



Verbundvorhaben  
Nachhaltiges Kerosin aus Methanol  
Methanol to Sustainable Aviation Fuel (M2SAF)  
Förderkennzeichen 16RK14001A-E

Gemeinsamer Kurzbericht der Projektpartner



Inhaltsverzeichnis

<b>Impressum</b> .....	2
<b>1. Zusammenfassung</b> .....	4
<b>2. Arbeiten der Projektpartner</b> .....	5



## Impressum

### Autoren/Autorinnen

Maximilian Jennerwein  
Kirsten Braunsmann  
Alexander Higelin  
Dina Zakgeym  
Georg Eckel  
Patrick Oßwald  
Jasmin Schmittner  
Ralph-Uwe Dietrich  
Simon Maier  
Tobias Kimpel  
Harald Kömpel  
Thomas Streich

### Kooperationspartner

ASG Analytik-Service AG  
BASF SE  
BASF SE  
BASF SE  
DLR-VT  
DLR-VT  
DLR-VT  
DLR-TT  
DLR-TT  
tk Uhde GmbH  
tk Uhde GmbH  
tk Uhde GmbH

### ORCID

0009-0002-4289-1633  
0009-0002-8915-1528  
0009-0006-4752-9050  
0000-0001-6160-6442  
0000-0002-6922-8279  
0000-0002-2257-2988  
0009-0003-3052-7479  
0000-0001-9770-4810  
0000-0001-8660-0063  
0009-0008-6517-784X  
0009-0004-6150-7785  
0009-0006-2023-0585

### Kooperationspartner

ASG Analytik-Service AG  
Trentiner Ring 30  
D-86356 Neusäß

BASF SE  
Carl-Bosch-Str. 38,  
D-67056 Ludwigshafen

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR)  
Institut für Technische Thermodynamik (TT)  
Institut für Verbrennungstechnik (VT)  
Pfaffenwaldring 38-40  
D-70569 Stuttgart

thyssenkrupp Uhde GmbH  
Friedrich-Uhde-Strasse 15  
D-44141 Dortmund

### Assoziierte Projektpartner

Deutsche Lufthansa AG  
MTU Aero Engines AG  
Rolls-Royce Deutschland Ltd & Co KG  
Beschaffungsamt des Bundesministeriums des Innern

Unser besonderer Dank gilt den Kooperationspartnern sowie den assoziierten Projektpartnern für die durchweg professionelle Zusammenarbeit, die erkenntnisreichen fachlichen Austausch und die konstruktiven Rückmeldungen, die wesentlich zum Fortschritt des Projekts beigetragen haben.

**M2SAF** | Nachhaltiges  
Kerosin aus Methanol  
| FKZ: 16RK14001A-E



Gefördert durch:  
  
Bundesministerium  
für Digitales  
und Verkehr  
aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

Koordiniert durch:  
  
NOW - G M B H . D E

Projektträger:  
  
  
Forschungszentrum für Nachhaltige Reaktoren e.V.

Laufzeit des Vorhabens und Berichtszeitraum: 01.08.2022 - 31.03.2025

Das Ziel des M2SAF-Projektes ist die interdisziplinär-iterative Entwicklung des Produkt- und Technologie-Designs eines methanolbasierten Kerosins inklusive eines optimierten Produktionsweges und der prozesstechnischen Optimierung des Verfahrens sowie der Katalysatorsysteme, um die direkten und indirekten-CO<sub>2</sub>-Emissionen in der Anwendung des nachhaltigen Kerosins zu reduzieren.

## Fördergeber



Gefördert durch:  
  
Bundesministerium  
für Digitales  
und Verkehr  
aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

Koordiniert durch:  
  
NOW - G M B H . D E

Projektträger:  
  
  
Forschungszentrum für Nachhaltige Reaktoren e.V.

## Kooperations- und Projektpartner



Berichtsversion: 10. Oktober 2025

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den oben angeführten Autoren und Autorinnen.

## 1. Zusammenfassung

Der Luftverkehrssektor verursacht etwa 2,5 % der weltweiten anthropogenen CO<sub>2</sub>-Emissionen. Beim Umstieg von fossilen auf nachhaltige Flugkraftstoffe (SAF) schreibt die Europäische Union im Rahmen der Initiative ReFuelEU seit 2025 eine schrittweise Erhöhung des Anteils an SAF in Flügen vor, bis auf 70 % in 2050. Ergänzend zur Verwendung der kapazitiv begrenzten biogenen Rohstoffe besteht die Notwendigkeit der verstärkten Einführung sogenannter strombasierter PtL-Kraftstoffe, die CO<sub>2</sub> aus Punktquellen oder direkter Luftabscheidung (DAC) in Kombination mit grünem Wasserstoff aus Wasserelektrolyse nutzen.

Im hier berichteten Verbundvorhaben wurden vom 1. August 2022 bis zum 31. März 2025 Technologie und Verfahren für ein methanolbasiertes SAF entwickelt, mit dem Ziel, dass nachhaltiges M2SAF-Kerosin zukünftig sowohl als Beimischkomponente gemäß ASTM D7566 als auch reines, 100 % SAF einsetzbar ist.

Das Hauptziel des Forschungsprojektes, in Bezug auf die förderpolitischen Ziele war die Entwicklung eines alternativen, regenerativen und strombasierten Kerosins mit effizientem Herstellungspfad und klarer Perspektive zu einer möglichst schnellen Markteinführung. Die Auswahl des Plattformmoleküls Methanol als Basis erlaubt die Trennung der stromintensiven CO<sub>2</sub>-Umwandlung von der Herstellung des finalen Kraftstoffs und somit die Nutzung von präferierten Standorten mit hohen Ausbeuten bei der Gewinnung erneuerbaren Stroms. Zusätzlich ist auch der Einsatz von biomassebasiertem Methanol denkbar.

Die interdisziplinär-iterative Entwicklung des Produkt- und Technologie-Designs im Verbundvorhaben M2SAF umfasste die Entwicklung und Optimierung neuer Katalysatoren und eines optimierten Produktions- und Verfahrensweges um direkte und indirekte-CO<sub>2</sub>-Emissionen in der Anwendung des nachhaltigen Kerosins zu reduzieren; die Entwicklung neuer innovativer analytischer Messverfahren zur Charakterisierung der Produktkomponentenzusammensetzung; die Produktbewertung mit neuen und erweiterten Erkenntnissen der Komponentenzusammensetzung-Eigenschaft-Eignungs-Korrelation für neue Kerosine, die bei ASTM für die Gestaltung optimaler Normen (z.B. 100% SAF) sowie für die Zertifizierung neuer Treibstoffe eingesetzt werden können und die Erweiterung der Methodik der techno-ökonomischen und techno-ökologischen Prozessanalyse, um eine weitere Option der Erzeugung regenerativ erzeugten Kerosins durch das M2SAF-Verfahren zu bewerten.

Die Technologieentwicklung fußte auf Katalysatortests im Labormaßstab und Prozesssimulationen einer Anlage im industriellen Maßstab, was wiederum die Konzeptfindung und das generische Basic Engineering einer Pilotanlage ermöglichte, die in einem Anfang 2025 begonnenen Folgeprojekt realisiert wird. Der technologische Reifegrad der M2SAF-Technologie erhöht sich damit von 3 auf 5.

Die geförderte M2SAF Technologieentwicklung erlaubt eine weltweite Vermarktung des Verfahrens u.a. durch Katalysatorvertrieb, Lizenzierung des Verfahrens und Engineering und Lieferung von Ausrüstungen der Produktionsanlagen. Sie stärkt die deutsche Technologieführerschaft und den Industriestandort Deutschland sowie das Beratungsangebot für die Weiterentwicklung nachhaltiger europäischer Luftfahrt.

## 2. Arbeiten der Projektpartner

Folgende Partner, mit der jeweiligen Hauptzuständigkeit, waren am Projekt beteiligt:

- BASF / Katalysatoren
- thyssenkrupp Uhde / Verfahrensentwicklung
- Analytik-Service AG (ASG) / Analytik
- DLR-VT (DLR, Institut für Verbrennungstechnik) / Produktbewertung
- DLR-TT (DLR, Institut für Technische Thermodynamik) / Prozessbewertung mit TÖA und LCA

BASF konnte erfolgreich Katalysatoren für Methanol-to-Olefins (MtO)-Synthese und Olefin-Oligomerisierungsreaktion identifizieren, die sowohl die Kriterien der Aktivität und Selektivität als auch der Langzeitstabilität unter Laborbedingungen erfüllen. Bei der Qualifizierung des MtO-Katalysators konnte BASF auf langjährige vorherige Forschung an MtO-Zeolithkatalysatoren aufbauen. Der Oligomerisierungskatalysator ist dagegen eine Neuentwicklung, bei der zunächst ein breiteres Katalysatorscreening für die Modellkomponente Propen durchgeführt wurde, wobei ein zeolithbasierter Katalysator eine herausragende Langzeitstabilität zeigte, die bei optimierten Reaktionsbedingungen auch für die C2-C5 Olefin-Modellmischung des Verfahrens bestätigt werden konnte. In der Folgephase des Projekts ist geplant, alle Katalysatoren in einer M2SAF-Pilotanlage im kontinuierlichen Betrieb zu testen, um deren Leistungsfähigkeit weiter zu validieren. Dieser Schritt wird entscheidend sein, um die Anwendbarkeit der Katalysatoren für die kommerzielle Produktion nachhaltigen methanolbasierten Kerosins zu überprüfen.

tk Uhde entwickelte die Technologie des Methanol-zu-SAF Prozesses auf Basis der im Projekt gewonnenen experimentellen Daten. Dies umfasste sowohl die reaktionstechnische Bewertung und Optimierung der einzelnen Reaktionsschritte als auch die Bestimmung und Auslegung weiteren Prozess-Equipments zur Stofftrennung, Förderung und Lagerung von Edukten und Produkten. Durch eine Vielzahl von Prozesssimulationen konnte so ein optimierter Gesamtprozess abgeleitet werden. Die resultierenden Wärme- und Stoffbilanzen bilden die Grundlage für eine erste Auslegung und Kostenschätzung einer M2SAF-Anlage im industriellen Maßstab sowie für ein generisches Basic Engineering für eine in einem Folgeprojekt zu errichtende Pilotanlage.

In einer engen und koordinierten Zusammenarbeit der Projektteilnehmer BASF, tk Uhde und ASG wurden verschiedene SAF-Varianten zur vorläufigen Laborcharakterisierung gemäß heutigen ASTM-Normen hergestellt, durch Produktion ausreichender Mengen an Olefin-Oligomerisat bei BASF und anschließender Weiterverarbeitung durch Hydrierung bei ASG und Destillation bei tk Uhde.

Im Arbeitspaket der Analytik hat ASG sowohl mit herkömmlicher Routineanalytik als auch mit speziellen Analyseverfahren und eigens für das Projekt entwickelten Methoden die Prozessentwicklung zur Erzeugung eines methanolbasierten Flugkraftstoffs begleitet. Es wurde eine neue Methode entwickelt, die zweidimensionale Gaschromatographie (GCxGC) und Vakuum-UV Detektion (VUV) verbindet. Zum Einsatz kam jedoch in erster Linie die Kombination von GCxGC und Flugzeit-Massenspektrometrie (ToFMS), einer etablierten Analysenmethode für Mitteldestillate, die eine detaillierte Charakterisierung der Komponentenzusammensetzung des Kerosins ermöglichte. Auf Basis der gewonnenen Daten konnten

unterschiedliche Prozessbedingungen hinsichtlich ihrer Eignung beurteilt und wesentliche Parameter der finalen Produkte erfasst werden. Die im Projekt entwickelten bzw. weiterentwickelten analytischen Verfahren können in Zukunft für weitere Projekte und Aufträge eingesetzt und gegebenenfalls auf andere Probenmatrices adaptiert werden.

Die durch DLR-VT durchgeführte Produktbewertung bewertete die M2SAF-Proben mithilfe des DLR Prescreening-Prozesses, um ihre Konformität mit aktuellen und zukünftigen Standards sicherzustellen. Dadurch konnten Optimierungspotenziale erkannt und verbesserungsbedürftige Eigenschaften identifiziert werden. Bei geringen Probenmengen kamen ML-gestützte Methoden zum Einsatz, welche bei ausreichender Probenmenge durch direkte Eigenschaftsmessungen ergänzt wurden. Darüber hinaus wurden sicherheitsrelevante Eigenschaften experimentell analysiert und die Datengrundlage für die Modelle weiter ausgebaut. Durch die Anpassung des DLR Hochtemperatur Strömungsreaktors konnte die Rußbildung in technischen Treibstoffen untersucht und der Reaktionsprozess detailliert charakterisiert werden. Zum Abschluss des Projekts wurden Empfehlungen zur Zulassung und Einführung des entwickelten M2SAF-Produkts gegeben.“

DLR-TT hat im Arbeitspaket der Prozessbewertung mit TÖA und LCA ein vereinfachtes Prozessfließbild entwickelt und mit dem von tk Uhde in der Verfahrensentwicklung erstellten Prozessfließbild abgeglichen, um danach eine techno-ökonomische und ökologische Analyse zur nachhaltigen, kosteneffizienten SAF-Herstellung aus Methanol durchzuführen.