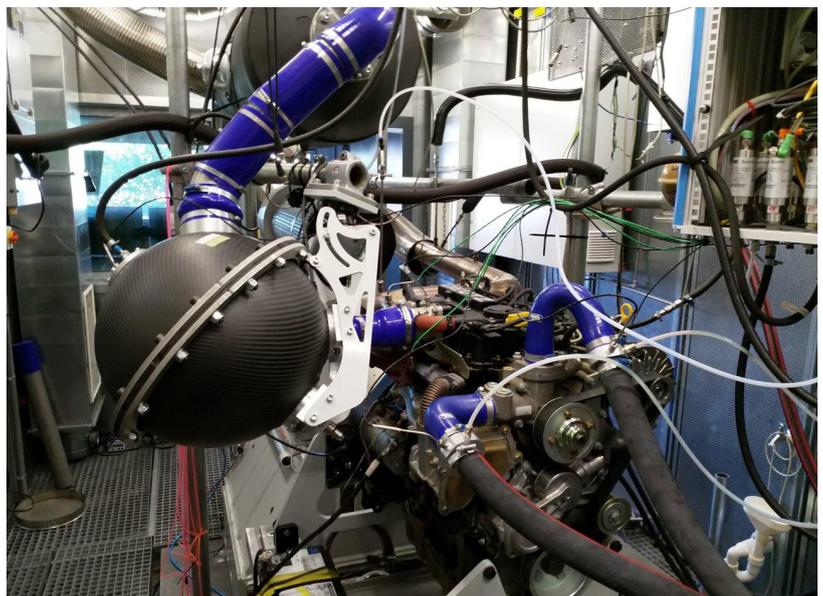
Im Teilprojekt Synthetische Kraftstoffe wurden zwei Lösungsmöglichkeiten aufgezeigt und die Herstellung von jeweils 100 l Diesel- und Benzinmischungen fortschrittlicher Kraftstoffe mittels zweier beim Fraunhofer UMSICHT entwickelter Verfahren demonstriert. Als Rohstoffe sind im TCR®-Verfahren (Thermo-Catalytic-Reforming) biogene Reststoffe wie Klärschlamm oder Gärreste, beim Alcohols-to-Fuels-Prozess (A2F) die Alkohole Ethanol und Methanol sowie Aceton oder Isopropanol eingesetzt worden.

Die Qualität der Kraftstoffe wurde anschließend durch Motorentests am Fraunhofer ICT und durch Analysen in externen Prüflaboren validiert. Der Prüfstand ist geeignet für präzise Emission- und Leistungsvermessung von Verbrennungsmotoren und ist mit notwendiger Abgasmesstechnik, Prozessluftkonditionierung, Belastungseinheit und hochpräziser Kraftstoffmessanlage ausgestattet. Es wurden Rohmotoremissionen gemessen und mit Werten aus Tests mit fossilem Diesel verglichen, um somit den Einfluss auf die Verbrennung, bei unveränderten Motorbetriebsparametern, zu analysieren. Als Prüfzyklus in den Motortest wurde der NRSC (Non Road Stationary Cycle) genutzt. Dieser Zyklus ist Teil der Zertifizierungsprüfung für die Zulassung der Off-Highway Motoren in der Abgasemissionsstufe EU I-IV bzw. EPA Tier 1-4.

Bei den Tests und den Analysen wurde gezeigt, dass die Performance der hergestellten Kraftstoffe analog den fossilen Kraftstoffen ist und lediglich bei den Abgasemissionen leichte Unterschiede festzustellen sind. Bei NO<sub>x</sub> ist eine leichte Erhöhung; bei CO, CH und CO<sub>2</sub> sind bereits bei dem genutzten 25 % Blend Verbesserung, also ein Rückgang der Emissionen, erkennbar.

Folglich sind die Ergebnisse sehr vielversprechend für die Anwendung von erneuerbaren Kraftstoffen in modernen Verbrennungsmotoren. Im Gegensatz zu anderen Alternativen wie Ethanol oder Biodiesel können sie unbegrenzt fossilem Kraftstoff beigemischt werden, es gibt hier keine Blend-Grenze.

Die derzeitigen Herstellungskosten liegen in einem Bereich von etwa 1-1,5 € pro Liter, abhängig von der Kraftstoffsorte und den damit verbundenen zusätzlichen Aufarbeitungsschritten. Eine weitere Kostensenkung durch die Hochskalierung der Technologien ist perspektivisch absehbar. Damit liegt man zwar etwas oberhalb der Kosten von Ethanol und Biodiesel (ca. 75 ct/l Kraftstoff-äquivalent) aber dennoch deutlich unterhalb der Kosten für andere hochwertige alternative Kraftstoffe bspw. aus PtX Verfahren (2-5 €/l).



*Motorenteststand zur Emissions- und Leistungsvermessung*



*Vom Reststoff zum Kraftstoff: Die Integration der neuen Technologien in die industriellen Prozessketten steht im Fokus der Forschung*

## Treibhausgasbilanzierung

Eine vergleichende Treibhausgasbilanzierung wurde durchgeführt, um den CO<sub>2</sub>-Fußabdruck von synthetischen Kraftstoffen aus den A2F- und TCR®-Verfahren zu ermitteln. Die untersuchten Rohstoffquellen für den A2F-Prozess sind Bioethanol aus Zuckerrohr, Zuckerrüben, Weizen und Mais. Die untersuchte Rohstoffquelle für das TCR®-Verfahren ist Klärschlamm. Die Ökobilanz für den A2F-Prozess wurde nach den ISO-Normen DIN EN ISO14040/44 und mit der kommerziellen Software GaBi ts (Version 9.2) modelliert. Für den TCR®-Prozess wurde die Bilanzierung der THG-Emissionen auf Basis der „Methode zur Berechnung der durch die Verwendung von Biokraftstoffen erzielten Treibhausgasminderung anhand tatsächlicher Werte“ durchgeführt („Verordnung über Anforderungen an eine nachhaltige Herstellung von Biokraftstoffen“ (Biokraft-NachV), § 8 Abs. 2).

Die Systemgrenze des A2F-Verfahrens entspricht einer sogenannten „Well-to-Wheel-Analyse“, also von der Extraktion der Rohstoffe bis einschließlich der Verbrennung der Kraftstoffe im Motor. Gemäß der Erneuerbaren Energie Richtlinie wurden anfallende Koppelprodukte energetisch allokiert. Als Benchmark wurde der Referenzwert für fossile Treibstoffe herangezogen, der gemäß RED-II 94 g CO<sub>2</sub>-Äq./MJ beträgt.

Im Fall des TCR®-Verfahrens wurde zur Berücksichtigung von Koppelprodukten eine Systemerweiterung angewendet, so dass sich durch die Einlagerung der Kohle deutliche Treibhausgaseinsparungen ergeben.

Synthetische Kraftstoffe auf Basis von Bioethanol aus nachwachsenden Rohstoffen führen bis zu 21 % Treibhausgaseinsparungen. Da die Herstellung der synthetischen fossil-ähnlichen Kraftstoffe nach den besten verfügbaren Technologien (BVT) berechnet wird, könnten zukünftige Treibhausgaseinsparungen bei der Acetonherstellung (z.B. biobasiertes Aceton) und der Wasserstoffherstellung (z.B. aus Elektrolyse) erzielt werden.

Die Kraftstoffe aus dem TCR®-Verfahren können bei der Nutzung von Abfällen – im Berechnungsbeispiel für Klärschlamm – und der teilweisen Sequestrierung von Kohlenstoff CO<sub>2</sub>-neutral hergestellt werden.

## Weiterführende Entwicklungsaktivitäten

Im Projekt wurden Kontakte zu Unternehmen der Mineralölbranche und Automobilherstellern aufgebaut und vertieft. Grundsätzlich besteht dort großes Interesse an den Technologien. Die wesentlichen offenen Entwicklungspunkte aus Sicht der Unternehmen liegen in einer Verbreiterung der Rohstoffbasis sowie dem Bedienen aller Kraftstoffarten. Insbesondere Schiffsdiesel und Jetfuel werden als Schlüsselprodukte angesehen, da hier keine Substitutionsmöglichkeiten existieren.

## Kundennutzen: Emissionen reduzieren - Qualität verbessern

Die im Leitprojekt nachgewiesenen Eigenschaften der erneuerbaren Kraftstoffe sollen in einem konsequenten nächsten Entwicklungsschritt im industriellen Großmaßstab angegangen werden. Um eine wirtschaftliche Herstellung der Biokraftstoffe aus den genannten Ausgangsstoffen erzeugen zu können, ist die direkte Schnittstelle zu bestehenden Raffinerien essentiell. Die drop-in-Fähigkeit der erzeugten Rohprodukte aus „Alcohol-to-fuel“ und „TCR®“ wurde im Rahmen des Projektes nachgewiesen. Nun gilt es in direkter Kooperation mit den Partnern der Mineralölindustrie eine Basis für kurzfristige Anwendungen zu schaffen.

Da die fossilen Raffinerien komplexe Infrastrukturen betreiben, besteht die Notwendigkeit die drop-in-Fähigkeit der biogenen Produkte fundiert und unter verschiedenen Gesichtspunkten zu beleuchten. Die Institute UMSICHT, IGB und ICT wollen diesen Schritt gemeinsam gehen und in diesem Rahmen die kooperierenden Raffinerien zu überzeugen in die neuen Technologien zu investieren und somit einen entscheidenden Baustein in die nachhaltige Mobilität der Zukunft zu liefern.

Das Konsortium hat im Leitprojekt die Kontakte in die Industrie erweitert und vertieft. Es verfügt bereits über Kooperationen mit der Automobilindustrie (BMW, Audi, VW), der Mineralölwirtschaft (Gunvor, OMV, PCK) und dem Sektor Abfallwirtschaft (beispielsweise kommunale Entsorger und Veolia) bezüglich der Rohstoffverfügbarkeit.

**Fraunhofer-Institut für  
Umwelt-, Sicherheits- und  
Energietechnik UMSICHT**

Standort Oberhausen und  
Institutsteil Sulzbach-Rosenberg

**Abteilungsleiter Energietechnik**

Dr.-Ing. Robert Daschner  
Telefon +49 9661 8155-410  
robert.daschner@umsicht.fraunhofer.de

[www.umsicht-suro.fraunhofer.de](http://www.umsicht-suro.fraunhofer.de)

**Abteilungsleiter Bioraffinerie und  
Biokraftstoffe**

Dr.-Ing. Andreas Menne  
Telefon +49 208 8598-1172  
andreas.menne@umsicht.fraunhofer.de

[www.umsicht.fraunhofer.de](http://www.umsicht.fraunhofer.de)