

Nachhaltiges Kerosin aus Methanol

Verwendungsnachweis – Kurzbericht

Berichtszeitraum August 2022 – Mai 2024

Firma	Autoren
OMV	D. Wimmer – ORCID 0000-0003-2626-1981 M. Maly – ORCID 0009-0006-7664-8964

Versionshistorie

Datum	Version	Autor	Änderung	Status
02.10.2024	2	D. Wimmer	Kommentare eingepflegt	Final
23.09.2024	1	D. Wimmer	Version 1 fertiggestellt	Zur Freigabe
13.09.2024	1	D. Wimmer	Bericht begonnen	In Arbeit

----- Öffentlich -----

Nachhaltiges Kerosin aus Methanol - Methanol to Sustainable Aviation Fuel

Förderkennzeichen 16RK14001A



Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Koordiniert durch:



Projektträger:



Inhaltsverzeichnis

Förderhinweis.....	2
1 Aufgabenstellung.....	3
2 Stand der Technik an den angeknüpft wurde.....	3
3 Ablauf des Vorhabens	3
4 Wesentliche Ergebnisse und ggf. Zusammenarbeit mit anderen Forschungseinrichtungen	4

Förderhinweis

Das Projekt Nachhaltiges Kerosin aus Methanol – Methanol to Sustainable Aviation Fuel (M2SAF) wird mit insgesamt 3,1 Millionen Euro durch das Bundesministerium für Digitales und Verkehr gefördert. Die Förderrichtlinie für die Entwicklung regenerativer Kraftstoffe wird von der NOW GmbH koordiniert und durch die Projektträger VDI/VDE Innovation + Technik GmbH sowie die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. umgesetzt.

1 Aufgabenstellung

Das Ziel des M2SAF-Projektes war das Produktdesign eines methanolbasierten Kerosins inkl. dessen optimierten Produktionsweges in einer interdisziplinär-iterativen Entwicklung und prozesstechnischen Optimierung des Verfahrens sowie der Katalysatorsysteme, um die direkten und indirekten-CO₂-Emissionen in der Anwendung zu reduzieren.

Das ideale M2SAF-Kerosin sollte dabei sowohl als Beimischkomponente gemäß ASTM D7566, als auch als reines - 100 % SAF – einsetzbar sein, wobei hierfür noch kein ASTM-Standard in Aussicht ist.

Das M2SAF-Kerosin und der Herstellungspfad sollten dabei

- eine höhere Selektivität der Gesamtkette von CO₂ und erneuerbarem Strom zu Kerosin aufweisen als z. B. bei der Fischer-Tropsch-Route,
- eine mindestens gleichwertige THG-Einsparung der Gesamtkette aufweisen im Vergleich zu bekannten Routen wie z.B. der Fischer-Tropsch-Route und
- geringere prognostizierten Gestehungskosten als bei vergleichbaren PtL-Verfahren haben.

Innerhalb des Projektes sollten dazu mindestens drei zulassungsfähige Produktansätze als Ergebnis der iterativen und gekoppelten Produkt-, Katalysator- und Verfahrensentwicklung erzeugt werden, um den TRL der Prozesskette vom Methanol zu Kerosin von drei auf fünf anzuheben.

2 Stand der Technik an den angeknüpft wurde

In den 1970er und 1980er Jahren entwickelte die Firma Mobil, basierend auf Zeolith-Katalysatoren des Pentasil-Typs (ZSM-5) das Methanol-to-Gasoline (MTG) Verfahren, das Methanol-to-Olefins (MtO) Verfahren und eine Zweischnittsynthese (MOGD) von Methanol über Olefine und deren Oligomerisierung (mit anschließender Hydrierung der Olefine) zu Kraftstoffkomponenten, v.a. Benzin und Mitteldestillate. Die MOGD-Technologie wurde nicht kommerzialisiert.

In den 1990er Jahren entwickelte Lurgi die COD-Technologie (COD, Conversion of Olefins to Distillate) ebenfalls auf Basis eines modifizierten Pentasil-Zeolith-Katalysators, um Olefine aus C₄- und C₅-Nebenprodukten einer Fischer-Tropsch-Anlage zu Benzin- und Dieselkraftstoffen umzusetzen. Als Folge der Kommerzialisierung des Methanol-to-Propylene (MTP) Verfahrens in der ersten Dekade der 2000er Jahre erforschte Lurgi die Weiterverarbeitung der methanolbasierten Olefine zu Kraftstoffen mithilfe des COD-Schrittes (MtSynfuels, MTP plus COD).

Obwohl der Weg zur Herstellung synthetischen Flugkraftstoffs über Dehydratisierung, Oligomerisierung, und Hydrierung höherer Alkohole zu Kerosin bereits existiert, ist eine analoge Route vom Methanol ausgehend bisher noch nicht entwickelt. Zwar existieren verschiedene großtechnische Verfahren, um einerseits Methanol zu Olefinen umzuwandeln, Methanol in Benzin zu überführen und andererseits Olefine zu unterschiedlichen Produkten zu oligomerisieren, dennoch hat keines dieser Verfahren oder Kombinationen explizit die Herstellung von Kerosin im Fokus.

3 Ablauf des Vorhabens

Projekttreffen & Projektroutinen

- Kick-off Treffen im September bei BASF in Ludwigshafen. Fortschritttreffen nach 6, 12, und 18 Monaten bei ASG in Neusäß, OMV in Burghausen, und DLR in Stuttgart. Am 6-Monatstreffen nahmen auch Vertreter:innen des Projektträgers VDI/VDE IT teil.

- Workshop zum SAF-Eignungsraum im November 2022 (virtuell): Diskussion, welche Substanzklassen im finalen M2SAF Produkt enthalten sein können, sowie Implikationen auf die Zertifizierung als 100 % SAF-Kraftstoff
- Projektroutine (virtuell) zwischen OMV, BASF, und thyssenkrupp Uhde zum Austausch über die Oligomerisierungsversuche bei BASF und OMV (Versuchsaufbau, -planung, -abläufe, Komponenten, Katalysatorauswahl und -lieferung an OMV, Betriebsbedingungen, Ergebnisse, Vergleichbarkeit, ...)
- Projektroutine (virtuell) zwischen OMV, DLR-TT, BASF und thyssenkrupp Uhde zur Abbildung des M2SAF Methanol to Jet Gesamtverfahrens in einer Prozesssimulationssoftware basierend auf öffentlicher Literatur durch DLR-TT

Öffentlichkeitsarbeit & Veröffentlichungen

- Gemeinsame Presseaussendung zum Projektstart
- Förderbescheidübergabe durch parlamentarischen Staatssekretär Oliver Luksic
- Advisory Board
 - Lufthansa, MTU, und Rolls Royce, Beschaffungsamt des Bundesministeriums des Inneren -> gesamte Wertschöpfungskette der potenziellen Nutzer des M2SAF Produkts
 - Impulse und Einblicke hinsichtlich Optimierung und Kommerzialisierung des M2SAF Kraftstoffs sowie Unterstützung bei der Zertifizierung des M2SAF Treibstoffs; Einblicke hinsichtlich Entscheidungskriterien für und Anforderungen an ein SAF-Produkt
 - Kick-off Meeting im Oktober 2023 und Statustreffen (Präsenz) im Januar 2024
- Über den Schlussbericht hinaus keine weitere Veröffentlichung der M2SAF Projektergebnisse bei OMV angedacht

Oligomerisierungsversuche im OMV-Technikum

- Modifikation des Designs der neuen Versuchsanlage (noch vor Fertigstellung) im Hinblick auf die M2SAF Oligomerisierungsversuche
- Festlegung und Beschaffung von repräsentativen Surrogatkomponenten für die Versuche
- Versuchsplanung in Abstimmung mit BASF; Berücksichtigung der Ergebnisse der Oligomerisierungsversuche bei BASF; Katalysatorauswahl und -bereitstellung durch BASF
- Start der M2SAF Oligomerisierungsversuche im November 2023; zu Beginn Fokus auf Kennenlernen des Prozesses und Variation der Betriebsbedingungen
- Meilenstein 4.1, Vergleichbarkeit der Oligomerisierungsversuche mit den BASF-Ergebnissen im Januar 2024 erreicht
- Insgesamt mehr als 70 L flüssiges Oligomerisat produziert. Propylenumsatz > 90 % und Kerosinselektivität > 80 % erzielt. Einflussfaktoren auf Propylenumsatz, Kerosinausbeute, und -qualität identifiziert.

Im Juni 2024 traf OMV die Entscheidung, das gemeinsame Projekt einzustellen, um die eigene Entwicklung zu einem blendfähigen, methanolbasierten SAF-Treibstoff beschleunigt fortzuführen und schnellstmöglich eine Kommerzialisierung anzustreben.

4 Wesentliche Ergebnisse und ggf. Zusammenarbeit mit anderen Forschungseinrichtungen

In den Oligomerisierungsversuchen im OMV-Technikum wurden insgesamt mehr als 70 L Oligomerisat erzeugt. Der Olefinumsatz betrug dabei bis zu > 90 wt-% und es wurden Kerosinselektivitäten von > 80 wt-% erzielt. Zudem zeigte der Katalysator eine sehr hohe Aktivität über eine Laufzeit von > 250 h.

Katalysatorauswahl, Olefinzusammensetzung und Betriebsbedingungen haben einen wesentlichen Einfluss auf das Prozessdesign und die Performance des Oligomerisierungsschritts und auf die Zusammensetzung und Qualität des flüssigen Kohlenwasserstoffprodukts der Oligomerisierung. Die wichtigsten Bewertungskriterien für die Performance des Oligomerisierungsschrittes sind die Kerosinausbeute und -qualität, da diese wesentlich die Performance des Gesamtverfahrens bestimmt.

Damit ist die Oligomerisierung der entscheidende Prozessschritt für eine hohe Jet Fuel Ausbeute und Qualität, aber auch für Performance und Flexibilität des Gesamtverfahrens. Daneben muss auch die Integration von Olefinerzeugungs- und Oligomerisierungsschritt besonders betrachtet und optimiert werden, um ein effizientes und optimiertes Gesamtverfahren zu entwickeln.

Die vielversprechenden Ergebnisse der Oligomerisierungsversuche, sowie die weiteren genannten Faktoren bekräftigen das hohe Interesse an der Methanol to Jet Route bei OMV. Zusammen mit der hohen Nachfrage an nachhaltigem und speziell synthetischem Flugzeugkraftstoff, welche durch die Europäische Gesetzgebung gesichert wird, führen die Erkenntnisse aus dem M2SAF Projekt dazu, dass OMV die Bestrebungen zur Entwicklung eines Methanol to Jet Verfahrens mit hohem Aufwand und beschleunigtem Zeitplan fortführen wird.

Nachhaltiges Kerosin aus Methanol

Verwendungsnachweis – Sachbericht

Berichtszeitraum August 2022 – Mai 2024

Firma	Autoren
OMV	D. Wimmer – ORCID 0000-0003-2626-1981 M. Maly – ORCID 0009-0006-7664-8964

Versionshistorie

Datum	Version	Autor	Änderung	Status
02.10.2024	2	D. Wimmer	Kommentare eingepflegt	Final
27.09.2024	1	D. Wimmer	Version 1 finalisiert	In Freigabe
13.09.2024	1	D. Wimmer	Bericht begonnen	In Arbeit

----- Öffentlich -----

Nachhaltiges Kerosin aus Methanol - Methanol to Sustainable Aviation Fuel

Förderkennzeichen 16RK14001A



Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Koordiniert durch:



Projektträger:



Inhaltsverzeichnis

Förderhinweis.....	2
1 Aufgabenstellung und Stand der Technik zu Projektbeginn	3
1.1 Aufgabenstellung.....	3
1.2 Stand der Technik	3
2 Projektablauf, Projektergebnisse	4
2.1 Arbeitspaket 1: Projektmanagement.....	4
2.2 Arbeitspaket 4: Oligomerisierung, Hydrierung und Mitverarbeitung	5
2.2.1 Arbeitspaket 4.1 Beschaffung von olefinischen Surrogatkomponenten, Technikumsanlagenbau und -modifikation	5
2.2.2 Arbeitspakete 4.2 Olefinoligomerisierung und 4.4 Einfluss von weiteren Intermediatkomponenten und/oder Prozessbedingungen	7
3 Fortschritt bei anderen Stellen	9
4 Verwertbarkeit der Ergebnisse, Fortschreibung Verwertungsplan.....	9
5 Erfolge und geplante Veröffentlichungen	11

Förderhinweis

Das Projekt Nachhaltiges Kerosin aus Methanol – Methanol to Sustainable Aviation Fuel (M2SAF) wird mit insgesamt 3,1 Millionen Euro durch das Bundesministerium für Digitales und Verkehr gefördert. Die Förderrichtlinie für die Entwicklung regenerativer Kraftstoffe wird von der NOW GmbH koordiniert und durch die Projektträger VDI/VDE Innovation + Technik GmbH sowie die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. umgesetzt.

1 Aufgabenstellung und Stand der Technik zu Projektbeginn

1.1 Aufgabenstellung

Das Ziel des M2SAF-Projektes war das Produktdesign eines methanolbasierten Kerosins inkl. dessen optimierten Produktionsweges in einer interdisziplinär-iterativen Entwicklung und prozesstechnischen Optimierung des Verfahrens sowie der Katalysatorsysteme, um die direkten und indirekten-CO₂-Emissionen in der Anwendung zu reduzieren.

Das ideale M2SAF-Kerosin sollte dabei sowohl als Beimischkomponente gemäß ASTM D7566, als auch als reines - 100 % SAF – einsetzbar sein, wobei hierfür noch kein ASTM-Standard in Aussicht ist.

Das M2SAF-Kerosin und der Herstellungspfad sollten dabei

- eine höhere Selektivität der Gesamtkette von CO₂ und erneuerbarem Strom zu Kerosin aufweisen als z. B. bei der Fischer-Tropsch-Route,
- eine mindestens gleichwertige THG-Einsparung der Gesamtkette aufweisen im Vergleich zu bekannten Routen wie z.B. der Fischer-Tropsch-Route und
- geringere prognostizierten Gestehungskosten als bei vergleichbaren PtL-Verfahren haben.

Innerhalb des Projektes sollten dazu mindestens drei zulassungsfähige Produktansätze als Ergebnis der iterativen und gekoppelten Produkt-, Katalysator- und Verfahrensentwicklung erzeugt werden, um den TRL der Prozesskette vom Methanol zu Kerosin von drei auf fünf anzuheben.

1.2 Stand der Technik

In den 1970er und 1980er Jahren entwickelte die Firma Mobil, basierend auf Zeolith-Katalysatoren des Pentasil-Typs (ZSM-5) das Methanol-to-Gasoline (MTG) Verfahren, das Methanol-to-Olefins (MtO) Verfahren und eine Zweischnittsynthese (MOGD) von Methanol über Olefine und deren Oligomerisierung (mit anschließender Hydrierung der Olefine) zu Kraftstoffkomponenten, v.a. Benzin und Mitteldestillate. Die MOGD-Technologie wurde nicht kommerzialisiert.

In den 1990er Jahren entwickelte Lurgi die COD-Technologie (COD, Conversion of Olefins to Distillate) ebenfalls auf Basis eines modifizierten Pentasil-Zeolith-Katalysators, um Olefine aus C4- und C5-Nebenprodukten einer Fischer-Tropsch-Anlage zu Benzin- und Dieselkraftstoffen umzusetzen. Als Folge der Kommerzialisierung des Methanol-to-Propylene (MTP) Verfahrens in der ersten Dekade der 2000er Jahre erforschte Lurgi die Weiterverarbeitung der methanolbasierten Olefine zu Kraftstoffen mithilfe des COD-Schrittes (MtSynfuels, MTP plus COD).

Außer der Oligomerisierung von Olefinen mithilfe von Zeolithen ist auch das Polynaphtha-Verfahren der Axens, bei dem niedrigwertige olefinhaltige Flüssiggasschnitte (C3/C4) fossiler Herkunft zu Benzin und Mitteldestillaten konvertiert werden, ein bekannter Stand der Technik. Polynaphtha ist ein indirekter Alkylierungsprozess. Die bekannte Alkylierung von Isobutan mit Alkenen (v.a. Propen und n- und iso-Butenen) aus leichten Nebenproduktströmen einer Raffinerie, mithilfe von Säurekatalyse durchgeführt, ist ein weiteres Standardverfahren zur Erzeugung größerer Molekül-Kettenlängen unter Beteiligung kurzketziger Olefine. Auch die Dimerisierung von Butenen in C4-Schnitten fossiler Herkunft ist Stand der Technik.

Obwohl der Weg zur Herstellung synthetischen Flugkraftstoffs über Dehydratisierung, Oligomerisierung, und Hydrierung höherer Alkohole zu Kerosin bereits existiert, ist eine analoge Route vom Methanol ausgehend bisher noch nicht entwickelt. Zwar existieren verschiedene großtechnische Verfahren, um einerseits Methanol zu Olefinen umzuwandeln, Methanol in Benzin zu überführen und andererseits Olefine zu unterschiedlichen Produkten zu oligomerisieren, dennoch hat keines dieser Verfahren oder Kombinationen explizit die Herstellung von Kerosin im Fokus.

Vor diesem Hintergrund ist es naheliegend, einen geschlossenen Produktionsstrang zur Weiterverarbeitung grünen Methanols zu Flugkraftstoff (SAF) durch die Verfahrensschritte Olefinerzeugung, Olefinverktettung und nachfolgender Olefinhydrierung/Cohydrierung zu entwickeln. Besonderes Augenmerk gilt dabei der Optimierung dieser Route mithilfe weiterentwickelter Katalysatoren im Zusammenspiel mit prozessoptimierten Reaktorsystemen und spezifischen Stoffkreisläufen in Richtung eines drop-in-fähigen SAFs (100% SAF) mit hoher Produktausbeute.

2 Projektablauf, Projektergebnisse

2.1 Arbeitspaket 1: Projektmanagement

Durch die starke Verknüpfung der Arbeitspakete untereinander, sowie durch die parallele und iterative Durchführung der Aufgaben war eine sehr enge Zusammenarbeit zwischen den Partnern entscheidend für den Projekterfolg. Zum Zweck des regelmäßigen Austausches, sowie zur Stärkung der Zusammenarbeit wurden regelmäßige Präsenztreffen und virtuelle Arbeitstreffen im Konsortium durchgeführt.

Am 07. Und 08.09.2022 kamen die Projektpartner zum Kick-off Treffen bei BASF in Ludwigshafen zusammen, um sich Kennenzulernen und den Projektablauf und die geplanten Arbeiten gemeinsam zu erörtern. Darüber hinaus wurden im 6-Monatsturnus Präsenztreffen abgehalten, um den Projektfortschritt darzustellen, möglicherweise aufgetretene Engpässe/Verzögerungen zu diskutieren, sowie einen Ausblick auf die nächsten geplanten Tätigkeiten zu geben. Hierfür kam das Konsortium am 31.01. – 01.02.2023 bei ASG in Neusäß, am 19. – 20.07.2023 bei OMV in Burghausen, sowie am 30. – 31.01.2024 bei DLR in Stuttgart zusammen. Am 6-Monatstreffen in Neusäß nahmen außerdem Vertreter:innen des Projektträgers VDI/VDE IT teil. Auf dem 12-Monatstreffen in Burghausen ergänzten eine ausführliche Führung durch die OMV Raffinerie Burghausen, sowie eine Stadtführung durch die historische Altstadt Burghausens mit anschließendem gemeinsamem Abendessen das inhaltliche Programm des Treffens.

Zudem wurden diverse virtuelle Projektroutinen aufgesetzt, um sich auf Arbeitsebene, insbesondere über stark untereinander verknüpfte und aufeinander aufbauende Arbeitspakete, regelmäßig auszutauschen. OMV-seitig wurden zwei Routinen aufgesetzt.

Zum Austausch über die Oligomerisierungsversuche bei BASF und OMV wurde eine Routine zwischen OMV, BASF und thyssenkrupp Uhde aufgesetzt, um die Erkenntnisse aus den Oligomerisierungstests bei BASF in den Planungen der späteren OMV Oligomerisierungsversuche zu berücksichtigen. In der Routine wurden neben den Versuchsergebnissen auch Versuchsaufbau, -planung, -abläufe, Olefin- und Begleitkomponenten, Katalysatorauswahl und -lieferung an OMV, Betriebsbedingungen, und weitere Themen diskutiert, um möglichst vergleichbare Oligomerisierungsergebnisse bei BASF und OMV sicherzustellen.

Zwischen den Partnern OMV, BASF, thyssenkrupp Uhde, und DLR-TT wurde eine Routine initiiert, um die möglichst realitätsgetreue Ab- bzw. Nachbildung des M2SAF Methanol to Jet Gesamtverfahrens basierend auf öffentlich verfügbarer Literatur in einer Prozesssimulationssoftware durch DLR-TT zu diskutieren.

Zudem wurden mehrere Arbeitstreffen zu verschiedenen Themen mit allen Projektpartnern durchgeführt, um die verschiedenen Expertisen der Partner zu einem Thema zu sammeln und zu diskutieren. So wurde zum Beispiel ein Workshop zur möglichen Zusammensetzung des finalen M2SAF Treibstoffes, sowie Zertifizierungsszenarien durchgeführt und ein Analytikaustausch abgehalten, um verfügbare Analysemethoden zur Charakterisierung der komplexen Zwischenproduktströme in der Methanol to Jet Prozesskette zu identifizieren und zu diskutieren.

Um die Anforderungen der potenziellen Nutzer des finalen M2SAF Flugturbinentreibstoffs möglichst früh in der Entwicklung des Kraftstoffs berücksichtigen zu können, wurde ein Advisory Board eingesetzt. Für das Advisory Board (Industriebeirat) konnten Vertreter von Lufthansa, MTU, Rolls Royce, sowie vom Beschaffungsamt des Bundesministeriums des Inneren gefunden werden. Somit sind im Industriebeirat Vertreter sowohl aus Industrie als auch aus der Politik und entlang der gesamten SAF-Wertschöpfungskette vereint. Das Projektkonsortium erhofft sich dadurch wertvolle Einschätzungen über die Eignung des M2SAF-Kerosins als Flugturbinentreibstoff, sowie Impulse für die weitere Optimierung des M2SAF-Produktes.

Am 24.10.2023 fand ein virtuelles Kick-off Treffen für das Advisory Board des M2SAF-Projekts statt. Im Kick-Off Treffen wurde das Arbeitsprogramm und die Ziele des M2SAF Projekts mit dem Advisory Board geteilt, die Erwartungshaltung seitens des Projektkonsortiums an das Advisory Board kommuniziert, sowie bereits wertvolle Einblicke hinsichtlich Entscheidungskriterien für und Anforderungen an ein SAF-Produkt vom Advisory Board an das Projektkonsortium gegeben. Im Vorgang zum 18-Monattreffen des Projektkonsortiums fand das erste Advisory Board Statustreffen in Präsenz ebenfalls bei DLR statt. Der Projektfortschritt wurde vom Advisory Board sehr positiv aufgenommen und es wurden erneut wertvolle Impulse für die Entwicklung des M2SAF Flugturbinentreibstoffs diskutiert.

Im Juni 2024 traf OMV die Entscheidung, das gemeinsame Projekt einzustellen, um die eigene Entwicklung zu einem blendfähigen, methanolbasierten SAF-Treibstoff beschleunigt fortzuführen und schnellstmöglich eine Kommerzialisierung anzustreben.

Die Meilensteine 1.1 (Monat 1) „Projekt Kick-Off“, 1.2 (Monat 6) „Advisory Board aufgestellt“, und 1.4 (Monat 18) „Advisory Board Midterm Meeting“ konnten erreicht werden. Die restlichen Meilensteine sind in der Projektplanung für einen späteren Zeitpunkt vorgesehen.

2.2 Arbeitspaket 4: Oligomerisierung, Hydrierung und Mitverarbeitung

2.2.1 Arbeitspaket 4.1 Beschaffung von olefinischen Surrogatkomponenten, Technikumsanlagenbau und -modifikation

Die OMV-Gruppe betreibt für die Durchführung von Versuchen im Pilotmaßstab ein zentrales Betriebstechnikum in der Raffinerie in Schwechat bei Wien, Österreich. Im Technikum werden verschiedene Pilotanlagen betrieben, um die Raffinerieprozesse nachzustellen, wie zum Beispiel Hydrieranlagen oder Destillationsapparaturen. Während der Planungsphase des M2SAF Projekts befand sich auch eine neue Technikumsanlage zur Abbildung von Hydrierprozessen in Planung. Da diese Versuchsanlage ein sehr flexibles Design aufweisen sollte, wurde die Anlage für die Durchführung der M2SAF Oligomerisierungsversuche bestimmt, sowie bereits erste dafür notwendige Anpassungen am Anlagendesign berücksichtigt.

Nach Projektstart wurden zunächst Abstimmungen zum Prozessdesign, Betriebsfenster und den Versuchsmöglichkeiten der in Planung befindlichen Technikumsanlage aufgenommen. Der Zeitplan für die Planung, Aufbau und Inbetriebnahme der Versuchsanlage im OMV-Technikum, welche für die Oligomerisierungsversuche zum Einsatz kommen sollte, wurde mit dem Projektzeitplan für Vorbereitung und Durchführung der Oligomerisierungsversuche abgestimmt.

Auf Grundlage der initial festgelegten Olefinkomponenten und dem im Projektantrag beschriebenen Versuchsumfang wurden erforderliche Modifikationen und Erweiterungen des Technikumsanlagendesigns identifiziert, geplant, und umgesetzt. Insbesondere wurden Feedstrecken für den Einsatz verschiedener Flüssiggase und -gemische für die Oligomerisierungsversuche ergänzt (z.B. Druckminderer), sowie zusätzliche Gaswarngeräte für die geplanten Einsatzstoffe vorgesehen und angefragt. Die speziell für die Oligomerisierungsversuche ergänzten Gegenstände wurden aus M2SAF Projektbudget beschafft.

BASF führte im AP 2 ein umfangreiches Versuchsprogramm zur Olefin Oligomerisierung durch, in dem verschiedene Katalysatoren bei unterschiedlichen Betriebsbedingungen und Feedzusammensetzungen charakterisiert wurden. Dieses Versuchsprogramm führte zur Festlegung des Oligomerisierungskatalysators, der bei den OMV-Versuchen zum Einsatz kommen sollte, sowie zur Definition des bei OMV einzustellenden Standard-Betriebspunktes und des Betriebsfensters. Durch den kontinuierlichen und engen Austausch zwischen BASF und OMV konnten die aktuellen Erkenntnisse aus den BASF-Versuchen direkt in der Versuchsplanung der OMV Oligomerisierungsversuche berücksichtigt werden. Rechtzeitig vor Start der Versuche, stellte BASF eine ausreichende Menge des favorisierten Katalysators her und lieferte diese an OMV.

In Verbindung mit den Erkenntnissen aus den Versuchen zur Olefinerzeugung bei BASF im Arbeitspaket 2 wurden die Surrogatkomponenten für die Oligomerisierungsversuche im OMV-Technikum in Schwechat festgelegt. Es wurden jeweils Komponenten aus den Stoffklassen Olefine, Paraffine, Aromaten, Naphthene, und Oxygenate ausgewählt, um das Spektrum aus Haupt- und Nebenprodukten des Olefinerzeugungsschrittes bestmöglich abzudecken. Anhand eines vorläufigen Versuchsplans, welcher auf Grundlage initialer Überlegungen aus der Antragsphase sowie der ersten Ergebnisse aus den Oligomerisierungstests bei BASF erstellt wurde, wurden die benötigten Mengen und Qualitäten der Einsatzstoffe abgeschätzt, verfügbare Lieferanten identifiziert, und die erforderlichen Komponenten beschafft.

In der Versuchsplanung wurden Methoden der statistischen Versuchsplanung angewandt, um mit möglichst wenigen Versuchseinstellungen umfangreiche, statistisch belastbare Ergebnisse zu erzielen. Dies beinhaltet zum Beispiel, dass die verschiedenen Versuchspunkte in einer zufälligen Reihenfolge angefahren werden, um eine Beeinflussung der Versuchsergebnisse durch die Versuchsreihenfolge auszuschließen. Außerdem werden mehrere Versuchseinstellungen wiederholt, um die „übliche“ Streuung der Versuchsergebnisse abzuschätzen. Darüber hinaus wurde in der Versuchsplanung auch berücksichtigt, dass die Katalysatoraktivität über die Versuchslaufzeit durch verschiedene Effekte abnehmen kann. Daher wurde vorgesehen, dieselben Versuchsbedingungen nach verschiedenen Laufzeiten einzustellen, um die Deaktivierungsgeschwindigkeit des Katalysators zu ermitteln, und diesen Effekt – ebenso wie die „übliche“ Streuung der Ergebnisse – aus den Versuchsergebnissen herausrechnen zu können.

Diese Ergebnisse sollten die Basis für eine spätere Erstellung eines phänomenologischen Modells zur Vorhersage der Performance des Oligomerisierungsschritts (Umsatz, Produktselektivitäten, Produktqualität) bilden. Hierfür wurden in der Versuchsplanung Variationen der Betriebsbedingungen (Temperatur, Druck, Raumgeschwindigkeit, etc.) sowie der Einsatzstoffzusammensetzung vorgesehen.

Es wurden auch insbesondere die Unterschiede zwischen den für die Oligomerisierungstests eingesetzten Versuchsanlagen bei BASF und OMV berücksichtigt, um den größeren Maßstab und die umfangreicheren Möglichkeiten hinsichtlich mögliche Einsatzstoffe und -gemische und Betriebsbedingungen der OMV-Technikumsanlage optimal für die Oligomerisierungsversuche zu nutzen.

Nach Festlegung der Surrogatkomponenten wurde außerdem eine Evaluation der Toxizität und Kanzerogenität der Chemikalien durchgeführt, um die Kolleg:innen im OMV-Technikum keinem gesundheitlichen Risiko auszusetzen und entsprechende Maßnahmen für den Umgang mit diesen Stoffen festzulegen.

Zu Beginn des vierten Quartals 2023 wurde die neue Technikumsanlage fertig gestellt und in Betrieb genommen. Hierfür wurde zuerst eine Referenzfahrt (Entschwefelung eines fossilen Feeds – der initiale Einsatzzweck dieser Versuchsanlage) durchgeführt. Anschließend konnten die M2SAF Oligomerisierungsversuche mit BASF Katalysator bei den zuvor festgelegten Standard-Betriebsbedingungen und zunächst reinem Propylen als Referenz-Einsatzstoff im November 2023 gestartet werden. Im Vergleich zur ursprünglichen Zeitplanung wurden die Oligomerisierungsversuche gut 3 Monate später gestartet. Grund hierfür waren zum einen Verzögerungen beim Aufbau der Versuchsanlage beim Kontraktor aufgrund von Lieferverzögerungen von Einzelkomponenten, sowie ein ausführlicheres Anfahrprogramm der Versuchsanlage.

Vor dem Start der Oligomerisierungsversuche wurde noch eine Risikoevaluation durchgeführt, in der Katalysator, Einsatzstoffe und Charakteristik der Oligomerisierungsreaktion berücksichtigt werden, um mögliche Risiken wie bspw. übermäßige Wärmeentwicklung, etc. zu identifizieren und notwendige Mitigationsmaßnahmen zu definieren. Eine solche Risikoevaluierung wird bei OMV vor allen Versuchskampagnen im Technikum durchgeführt, und ist besonders bei unbekanntem oder neuartigen Verfahren essenziell.

2.2.2 Arbeitspakete 4.2 Olefinoligomerisierung und 4.4 Einfluss von weiteren Intermediatkomponenten und/oder Prozessbedingungen

Im November 2023 wurden die Oligomerisierungsversuche mit Propylen als repräsentatives Olefin gestartet. Zunächst wurde der Fokus auf die Untersuchung der Vergleichbarkeit der Oligomerisierungsversuche bei BASF und OMV, sowie auf die Variation der Betriebsbedingungen gelegt. Deshalb wurden zuerst jene Betriebsbedingungen eingestellt, die sich zuvor in den Oligomerisierungsversuchen bei BASF als optimal herausgestellt hatten. Versuche zur Variation der Feedzusammensetzung sollten zu einem späteren Zeitpunkt durchgeführt werden.

Die Reihenfolge der Oligomerisierungskampagnen im Sinne der Untersuchung des Einflusses von Betriebsbedingungen, Olefinzusammensetzung, und weiteren Intermediatkomponenten wurde im Vergleich zum Projektantrag getauscht und der Fokus zunächst aus drei Gründen auf die Untersuchung verschiedener Betriebsbedingungen mit reinem Propylenfeed gelegt:

- Es sollten zunächst Erfahrungen im Betrieb der neuen Technikumsanlage und im Betrieb der Oligomerisierungsreaktion gesammelt werden. Die Beschränkung auf lediglich ein Olefin als Einsatz reduzierte hierfür die Komplexität des Versuchs erheblich.
- Zur plangemäßen Erreichung des Meilensteins 4.1 „Erste Technikumsversuche repräsentieren Ergebnisse aus AP 2“ sollte zunächst die Vergleichbarkeit der Oligomerisierungsversuche bei OMV und BASF demonstriert werden. Für den Vergleich wurden Versuchseinstellungen aus den Oligomerisierungstests im AP 2 mit Propylenfeed ausgewählt.
- Die Oligomerisierungsversuche und regelmäßigen Abstimmungen zeigten, dass die Betriebsbedingungen des Oligomerisierungsschrittes einen entscheidenden Einfluss auf den Olefinumsatz und die Kerosinausbeute, die entscheidenden Kriterien für die Performance des Oligomerisierungsschrittes, haben. Deshalb sollte das Betriebsfenster für die Oligomerisierungsversuche bei OMV so groß wie möglich gewählt werden, und auch Betriebsbedingungen jenseits des Auslegungsbereichs der BASF Oligomerisierungsanlage eingestellt werden.

Bei der ersten Versuchsfahrt unter Oligomerisierungsbedingungen stellte es sich als herausfordernd heraus, die bei der Oligomerisierungsreaktion freiwerdende Reaktionswärme aus dem Reaktor abzuführen und eine konstante, isotherme Temperaturverteilung über den Reaktor einzustellen. Daher konnten in diesem Versuchsabschnitt keine repräsentativen Ergebnisse erzielt werden.

Für die nächste Versuchsfahrt wurden daher Anpassungen an der Versuchsanlage selbst, an der Befüllung des Reaktors mit Katalysator, sowie am Betrieb der Versuchsanlage vorgenommen, welche sich als erfolgreich herausstellten. Eine Maßnahme war, den Katalysator auf beide in Reihe geschalteten Reaktoren zu verteilen und mit inertem Siliciumcarbid zu verdünnen, um die Wärme-freisetzung der Reaktion über einen weiteren Bereich der Katalysatorschüttung zu verteilen, und damit eine lokale Überhöhung der Reaktortemperatur zu verhindern. Damit konnten ab der zweiten Versuchsfahrt repräsentative Ergebnisse erzielt werden und mit der Variation der Betriebsbedin-gungen begonnen werden.

Die Ergebnisse der ersten Versuchsfahrten zur Betriebsparametervariation ermöglichten die Beur-teilung, welche Parameter einen signifikanten Einfluss auf Umsatz, Ausbeute und Selektivität der Oligomerisierungsreaktion und auf die Qualität des erzeugten Oligomerisats haben. Die Versuche zeigten auch, welche Parameter zu einer weiteren Optimierung der Performance des Oligomeri-sierungsschrittes beitragen können. Bis Ende Januar 2024 konnte zudem eine sehr gute Vergleich-barkeit von Propylenumsatz und Siedekurve des Oligomerisats zwischen OMV- und BASF-Versu-chen nachgewiesen werden. Der Meilenstein 4.1 „Erste Technikumsversuche repräsentieren Er-gebnisse aus AP 2“ wurde damit erfolgreich und plangemäß erreicht.

Die Oligomerisierungsversuche im Technikum wurden entgegen ursprünglicher Zeitplanung erst Ende November 2023 (statt ursprünglich Anfang August 2023) begonnen. Grund für diese Verzö-gerung waren Verzögerungen im Aufbau und Inbetriebnahme der neuen Versuchsanlage im OMV-Technikum aufgrund von Lieferverzögerungen und einem ausführlicheren Inbetriebnahmepro-gramm. Trotzdem konnte der Meilenstein M4.1 (Monat 18) „Erste Technikumsversuche represen-tieren Ergebnisse aus AP 2“ plangemäß erreicht werden. Der spätere Start der Oligomerisierungs-versuche führte allerdings zu einer Verzögerung des Starts des Teilarbeitspakets AP 4.3 „Phäno-menologisches Modell und Modellüberprüfung“ über den Berichtszeitraum hinaus, da noch nicht ausreichend Ergebnisse aus den Oligomerisierungsversuchen für den Start der Modellierung vor-lagen. Mit den theoretischen Vorarbeit zur Erstellung des phänomenologischen Modells, z.B. Literaturrecherche und Einarbeiten in die Ableitung und Modellierung eines solchen Modells wurde im Berichtszeitraum begonnen.

Die Analyse der in den Oligomerisierungsversuchen erzeugten Oligomerisatproben wurde im Be-richtszeitraum nicht wie geplant bei ASG durchgeführt, da die entsprechende Analytikmethode für die GCxGC-VUV Analysen noch nicht einsatzbereit war. Analysen mittels GCxGC-FID oder GCxGC-ToFMS bei ASG wurden mit den ersten Oligomerisaten ebenfalls nicht durchgeführt, da für die initiale Charakterisierung der Performance des Oligomerisierungsschrittes die an der Anlage gesammelten Daten, ergänzt um Analysen der Oligomerisatproben welche im OMV-Betriebslabor durchgeführt wurden (z.B. simulierte Destillation, Dichte), vorerst ausreichten.

In den Oligomerisierungsversuchen im OMV-Technikum wurden insgesamt mehr als 70 L an flüs-sigem Oligomerisat erzeugt. Der Olefinumsatz betrug dabei bis zu > 90 wt-% und es wurden Ke-rosinselektivitäten von > 80 wt-% erzielt. Zudem zeigte der Katalysator eine sehr hohe Aktivität über eine Laufzeit von > 250 h.

Katalysatorauswahl, Olefinzusammensetzung und Betriebsbedingungen haben einen wesentli-chen Einfluss auf das Prozessdesign und die Performance des Oligomerisierungsschrittes und auf Zusammensetzung und Qualität des flüssigen Kohlenwasserstoffprodukts der Oligomerisierung. Die wichtigsten Bewertungskriterien für die Performance des Oligomerisierungsschrittes sind die Kerosinausbeute und -qualität, da diese wesentlich die Performance des Gesamtverfahrens be-stimmen.

Damit ist die Oligomerisierung der entscheidende Prozessschritt für eine hohe Jet Fuel Ausbeute und Qualität, aber auch für Performance und Flexibilität des Gesamtverfahrens. Daneben muss auch die Integration von Olefinerzeugungs- und Oligomerisierungsschritt besonders betrachtet und optimiert werden, um ein effizientes und optimiertes Gesamtverfahren zu entwickeln.

Aufgrund des oben erläuterten Projektausstiegs der OMV konnten die Oligomerisierungsversuche im OMV-Technikum (APs 4.2 und 4.4) nicht abgeschlossen werden. Damit konnte auch das phänomenologische Modell des Oligomerisierungsschrittes (AP 4.3) nicht abgeleitet werden. Ebenso wurden die Versuche zur Hydrierung (AP 4.6) und co-Hydrierung (AP 4.7) des Oligomerisats, inklusive Herstellung der dafür benötigten Menge an Oligomerisat (AP 4.5) nicht durchgeführt und es konnten keine finalen Jet Fuel Produktansätze erzeugt und analysiert werden. Diese Teilarbeitspakete sind aber gemäß Zeitplanung aus dem Projektantrag für einen späteren Zeitraum vorgesehen.

3 Fortschritt bei anderen Stellen

ExxonMobil startete einen Vorstoß zur Zertifizierung von aus Methanol hergestelltem Flugzeugtreibstoff bei der ASTM. Axens, Honeywell/UOP, und Topsoe scheinen ebenfalls an dem Prozess zu arbeiten. Erste veröffentlichte Daten zeigen, dass Mischungen der synthetischen Komponente (>97% Isoalkane) mit konventionellem Jet A1 die ASTM-Kriterien erfüllen. Diese Unternehmen beabsichtigen laut ursprünglicher Pressemeldung, Proben für die ASTM-Zertifizierung im ersten Halbjahr 2023 zur Verfügung zu stellen und initiieren somit den langjährigen Zulassungsprozess für SAF als Blendkomponente aus Methanol (ASTM DO2.J06).

Das kann auch für das M2SAF-Projekt eine Beschleunigung in der Kommerzialisierungsphase bewirken. Bis Ende des Berichtszeitraums wurden Proben von ExxonMobil, Honeywell/UOP und Topsoe bereitgestellt, die teilweise deutliche Unterschiede in der Zusammensetzung aufwiesen. Auch die CAC Engineering GmbH kündigte an, methanolbasierte Treibstoffproben für den Zertifizierungsprozess eines Methanol to Jet Verfahrens zur Verfügung zu stellen. Axens und CAC Engineering stellten bis Ende des Berichtszeitraums keine Proben für den ASTM-Zertifizierungsprozess zur Verfügung.

Im Berichtszeitraum wurden mehrere Projekte im Rahmen des Förderprogramms Erneuerbare Kraftstoffe des BMDV gestartet:

- Projekt SAFari – Entwicklung und Bewertung eines Methanol to Jet Verfahrens; Aufbau einer Pilotanlage bei Fraunhofer ISE in Freiburg
- Projekt SynergyFuels; simulative und physische Integration verschiedener Power and Biomass to Fuels Verfahren und Versuchsanlagen. Auch der Alkohol (Methanol, Ethanol, Isobutanol) to Jet Pfad soll betrachtet werden.
- Projekt Ref4Fu; Bewertung von nachhaltigen Verfahrenskonzepten für die Transformation von Raffinerien zur nachhaltigen Herstellung des derzeitigen Produktportfolios. Der Methanol to Fuels Pfad wird als ein mögliches Verfahrenskonzept betrachtet.

Über das Projekt Kerosyn100, insbesondere über eine mögliche Phase 2, in der die Umsetzung einer Methanol to Jet Fuel Demoanlage in der Raffinerie Heide, basierend auf einem Prozessdesign der CAC Engineering GmbH, welches in Phase 1 entwickelt wurde, angedacht war, wurden im Berichtszeitraum keine Neuigkeiten bekannt.

4 Verwertbarkeit der Ergebnisse, Fortschreibung Verwertungsplan

Die OMV-Raffinerie in Burghausen produziert ca. 700 kt/a Jet A1, welches größtenteils per Pipeline zum Flughafen München transportiert wird. Die Nutzung von bestehender Infrastruktur bei gleichzeitiger Evolution zu CO₂-neutralem Kerosin ist eine fundamentale Bedingung für das Gelingen der Energiewende in der Luftfahrt. Mit einem zusätzlichen Verfahrensweg zu synthetischem Kerosin auf Basis eines weltweit handelbaren Plattformmoleküls im Vergleich zu anderen Optionen lassen sich unterschiedlicher Herstellungsprozesse zu Methanol nutzen, um jeweilige lokale Vorteile

(z.B. Stromkosten) ausnutzen und die Kosten des finalen Produktes zu senken. Für die OMV ermöglichte dieses Projekt zum einen die frühzeitige Berücksichtigung der Raffinerieintegration, zum anderen auch eine Perspektive zu einer großtechnischen Implementierung des Verfahrens am Standort Burghausen und somit der Versorgung des Flughafens München in der nächsten Dekade. Das M2SAF Projekt trug zu folgenden Verwertungsperspektiven bei:

4.1.1 Erfindungen, Schutzrechtsanmeldungen und erteilte Schutzrechte, die vom Zuwendungsempfänger oder von am Vorhaben Beteiligten gemacht oder in Anspruch genommen wurden, sowie deren standortbezogene Verwertung (Lizenzen u.a.) und erkennbare weitere Verwertungsmöglichkeiten

Keine Erfindungen / Schutzrechtsanmeldungen im Zusammenhang zum M2SAF-Projekt.

4.1.2 Wirtschaftliche Erfolgsaussichten nach Projektende (mit Zeithorizont).

Mit der Überarbeitung der EU-Richtlinie ReFuel EU Aviation im Rahmen der Renewable Energy Directive III wurden die Quoten zur Beimischung erneuerbarer – sowohl biogener als auch strombasierter – Flugkraftstoffkomponenten erhöht und am 18.10.2023 veröffentlicht. Ab dem Jahr 2030 ist eine Mindestmenge von 1,2 % Power-to-Liquid (PtL) Kerosin dem Flugturbinentreibstoff beizumischen. Diese Quote steigt exponentiell bis auf 35 % im Jahr 2050. Da die Verfügbarkeit von Biomasse für die Herstellung von bio-basiertem Nachhaltigem Flugkraftstoff (SAF) limitiert ist, kann davon ausgegangen werden, dass der Bedarf an PtL-SAF über die vorgeschriebenen Mindestquoten hinaus ansteigt.

Die postulierten technologischen Vorteile des M2SAF Verfahrens gegenüber etablierten Verfahren, wie zum Beispiel der Fischer-Tropsch-Route konnten im Berichtszeitraum nicht final nachgewiesen, aber auf Grundlage einer ausführlichen Mitbewerberanalyse und den ersten Ergebnissen aus den Oligomerisierungsergebnissen bewertet werden.

Das im M2SAF Projekt gesammelte Wissen über die Methanol to Jet Route bestärken das hohe Interesse der OMV an diesem Herstellungspfad und führten zur Beschleunigung der Bestrebungen zur Entwicklung und Kommerzialisierung eines OMV Methanol to Jet Verfahrens.

4.1.3 Wissenschaftliche und / oder technische Erfolgsaussichten nach Projektende (mit Zeithorizont).

Das M2SAF Projekt führte zur Steigerung der wissenschaftlichen Kompetenzen in der OMV Deutschland, sowie der Konkurrenzfähigkeit der OMV durch die enge Zusammenarbeit mit industriellen und wissenschaftlichen Partnern. Wissenschaftlicher Nachwuchs in der OMV wurde durch das M2SAF Projekt gewonnen und herangebildet.

4.1.4 Wissenschaftliche und wirtschaftliche Anschlussfähigkeit für eine mögliche nächste Phase bzw. die nächsten innovatorischen Schritte zur erfolgreichen Umsetzung der FE-Ergebnisse.

Derzeit keine Pläne für eine nächste Phase bzw. für ein gefördertes Anschlussprojekt.

5 Erfolgte und geplante Veröffentlichungen

Das M2SAF Projekt wurde zu mehreren Gelegenheiten öffentlich platziert.

Zum Projektstart wurde eine gemeinsame Pressemitteilung am 03.11.2022 durch das Konsortium abgegeben. Dabei wurden die Projektziele, das Konsortium, sowie Fördergeber und Förderbudget dargestellt, z.B.: <https://www.chemietechnik.de/energie-utilities/entwicklungsprojekt-fuer-nachhaltigen-flugkraftstoff-aus-methanol-gestartet-799.html>

Öffentlichkeitswirksame Förderbescheidübergabe in Frankfurt durch parlamentarischen Staatssekretär Luksic am 16.11.2022: z.B.: <https://www.omv.com/en/news/221116-consortium-formed-for-developing-new-process-technology-to-produce-sustainable-aviation-fuel>

Über diesen Projektbericht hinaus ist keine weitere Veröffentlichung der Projektergebnisse seitens OMV vorgesehen.