

Energieforschungsprogramm

Publizierbarer Endbericht

Programmsteuerung:

Klima- und Energiefonds (KLIEN) und Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (BMK)

Programmabwicklung:

Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft mbH (FFG)

Endbericht

erstellt am

29/07/2026

Projekttitle:CO2METH Pro

Projektnummer:57423995

Ausschreibung	Energieforschungsprogramm 2024
Projektstart	04/11/2024
Projektende	30/04/2026
Gesamtprojektdauer (in Monaten)	18 Monate
ProjektnehmerIn (Institution)	TU Wien, Institut für Materialchemie
AnsprechpartnerIn	Assoc. Prof. Karin Föttinger
Postadresse	Getreidemarkt 9/BC, 1060 Wien
Telefon	+43 1 58801 165110
Fax	...
E-mail	karin.foettinger@tuwien.ac.at
Website	https://www.tuwien.at/tch/pc/technische-katalyse

CO2METH Pro

Vom Abgas zum Rohstoff - CO₂ Valorisierung zu Methanol mit Hilfe eines neuen katalytischen Prozesses

AutorInnen:

Karin Föttinger

Christian Weilach

...

1 Inhaltsverzeichnis

1	Inhaltsverzeichnis	4
2	Einleitung	5
3	Inhaltliche Darstellung	6
3.1	Katalysatorentwicklung und Upscaling	6
3.2	Katalytische Testreaktionen und Materialcharakterisierung	7
3.3	Prozessentwicklung und -simulation	8
3.4	Techno-ökonomische Analyse	9
3.5	Markt- und Umfeldanalyse	10
4	Ergebnisse und Schlussfolgerungen	11
5	Ausblick und Empfehlungen	12
6	Literaturverzeichnis	14
7	Anhang	14
8	Kontaktdaten	14

2 Einleitung

Die stoffliche Nutzung von CO₂ (Carbon Capture and Utilisation, CCU) verbindet die lokale Reduktion schwer vermeidbarer oder biogener CO₂-Emissionen mit dem Potential zur Defossilierung chemischer Wertschöpfungsketten. Der Herstellung von Methanol, einer wichtigen Grundchemikalie der chemischen Industrie, durch die katalytische Umsetzung von CO₂ mit Wasserstoff zu Methanol kommt dabei eine Schlüsselrolle in der Transformation chemischer Prozessketten zu.

Ein limitierender Faktor in der praktischen Umsetzung bisher etablierter Verfahren zur Methanolherstellung sind die hohen Reinheitsanforderungen an den zu behandelnden CO₂-Strom. Der industrielle Standardkatalysator (Cu/ZnO/Al₂O₃, kurz CZA) reagiert empfindlich auf typische Verunreinigungen wie Schwefelverbindungen [BEA14], wodurch der Kreis nutzbarer CO₂-Quellen stark eingeschränkt wird. Weiters kommt es bei Reaktionstemperaturen von >250 °C durch den bei der Reaktion gebildeten Wasserdampf zum sogenannten Sintern der Katalysatorpartikel, d.h. einem Aktivitätsverlust durch Verringerung der aktiven Katalysator(ober-)fläche [FIC15].

Am Institut für Materialchemie der TU Wien wurde ein neuartiges, zum Patent angemeldetes Katalysatormaterial auf Basis von Molybdänsulfid (MoS₂) entwickelt [ALV24][PAC21], das gegenüber Verunreinigungen deutlich toleranter ist und dadurch auch die Nutzung weniger reiner, kostengünstigerer CO₂-Quellen ermöglicht. Aufgabenstellung des Sondierungsprojekts CO2METH Pro war es, durch gezielte Entwicklungsarbeiten den technologischen Reifegrad zu erhöhen und eine spätere Verwertung vorzubereiten. Im Mittelpunkt standen dabei die Skalierung der Katalysatorsynthese, die Weiterverarbeitung zu anwendungsfähigen Formkörpern, sowie die Einbettung des Kernprozesses der Methanolbildung in ein energieeffizientes Gesamtsystem und die Bewertung von dessen technischer und wirtschaftlicher Umsetzbarkeit.

Dementsprechend gliederte sich das Projekt in vier inhaltliche Schwerpunkte:

- Katalysatorentwicklung: Optimierung des Syntheseprotokolls, Upscaling der Katalysatorherstellung sowie Weiterverarbeitung zu geträgerten Formkörpern.
- Katalytische Testreaktionen und Materialcharakterisierung: Untersuchung der katalytischen Eigenschaften unter variierten Betriebsbedingungen, Struktur-Eigenschafts-Beziehungen sowie Langzeitstabilität.
- Prozessentwicklung: Erstellung einer Prozesssimulation samt Kinetikmodell sowie Ableitung von Massen- und Energiebilanzen für konkrete Anwendungsszenarien.
- Techno-ökonomische Bewertung: Vergleichende Analyse der Investitions- und Betriebskosten gegenüber dem CZA-Referenzprozess sowie Einordnung gegenüber Wettbewerbstechnologien.

Begleitend dazu wurden durch eine kontinuierliche Markt- und Umfeldanalyse die Grundlagen für eine mögliche spätere wirtschaftliche Verwertung der Projektergebnisse erarbeitet.

CO2METH Pro wurde als Sondierungsprojekt im Rahmen des Energieforschungsprogramms durchgeführt und adressiert unmittelbar den Ausschreibungsschwerpunkt „Wasserstoff, erneuerbare Gase und Carbon Capture, Utilisation and Storage (CCUS)“. Mit der stofflichen Nutzung von CO₂ zur Methanolherstellung leistet CO2METH Pro einen direkten Beitrag zu diesen Programmzielen: CO₂-

Emissionen werden dauerhaft gebunden, fossile Rohstoffe in chemischen Wertschöpfungsketten substituiert und der Aufbau heimischer, kreislauforientierter Wertschöpfungsketten unterstützt. Die Projektergebnisse tragen damit zu den Nachhaltigkeitszielen SDG 9 (Industrie, Innovation und Infrastruktur), SDG 12 (nachhaltige Konsum- und Produktionsmuster) und SDG 13 (Klimaschutz) bei.

3 Inhaltliche Darstellung

3.1 Katalysatorentwicklung und Upscaling

Ausgehend vom ursprünglichen Syntheseprotokoll wurde die Herstellung des Mangan-promotierten MoS_2 -Katalysatorsystems nach einem Design-of-Experiment-Ansatz systematisch optimiert. Untersucht wurden dabei insbesondere der Einfluss der Synthesetemperatur sowie der Anteil des Promotors auf die katalytischen Schlüsselparameter Methanolausbeute und -selektivität (Abbildung 1). Es zeigte sich, dass eine bestimmte Kombination aus Synthese- und Reaktionstemperatur sowie Mn/Mo-Verhältnis die Methanolausbeute maximiert; die CO_2 -Umsetzungsrate (single pass) konnte dadurch im Vergleich zur Ausgangssituation mehr als verdoppelt werden. Die Methanolselektivität liegt über einen weiten Parameterbereich bei bis zu 98 % und reagiert vergleichsweise unempfindlich auf Variationen der Syntheseparameter.

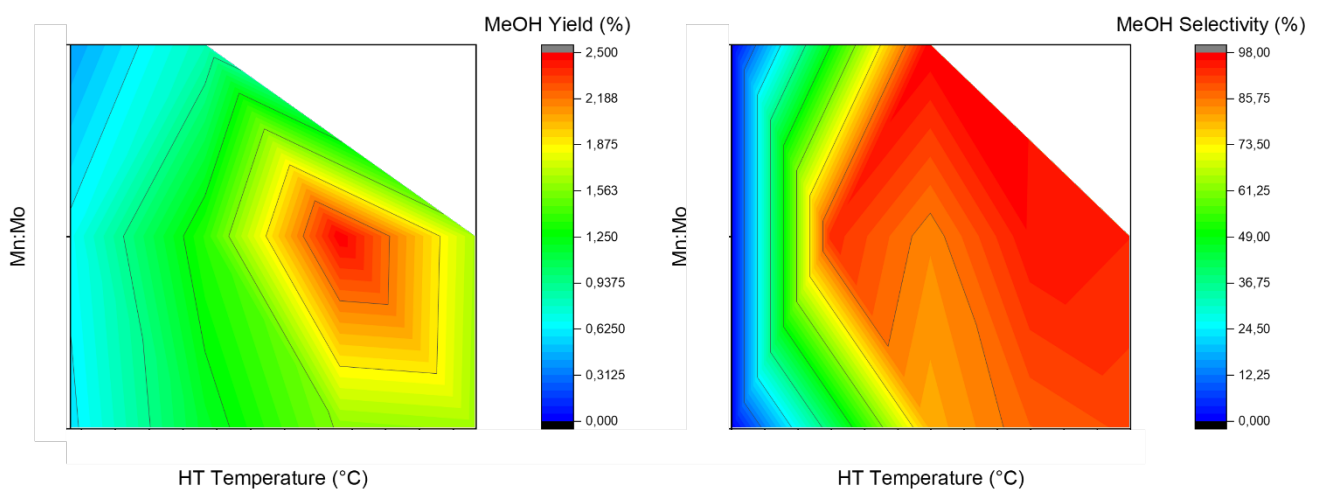


Abbildung 1: Einfluss von Synthesetemperatur und Mn/Mo-Verhältnis auf Methanolausbeute (links) und -selektivität (rechts).

Begleitende Materialcharakterisierungen (Röntgendiffraktion, Elektronenmikroskopie) ermöglichten die Ableitung einer grundlegenden Struktur-Eigenschafts-Beziehung: Neben MoS_2 als Hauptkomponente wurde die Ausbildung einer Mangan-Molybdän-Mischoxidphase als entscheidend für die katalytischen Eigenschaften identifiziert. Über deren Verhältnis zu MoS_2 und Molybdänoxid ließen sich zwei Kennzahlen ableiten, mit denen sich der Syntheserfolg einfach überprüfen lässt. Elektronenmikroskopisch zeigte sich zudem eine charakteristische Morphologie aus MoS_2 -„Nanoflowers“ und Schichtstrukturen.

In Kooperation mit einem Katalysatorhersteller wurde das optimierte Syntheseprotokoll erfolgreich in einen ersten Upscaling-Prozess übertragen, ohne dass dabei Einbußen bei Ausbeute oder Selektivität festgestellt wurden. Für weitere Skalierungsstufen werden aktuell die Materialanforderungen geprüft, um sulfidbedingte Korrosionseffekte an den Syntheseapparaturen zu vermeiden.

Um ausreichende mechanische Stabilität und Operabilität für die spätere großtechnische Anwendung sicherzustellen, wurde die Aktivkomponente MoS_2 auf verschiedene Trägermaterialien aufgebracht; als am besten geeignet erwiesen sich Zinkoxid (ZnO), Zinksulfid (ZnS). Mit Molybdänoxid als Träger zeigte sich eine besondere katalytische Eigenschaft: Durch Optimierung des Abscheideprozesses konnte die erforderliche Beladungsmenge auf nur wenige Gewichtsprozent MoS_2 reduziert werden, wobei die Ausbildung ausgedehnter MoS_2 -„Patches“ aus wenigen atomaren Schichten für die katalytische Performance entscheidend war.

Die geträgerten Katalysatoren wurden anschließend zu Formkörpern weiterverarbeitet: Das Material wurde mit einem Binder und einem Plasticizer zu einer Suspension vermischt, extrudiert, zu Pellets geschnitten und thermisch nachbehandelt. Durch Optimierung des Verhältnisses von Katalysator, Binder und Plasticizer konnte die Form- und mechanische Stabilität der Pellets bereits verbessert werden; eine weitere Steigerung ist erforderlich, wofür erste quantitative Prüfmethoden evaluiert wurden.

3.2 Katalytische Testreaktionen und Materialcharakterisierung

Die kontinuierlichen katalytischen Testreaktionen dienten primär zur Unterstützung der Katalysatorentwicklung und lieferten zugleich wichtige kinetische Daten – u. a. zur Reaktionsordnung – für die spätere Prozesssimulation. Es zeigte sich, dass eine Erhöhung des Wasserstoffanteils im Gasfeed über das stöchiometrische Verhältnis von 3:1 hinaus die Methanolproduktion steigert; die techno-ökonomische Analyse zeigte jedoch, dass dem eine Verschlechterung der Wirtschaftlichkeit durch die zusätzlichen Wasserstoffkosten gegenüberstehen würde.

Vor dem Hintergrund der in der Marktanalyse identifizierten Herausforderungen bei Verfügbarkeit und Kosten von Wasserstoff wurden auch Testreaktionen mit $\text{CO}/\text{CO}_2/\text{H}_2$ -Gasgemischen durchgeführt, wie sie bei der Biomassevergasung als sogenanntes biogenes Synthesegas anfallen und eine günstigere Wasserstoffquelle darstellen würden. Die bisherigen Ergebnisse zeigen, dass bei dieser Feedzusammensetzung eine moderate Erhöhung der Reaktionstemperatur notwendig ist, um eine – vollständig reversible – Aktivitätsminderung durch CO -Adsorption zu vermeiden. Ergänzend konnte in einem Langzeitexperiment über einen Zeitraum von mehr als 1.500 Stunden die Stabilität des Katalysators nachgewiesen werden.

Durch Versuche im erweiterten Parameterraum konnte darüber hinaus erfolgreich gezeigt werden, dass der MoS_2 -Katalysator auch unter variierten Druck- und Temperaturbedingungen eine hohe Aktivität und Selektivität zum gewünschten Produkt Methanol aufweist. Für diese Versuche kam ein sogenannter „Compact Profile Reactor“ (CPR) zum Einsatz, der neben variablen Reaktionsbedingungen auch die Aufzeichnung des Reaktionsprofils entlang des Katalysatorbetts ermöglicht. Die daraus gewonnenen Daten erlaubten zudem die Bestimmung der initialen Reaktionsrate und lieferten damit wertvolle Eingangsgrößen zur Entwicklung eines Kinetikmodells.

3.3 Prozessentwicklung und -simulation

Für die Bewertung des CO₂METH Pro Gesamtprozesses wurde zunächst ein grundlegendes Prozessfließbild erstellt und anschließend in der Simulationssoftware ASPEN Plus implementiert (Abbildung 2). Die Feedströme CO₂ und H₂ werden dabei über ein Kompressornetzwerk auf Reaktionsdruck gebracht, im Reaktor zu Methanol umgesetzt, das entstehende Methanol/Wasser-Gemisch in Flash-Separatoren von nicht umgesetzten Eduktgasen getrennt – welche über einen Recyclingstrom rückgeführt werden – und das Methanol abschließend destillativ gemäß dem industriellen IMPCA-Standard aufgereinigt. Die Simulation wurde in weiterer Folge um ein Wärmerückgewinnungsnetzwerk erweitert, das die im Reaktor freiwerdende Wärme u. a. zur Vorheizung des Inputstroms sowie als Energiequelle für die Destillation nutzt.

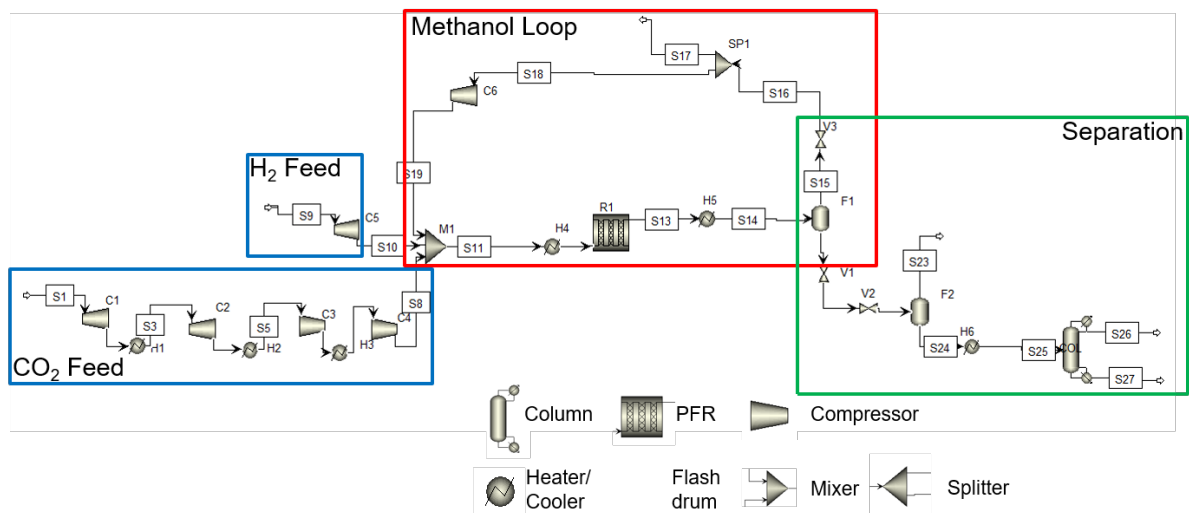


Abbildung 2: Umsetzung des Prozessfließbilds von CO₂METH Pro in ASPEN Plus.

Während die Funktionsfähigkeit der Simulation anhand etablierter Kinetikmodelle für den industriellen Cu-Referenzkatalysator verifiziert wurde, war für die neuentwickelten MoS₂-Katalysatoren die Erstellung eines eigenen Kinetikmodells erforderlich, das auf Basis der eigenen experimentellen Daten – einschließlich jener aus den externen Versuchen im erweiterten Parameterraum – sowie ergänzender Literaturwerte entwickelt wurde. Auf dieser Basis konnten für CO₂METH Pro optimierte Reaktionsparameter identifiziert werden. Über den gesamten untersuchten Druckbereich hinweg wurde durchgängig eine höhere Methanolausbeute prognostiziert als mit dem bisherigen Standardkatalysatorsystem, insbesondere bei niedrigeren Betriebsdrücken, was auf die höhere Selektivität des MoS₂-Katalysators zurückzuführen ist.

Basierend auf der Prozesssimulation wurden Massen- und Energiebilanzen für ein konkretes Anwendungsszenario berechnet, in dem CO₂ aus einer Bioethanolanlage zur Methanolherstellung für einen Abnehmer aus der SAF-Produktion (Sustainable Aviation Fuels) genutzt wird. Als Zielkapazität wurde eine Methanolanlage mit 50.000 t Jahreskapazität definiert; dabei wurden Methanolausbeuten von bis zu 89 % bei 30 bar und 94 % bei 40 bar erzielt. Es zeigte sich jedoch, dass die damit verbundenen höheren Rückführungsverhältnisse die Betriebskosten erhöhen.

3.4 Techno-ökonomische Analyse

Auf Basis der Massen- und Energiebilanzen aus Kapitel 3.3 wurde eine techno-ökonomische Analyse (TEA) für das Referenzszenario einer 50.000-t-Methanolanlage auf Basis biogenen CO₂s durchgeführt. Die Investitionskosten (CAPEX) werden dabei hauptsächlich vom Methanolreaktor sowie vom für den Betriebsdruck erforderlichen Kompressornetzwerk bestimmt. Mit CO₂METH Pro wurden gegenüber dem CZA-Referenzprozess Einsparungen von bis zu 8 Mio. € identifiziert. Der größte Kostenvorteil resultiert aus dem Wegfall von CO₂-Kompressorstufen durch den niedrigeren Betriebsdruck; dies erlaubt zudem, bei H₂-Bereitstellung via PEM-Elektrolyse auf zusätzliche Verdichtereinheiten zu verzichten, während der geringere Betriebsdruck auch die Materialanforderungen an den Reaktor reduziert.

Die berechneten spezifischen Investitionskosten liegen im gewünschten Zielkorridor von unter 1.200 €/t, jedoch oberhalb mancher Literaturwerte für größere Anlagenkapazitäten (> 150 kt/a); zur Nutzung entsprechender Skaleneffekte wird die Bündelung nahegelegener CO₂-Quellen (CO₂-Pooling) angedacht, was Teil des geplanten Folgeprojekts „GreenSynergy“ ist.

Auch bei den Betriebskosten (OPEX) zeigten sich deutliche Einsparungen von bis zu 159 €/t Methanol gegenüber dem CZA-Prozess (Abbildung 3); anders als bei den Investitionskosten führt hier ein höherer Betriebsdruck tendenziell zu niedrigeren Kosten, da die höheren Umsätze das Rückführverhältnis und damit den Energiebedarf für Verdichtung und Beheizung senken.

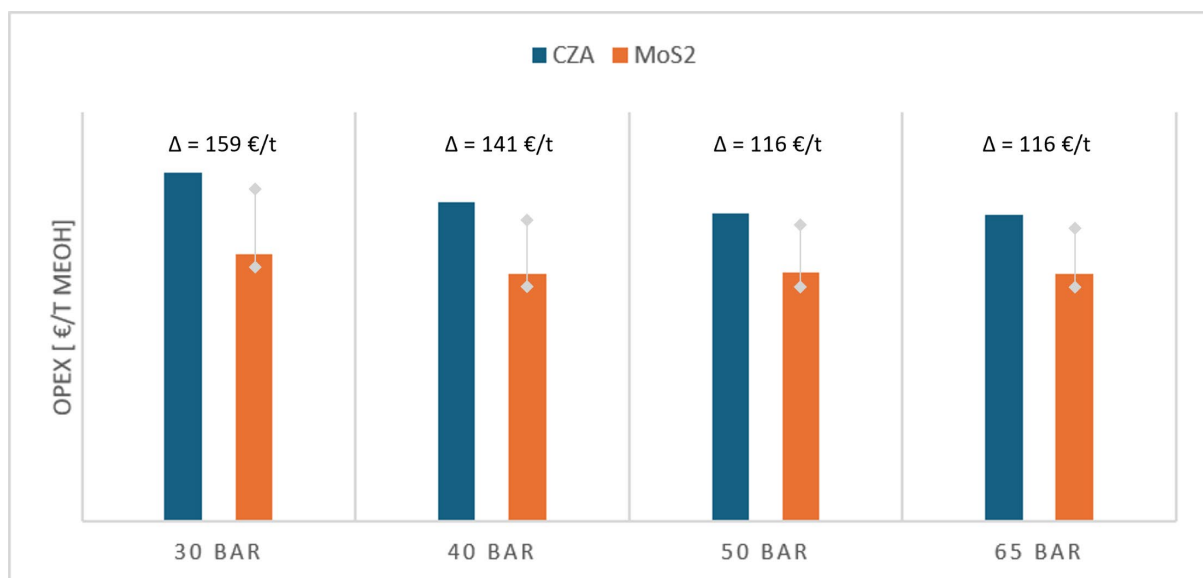


Abbildung 3: Vergleich der Betriebskosten (OPEX) je Tonne Methanol: MoS₂-Katalysator vs. CZA-Referenzprozess bei unterschiedlichen Betriebsdrücken.

Eine ergänzende Sensitivitätsanalyse identifizierte die Wasserstoffkosten als dominanten Kostenfaktor: Sie machen rund drei Viertel der gesamten Betriebskosten aus (74,9 % beim MoS₂-Katalysator, Abbildung 4), gefolgt von indirekten Betriebskosten (Arbeit, Wartung, Administration, ca. 18 %) und der CO₂-Bereitstellung (ca. 7 %); die Kosten der Katalysatormaterialien selbst sind vernachlässigbar. Trotz der durch CO₂METH Pro erzielten Kostenreduktion ist daher auch mittelfristig mit einem Preisaufschlag gegenüber fossil hergestelltem Methanol zu rechnen. Um die formulierten Zielkosten von unter 600 €/t zu erreichen, ist laut TEA bei den im biogenen Bereich üblichen CO₂-Quellengrößen ein

Wasserstoffpreis von unter 3 €/kg erforderlich – ein Preisniveau, das nach Anbieterdiskussionen mit der Nutzung von biogenem Synthesegas aus der Biomassevergasung erreichbar erscheint.

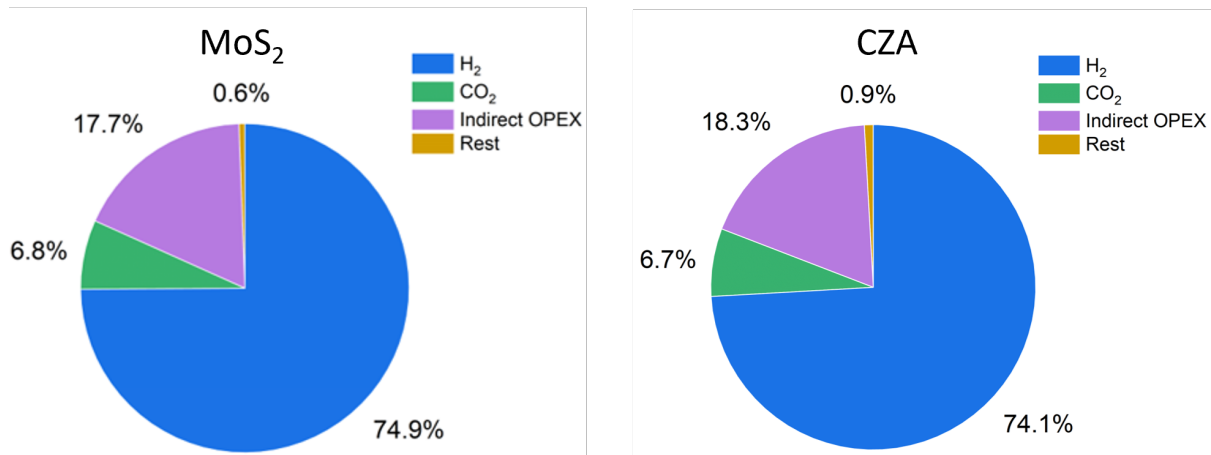


Abbildung 4: Anteilige Aufschlüsselung der Betriebskosten für MoS₂-Katalysator und CZA-Referenzprozess.

Im direkten Vergleich mit Wettbewerbstechnologien zeigte sich CO₂METH Pro auch in konkreten Business-Case-Berechnungen deutlich im Vorteil: Für eine detailliert betrachtete 50-kt-Anlage wurden gegenüber einem analogen CZA-basierten Prozess Investitionskosteneinsparungen von 15 % sowie jährliche Betriebskosteneinsparungen von 5 Mio. € berechnet, wodurch sich die Payback-Periode um 30 % verkürzt. Gegenüber alternativen Verwertungspfaden für biogenes CO₂ – insbesondere der Methanisierung (Sabatier-Reaktion) – bietet Methanol als chemischer Grundstoff und Schiffskraftstoff ein höheres Wertschöpfungspotential; zudem zeigen die MoS₂-Katalysatoren eine deutlich höhere Vergiftungsresistenz als die in der Methanisierung üblichen Nickel-Katalysatoren, wodurch Zusatzkosten für die Gasaufreinigung vermieden werden. Gegenüber „blauem Methanol“ (konventionelle Herstellung mit CO₂-Abscheidung, CCS) ergeben sich zumindest mittelfristig noch Kostennachteile, da bei CO₂METH Pro anders als bei CCS Wasserstoffkosten anfallen. In Anwendergesprächen mit Akteuren des Methanolmarkts wird CCS jedoch überwiegend als Zwischenlösung betrachtet.

3.5 Markt- und Umfeldanalyse

Die begleitende Markt- und Umfeldanalyse zeichnete ein zweigeteiltes Bild: Auf strategisch-langfristiger Ebene bestätigten nahezu alle relevanten Marktstudien und Prognosen sowie die geführten Gespräche mit potenziellen Technologieanwendern ein erhebliches Wachstumspotenzial für CCU-Technologien und erneuerbares Methanol. Im kürzeren und mittleren Zeithorizont prägten hingegen strukturelle Kostennachteile, regulatorische Unsicherheiten sowie die anhaltenden Auswirkungen der Kriege in der Ukraine und im Iran ein durchgehend schwieriges Umfeld – Letztere führten u. a. zu einem signifikanten Anstieg der fossilen Methanolpreise auf bis zu 915 €/t [MET26] (Stand 06/2026).

Im Austausch mit potenziellen Nutzern wurden wiederholt die Versorgungssicherheit mit Wasserstoff und dessen Kosten als zentrale Hindernisse für konkrete Investitionsentscheidungen genannt, während CO₂-bezogene Technologiebedenken eine untergeordnete Rolle spielten. Zusätzlich besteht regulatorische Unsicherheit bezüglich der Verbuchung von CCU-gebundenem CO₂ im EU-Emissionshandelssystem, wozu eine entsprechende ETS-Novelle erwartet wird, sowie hinsichtlich der ab 2027 zu evaluierenden

Beimischungsquoten für nachhaltige Flugtreibstoffe (SAF), für deren Herstellung Methanol eine wichtige Vorstufe darstellt.

Trotz dieses herausfordernden Umfelds wuchs die globale Projektpipeline für erneuerbares und CO₂-armes Methanol im Berichtszeitraum um rund 53 % bzw. ca. 21 Mt [MI26] (Abbildung 5); während des Projektzeitraums ging zudem die bisher größte europäische eMethanol-Anlage im dänischen Kassø in Betrieb. Die tatsächlich realistisch erzielbaren Mengen werden aufgrund von Umsetzungshürden – wie der Insolvenz des schwedischen Vorreiterunternehmens Liquid Wind im Mai 2026 [LW26] mangels langfristiger Abnahmeverträge – mit 5 bis 12 Mt für 2030 jedoch deutlich niedriger eingeschätzt.

Zeitpunkt	Erneuerbar (Mt)	CO ₂ -arm (Mt)	Gesamt (Mt)
November 2024	~31,8	~8,1	~39,9
April 2025	37,1	10,1	47,2
September 2025	43,9	10,1–9,3	53,9
Dezember 2025	45,1	11,2	56,3
März 2026	48,5	11,2	59,6
April 2026	49,8	11,2	~61,0

Abbildung 5: Entwicklung der global angekündigten Projektpipeline für erneuerbares und CO₂-armes Methanol (Quelle: Methanol Institute / GENA Solutions [MI26]).

Als Konsequenz aus der Marktanalyse wurde im Projekt gezielt an einer Reduktion der Wasserstoffkostenabhängigkeit gearbeitet: Aus der Prozesssimulation wurden Optimierungsoptionen wie die Rückgewinnung von unverbrauchtem H₂ aus dem Purge-Strom abgeleitet. Die Eignung von biogenem Synthesegas als alternative, günstigere H₂-Quelle wurde vertieft untersucht.

4 Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Das Projekt CO2METH Pro hat gezeigt, dass die am Institut für Materialchemie der TU Wien entwickelten MoS₂-basierten Katalysatoren eine technisch und wirtschaftlich vielversprechende Alternative zur etablierten CZA-Technologie für die stoffliche Nutzung von CO₂ zu Methanol darstellen. Die im Rahmen des Sondierungsprojekts formulierten Ziele wurden erreicht: Der Reifegrad der Technologie konnte deutlich erhöht und eine spätere industrielle Umsetzung fundiert vorbereitet werden.

Auf Ebene der Katalysatorentwicklung gelang es, das Syntheseprotokoll zu optimieren und in Kooperation mit einem renommierten Hersteller erfolgreich zu skalieren, ohne Einbußen bei Ausbeute oder Selektivität. Die Weiterverarbeitung zu geträgerten Formkörpern wurde erfolgreich demonstriert; an der weiteren Verbesserung ihrer mechanischen Stabilität wird gearbeitet.

Durch Versuche im erweiterten Parameterraum konnte zudem erfolgreich gezeigt werden, dass der Katalysator auch unter variierten Druck- und Temperaturbedingungen eine hohe Aktivität und Selektivität zu Methanol aufweist, die daraus gewonnenen Daten flossen direkt in das für die Prozesssimulation

entwickelte Kinetikmodell ein. Die auf dieser Basis in ASPEN Plus durchgeführte Simulation bestätigte über den gesamten untersuchten Druckbereich eine höhere Methanolausbeute als mit dem bisherigen Standardkatalysator.

Die techno-ökonomische Analyse bestätigte deutliche Kostenvorteile von CO₂METH Pro gegenüber dem kommerziellen CZA-Prozess: Für eine 50.000-t-Referenzanlage wurden Einsparungen von bis zu 8 Mio. € bei den Investitions- und bis zu 159 €/t bei den Betriebskosten identifiziert; im direkten Wettbewerbsvergleich verkürzte sich die Payback-Periode um 30 %. Da Wasserstoff jedoch rund drei Viertel der Betriebskosten ausmacht, ist auch mittelfristig mit einem Preisaufschlag gegenüber fossil hergestelltem Methanol zu rechnen, solange kein ausreichend günstiger, erneuerbarer Wasserstoff verfügbar ist. Die im Projekt untersuchte Nutzung von biogenem Synthesegas aus der Biomassevergasung stellt hierfür einen vielversprechenden Lösungsansatz dar.

Die Markt- und Umfeldanalyse zeigte ein anspruchsvolles, aber grundsätzlich wachstumsstarkes Umfeld: Die globale Projektpipeline für erneuerbares Methanol wuchs im Berichtszeitraum um rund 53 %, auch wenn kurz- bis mittelfristig regulatorische Unsicherheiten, geopolitische Einflüsse und die dominante Rolle der Wasserstoffkosten die konkrete Investitionsbereitschaft potenzieller Anwender dämpfen.

Die Projektergebnisse wurden im Berichtszeitraum breit in Fachöffentlichkeit und Öffentlichkeit kommuniziert: Eine wissenschaftliche Publikation erschien als Open-Access-Artikel im Journal of Materials Chemistry A [ALV26], weitere Publikationen sind unter Wahrung des IP-Schutzes nach erfolgter Patentanmeldung geplant. Das Projekt wurde zudem auf mehreren internationalen Fachkonferenzen präsentiert, u. a. beim Circular Carbon Economy Summit, dem Grüne Gase Kongress, der NOVA Conference on CO₂ based fuels and chemicals, Europacat sowie der IMPCA Winterkonferenz. Eine Masterarbeit wurde im Projektzeitraum erfolgreich abgeschlossen, zwei weitere stehen kurz vor der Fertigstellung.

In Summe bestätigen die Projektergebnisse das technische und wirtschaftliche Potential der MoS₂-Katalysatortechnologie und liefern eine belastbare Grundlage – von der Synthesekalierung über die Prozessauslegung bis zur techno-ökonomischen Bewertung –, um die Technologie weiter in Richtung industrieller Anwendung zu entwickeln.

5 Ausblick und Empfehlungen

Aufbauend auf den erzielten Ergebnissen ergeben sich für die Weiterentwicklung von CO₂METH Pro mehrere konkrete nächste Schritte. Auf technischer Seite stehen die Fortsetzung der Skalierung der Katalysatorsynthese über den erreichten hinaus – unter besonderer Berücksichtigung sulfidbedingter Korrosionseffekte an den Syntheseapparaturen – sowie die weitere Verbesserung der mechanischen Stabilität der Katalysatorformkörper im Vordergrund. Hierfür werden aktuell quantitative Prüfmethode etabliert. Parallel dazu soll die Nutzung von biogenem Synthesegas als kostengünstigere Wasserstoffquelle weiter vertieft werden, um die Wasserstoffkostenabhängigkeit der Technologie zu reduzieren.

Zur Nutzung von Skaleneffekten bei größeren Anlagenkapazitäten ist im geplanten Folgeprojekt „GreenSynergy“ die Bündelung mehrerer, räumlich naheliegender CO₂-Quellen (CO₂-Pooling) vorgesehen.

Für die mittelfristige Verwertung der Projektergebnisse ist die Errichtung einer vorindustriellen Demonstrationsanlage mit einer Kapazität von rund 10.000 t Methanol pro Jahr vorgesehen. Zur organisatorischen Umsetzung dieser Verwertungsschritte plant das Projektteam die Ausgründung eines Spin-off-Unternehmens.

Das langfristige Potential der Technologie wird zusätzlich durch regulatorische Entwicklungen in Österreich gestützt: Mit dem im Regierungsprogramm verankerten „Erneuerbare-Gase-Gesetz“ wird bis 2030 ein Ausbauziel von 1 TWh/Jahr für heimisches Biomethan angestrebt; der dabei intrinsisch anfallende biogene CO₂-Nebenstrom eröffnet ein zusätzliches Rohstoffpotential von rund 120.000 bis 150.000 t CO₂ pro Jahr, das aufgrund der hohen Verunreinigungstoleranz der MoS₂-Katalysatoren in weiten Teilen über CO₂METH Pro erschließbar sein sollte.

Aus den gewonnenen Erkenntnissen lassen sich folgende Empfehlungen für die weitere Entwicklung ableiten:

- Verfügbarkeit von kostengünstigem, erneuerbarem Wasserstoff als kritischen Erfolgsfaktor konsequent mitdenken und alternative, günstigere H₂-Quellen wie biogenes Synthesegas zielgerichtet weiterentwickeln.
- Potenzielle Technologieanwender aktiv beim Aufbau neuer Vermarktungsrouten und langfristiger Abnahmeverträge für erneuerbares Methanol unterstützen, da fehlende Abnahmeverpflichtungen sich in der Praxis bereits als zentrales Umsetzungshindernis erwiesen haben.
- Regulatorische Entwicklungen – insbesondere die anstehende ETS-Novelle zur Verbuchung von CCU-gebundenem CO₂ sowie die Evaluierung der SAF-Beimischungsquoten ab 2027 – laufend verfolgen und deren Auswirkungen auf die Verwertungsstrategie berücksichtigen.
- Skaleneffekte durch CO₂-Pooling und größere Anlagenkapazitäten im Folgeprojekt „GreenSynergy“ gezielt evaluieren, um die spezifischen Investitionskosten weiter zu senken.

Insgesamt liefert CO₂METH Pro eine solide technologische und wirtschaftliche Grundlage, um die stoffliche Nutzung von CO₂ zu Methanol als Beitrag zu einer defossilierten chemischen Industrie in Österreich in den kommenden Jahren zur industriellen Reife zu führen.

6 Literaturverzeichnis

[ALV24] Alves, G. A. et al., Mn-Promoted MoS₂ Catalysts for CO₂ Hydrogenation: Enhanced Methanol Selectivity Due to MoS₂/MnO_x Interfaces. Catal. Sci. Technol. 2023.

[ALV26] Alves, G. A. et al., Few-layer MoS₂ dispersion induced by sulfur atom sharing to promote CO₂ hydrogenation to methanol, J. Mater. Chem. A (2026) 14 (44): 29662–29671

[BEA14] Beale, A.M. et al., Chemical Imaging of the sulfur-induced deactivation of Cu/ZnO catalyst bodies, Journal of Catalysis, 314, 94-100, 2014.

[FIC15] Fichtl M.B. et al., Kinetics of deactivation on Cu/ZnO/Al₂O₃ methanol synthesis catalysts, Applied Catalysis A, 502, 262, 2015.

[LW26] Liquid Wind AB, www.liquidwind.com/news/liquid-wind-ab-declared-bankrupt, last accessed 28.7.2026.

[MET26] Methanex Methanol Price sheet, available at <https://www.methanex.com/our-products/about-methanol/pricing/>, last accessed 26.07.2026

[MI26] Methanol Institute: Renewable Methanol Database, <https://www.methanol.org/renewable/>, last accessed 24.7.2026.

[PAC21] Pacholik, G. et al., In Situ XPS Studies of MoS₂-Based CO₂ Hydrogenation Catalysts. J. Phys. Appl. Phys. 2021, 54 (32), 324002.

7 Anhang

8 Kontaktdaten

ProjektleiterIn: Karin Föttinger

Institut/Unternehmen: TU Wien, Institut für Materialchemie

Kontaktadresse:

Getreidemarkt 9/BC, 1060 Wien,

karin.foettinger@tuwien.ac.at

<https://www.tuwien.at/tch/pc/technische-katalyse>