

E-Methanol für maritime Anwendungen

Herausforderungen und Chancen

Fabian Klein

Sektorenkopplung, E-Fuels, Carbon Capture and Utilisation (CCU), Energiewende, Dekarbonisierung, Nachhaltige Schiffsantriebe

Der Klimawandel stellt eine der größten globalen Herausforderungen dar, wobei die Schifffahrt als bedeutender CO₂-Verursacher besonders im Fokus steht. Bremerhaven hat sich als Kompetenzzentrum für Wasserstofftechnologien und deren Derivate etabliert, mit besonderem Augenmerk auf grüne Energie und nachhaltige Kraftstoffe.

Das Projekt MariSynFuel dient als Leuchtturminitiative zur Etablierung einer Demonstrationsinfrastruktur für die Produktion von E-Methanol. Ziel ist es, die gesamte Wertschöpfungskette von CO₂-Erfassung über Wasserstoffproduktion bis hin zur Methanolsynthese aufzubauen. Damit soll E-Methanol als klimafreundlicher Kraftstoff in der Schifffahrt etabliert und Bremerhaven als führender Standort für nachhaltige Energielösungen weiter gestärkt werden.

1. Einleitung und Zielsetzung

Die effektive Erreichung der Klimaziele erfordert eine sektorübergreifende Reduktion der CO₂-Emissionen, die nur durch die konsequente Nutzung erneuerbarer Energien ermöglicht wird. Trotzdem bleibt die Schifffahrt ein bedeutender Verursacher von CO₂-Emissionen aufgrund der Verwendung fossiler Brennstoffe. Die Elektrifizierung und der direkte Einsatz von Wasserstoff stoßen insbesondere bei größeren Schiffen an praktische Grenzen. Wasserstoffderivate, die aus grünem Wasserstoff und recyceltem CO₂ hergestellt werden, bieten eine vielversprechende Lösung, um diese Lücke zu schließen und einen entscheidenden Beitrag zur Erreichung der Klimaziele zu leisten.

Grünes Methanol hat sich als zentraler Energieträger für die zukünftige Schifffahrt herauskristallisiert, jedoch sind noch zahlreiche Fragen im Bereich der industriellen Bereitstellung offen. Neben der Entwicklung großer Produktionsanlagen spielt auch der Aufbau der notwendigen Infrastruktur eine entscheidende Rolle. Während die grundlegende Technologie für die synthetische Methanolherstellung aus grünem Wasserstoff und CO₂ bereits erforscht ist, besteht weiterer Bedarf an Forschung und Entwicklung im industriellen Maßstab. Der Kohlenstoff für die Synthese kann aus Rauchgasen recycelt oder aus umliegenden Biogasanlagen gewonnen werden, wodurch das produzierte Methanol als klimaneutraler synthetischer Kraftstoff betrachtet werden kann.

Methanol als Kraftstoff wurde in der Schifffahrt bislang überwiegend experimentell genutzt, gilt aber in seiner grünen Form als aussichtsreich für einen klimaneutralen Schiffsverkehr. Dazu müssen sich jedoch nicht nur die Schiffe wandeln, sondern auch die Häfen.

Das übergeordnete Ziel besteht darin, E-Methanol als zukunftsfähigen Kraftstoff in den maritimen Markt zu integrieren und die dafür notwendige Infrastruktur aufzubauen. Ein zentraler Bestandteil dieser Strategie ist die Etablierung Bremerhavens als Produktions- und Logistikstandort für E-Methanol. Neben der Errichtung von Produktionskapazitäten soll die Stadt als zentrale Bebunkerungsstätte für die maritime Industrie dienen. Dies erfordert den systematischen Aufbau einer umfassenden Infrastruktur für die Herstellung, Speicherung und Distribution von E-Methanol sowie dessen nahtlose Integration in bestehende maritime Versorgungsketten.

Zur erfolgreichen Markteinführung von E-Methanol werden verschiedene strategische Maßnahmen auf technologischer, wirtschaftlicher und regulatorischer Ebene umgesetzt. Der Aufbau einer Testinfrastruktur für Wasserstoff und Wasserstoffderivate bildet eine essenzielle Grundlage für die Etablierung alternativer Energieträger. Der Weg von der Forschung und Entwicklung zur industriellen Anwendung erfordert eine enge Zusammenarbeit zwischen Wissenschaft, Industrie und Politik.

2. Aktueller Stand der Technik und Entwicklungen in Forschung und Industrie

Die Defossilisierung der sogenannten „hard to abate“-Sektoren stellt eine der größten Herausforderungen der Energiewende dar. Insbesondere die Schifffahrt benötigt nachhaltige Alternativen zu fossilen Treibstoffen, um die Klimaziele zu erreichen. Derzeit dominieren noch fossile Energieträger, wie Schweröl (HFO) und Marine Gasöl (MGO) den Schiffsverkehr als Hauptkraftstoffe, da sie kostengünstig und weit verbreitet sind.

Methanol ist ein vielseitiger Rohstoff der chemischen Industrie und wird auch in seiner „grauen“ Form als Kraftstoff, zur Beimischung oder als Zwischenprodukt genutzt. Die konventionelle Herstellung von Methanol basiert auf fossilen Rohstoffen wie Kohle, Erdöl oder Erdgas [1]. Als Herstellungsverfahren haben sich sowohl die partielle Oxidation von Methan Gl. (1) als auch die Synthesegasherstellung im Dampfreformierungsprozess Gl. (2) und der jeweils nachgeschalteten CO-Hydrierung Gl. (3) durchgesetzt.



Die Herstellung von „grünem“ Methanol setzt zum einen grünen Wasserstoff voraus, der im Elektrolyseverfahren mit Hilfe von elektrischem Strom aus erneuerbaren Energiequellen hergestellt wird, als auch recyceltes CO₂. Die konventionelle Methanolsynthese kann insofern adaptiert werden, dass ein Synthesegas aus Wasserstoff und Kohlenstoffdioxid hergestellt wird und im nächsten Schritt die CO-Hydrierung zu Methanol erfolgt. Die reverse Wassergas-Shift Reaktion (rWGS) beschreibt die Synthesegasherstellung aus Kohlenstoffdioxid und Wasserstoff.



Ein innovatives Reaktionsverfahren stellt die direkte CO₂-Hydrierung zu Methanol unter Abspaltung von Wasser dar. Dieses Verfahren benötigt nicht die vorgeschaltete rWGS, erfordert jedoch eine verbesserte Produktrückführung, als auch Produktaufbereitung.



In der Praxis sind noch viele Fragen offen, insbesondere hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit und der großtechnischen Umsetzung. Während in der Schifffahrt verschiedene alternative Energieträger diskutiert werden, bleibt unklar, welche Technologie sich langfristig durchsetzen wird. Neben E-Methanol gelten auch LNG und Ammoniak als mögliche Optionen. Derzeit setzen viele Reedereien noch auf konventionelle Kraftstoffe oder rüsten Neubauten mit Bi-Fuel-Tech-

nologien aus, die sowohl fossile als auch alternative Kraftstoffe nutzen können [2]. Die Unsicherheit über die zukünftige Infrastruktur ist groß, da Investitionen in Produktions- und Versorgungsstrukturen mit erheblichen Risiken verbunden sind, solange die Abnehmerseite nicht eindeutig geklärt ist. Gleichzeitig müssen zahlreiche regulatorische Vorgaben zur Herstellung und Nutzung von E-Methanol beachtet werden.

Ein weiteres zentrales Thema ist die Bereitstellung von Kohlenstoffdioxid. Die Frage, wie ausreichende Mengen effizient transportiert und genutzt werden können. Während Direct-Air-Capture-Technologie (DAC) nicht auf CO₂-reiche Abgasströme angewiesen ist, gehen auf Grund der geringen CO₂-Konzentration in der Luft erhöhte Energiekosten einher. Ebenso wichtig ist die Entwicklung tragfähiger Betriebskonzepte, die eine kontinuierliche und wirtschaftliche Produktion ermöglichen. Die Herausforderung besteht darin, wettbewerbsfähige Preise für E-Methanol zu definieren, die sowohl wirtschaftlich tragfähig als auch für die Schifffahrtsbranche attraktiv sind.

Der maritime Sektor steht vor einer grundlegenden Transformation, in der technologische Innovationen, wirtschaftliche Rahmenbedingungen und politische Weichenstellungen eng miteinander verknüpft sind.

Bremerhaven positioniert sich zunehmend als führendes Kompetenzzentrum für Wasserstofftechnologien und Wasserstoffderivate wie Methanol. Eine Reihe innovativer Forschungs- und Entwicklungsprojekte tragen dazu bei, diese Technologien weiterzuentwickeln und zu etablieren. Das ttz Bremerhaven ist maßgeblich an mehreren Schlüsselprojekten beteiligt.

Ein zentrales Vorhaben ist der Bau und die Einrichtung eines H₂-Technikums, das modernste Labor- und Technikumsanlagen zur Herstellung von E-Fuels beherbergen wird. Neben einer umfassenden Analytik bietet das Technikum vielfältige Synthesemöglichkeiten, u. a. zur Entwicklung und Optimierung von Katalysatoren. Ergänzt wird die Infrastruktur durch einen Bi-Fuel-Motorenprüfstand, der sowohl für Methanol als auch für Wasserstoff ausgelegt ist. Die Nutzung des Technikums ist für das dritte Quartal 2025 vorgesehen.

Darüber hinaus befindet sich ein Testzentrum für wasserstoffbetriebene Fahrzeuge in der konkreten Planungsphase, welches eine hochmoderne Testumgebung für wasserstoffbetriebene Fahrzeuge ermöglicht. Neben dem Testzentrum, ermöglicht der Aufbau eines innovativen H₂-3D-Versuchsstandes für maritime Anwendungen – dem sogenannten „Seegangssimulator“ – die Erprobung von Wasserstoffkomponenten und Komplettsystemen unter realistischen Betriebsbedingungen im dreidimensionalen Raum. Diese europaweit einzigartige Infrastruktur wird der maritimen Industrie, insbesondere dem Schiffbau und der Zulieferbranche, die Möglichkeit bieten, neue Wasserstofftechnologien unter praxisnahen Bedingungen zu testen. Das Forschungsprojekt „MariSynFuel“ gliedert sich in die sich entwickelnde Testinfrastruktur ein und eröffnet großes Potential für die künftige Etablierung von E-Methanol durch den Bau einer entsprechenden Demonstrationsinfrastruktur.

Neben der Forschung und Entwicklung eröffnet die geschaffene Infrastruktur auch Potenziale für Wissenstransfer und Weiterbildung in Form von Schulungen, Workshops und Demonstrationsveranstaltungen.

3. Projekt MariSynFuel

Das Projekt „Synthetisches Methanol als maritimer Kraftstoff für die Schifffahrt aus Bremerhaven – MariSynFuel“ verfolgt das Ziel, flüssige, strombasierte Kraftstoffe zu etablieren, um CO₂-Emissionen fossiler Energieträger zu reduzieren. Grundlage dafür ist die Bereitstellung von grünem Wasserstoff und recyceltem CO₂ biogenen Ursprungs in ausreichender Menge sowie der Aufbau einer entsprechenden Infrastruktur.

Das Vorhaben wird im Rahmen des Gesamtkonzepts Erneuerbare Kraftstoffe mit insgesamt 6.586.425 € 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.

Ein zentraler Bestandteil des Projekts ist die Produktion von E-Methanol im Demonstrationsmaßstab. Die „Uthörn“, Forschungsschiff des Alfred-Wegener-Instituts (AWI, Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresforschung) ist das erste Seeschiff, das speziell für den Betrieb mit grünem Methanol konstruiert wurde, wodurch es nahezu CO₂-neutral auf der Nordsee unterwegs ist. Die geplante Demonstrationsanlage soll mindestens 500 kg synthetisches Methanol am Tag produzieren. Zur Gewährleistung des Betriebs der Methanolsyntheseanlage und der Abnahme des hergestellten Methanols wird im Rahmen des Projektes ein Be- und Vertriebskonzept erstellt, wodurch eine wirtschaftliche Betrachtung gewährleistet wird. Um den Kreislauf zu schließen, ist die Methanolproduktion an den Kraftstoffverbräuchen des Neubaus des Forschungsschiffes „Uthörn“ ausgerichtet und kann dort direkte Anwendung finden. In Bremerhaven wird grünes Methanol ab Pier verfügbar sein, wodurch sich die Stadt als

einer der wenigen europäischen Hafenstandorte für nachhaltige maritime Kraftstoffe positioniert.

Der Fokus liegt auf der vollständigen Wertschöpfungskette – von der CO₂-Erfassung und Wasserstoffherstellung über die Methanolsynthese und Bunkerung bis hin zur Implementierung des Methanols. Um die Technologie auf den notwendigen Reifegrad für eine erste industrielle Anwendung zu bringen, erfolgt die Entwicklung in zwei Größenstufen – zunächst im Labormaßstab und anschließend im Technikumsmaßstab. Dabei fördern enge Kooperationen mit Industriepartnern die technologische Reife und Markteinführung.

3.1 Anlagen- und Katalysatorentwicklung

Die Reaktorführung lässt sich in adiabatisch, nicht-adiabatisch (quasi-isotherm) sowie polytrop untergliedern. Während früher eher adiabatische Reaktorführungen gewählt wurden, sind heute quasi-isotherme Reaktoren Stand der Technik. Auch wurden die polytropen Reaktoren mit Quencheinspeisung überwiegend abgeschafft, da eine bessere Katalysatorvolumenausnutzung und Temperaturkontrolle möglich sind. Neben der Reaktorführung haben sich auch die Reaktorarten geändert, sodass gegenwärtig primär Festbettreaktoren mit Dampferzeugung zum Einsatz kommen [3].

Die Volumenkontraktion der Methanolsynthese weist auf eine Umsatzsteigerung bei erhöhten Drücken hin, weshalb die Labor- und Technikumsanlagen druckregelbar bis zu 100 bar ausgeführt werden. Exotherme katalytische Gasreaktionen stellen hohe Anforderungen an die Reaktorauslegung und Reaktorführung. Die einfachste Form der Reaktorführung ist die adiabate Betriebsweise, bei der sich die Temperaturbegrenzung lediglich indirekt über das Aktivitätsprofil oder kinetisch über die Verweilzeit limitieren lässt. Wandgekühlte Reaktorsysteme zeichnen sich durch eine aktive Temperierung aus und ermöglichen gezielt die Wärmeabfuhr über geeignete Wärmeträgermedien. Die Versuchsanlage im Technikumsmaßstab verfügt über einen Rohrbündelreaktor, der mit Thermalöl bis zu 350 °C temperiert werden kann. Dies ermöglicht, das System auf die gewünschte Versuchstempe-

Bild 1: Blochfließschema der Versuchsanlage

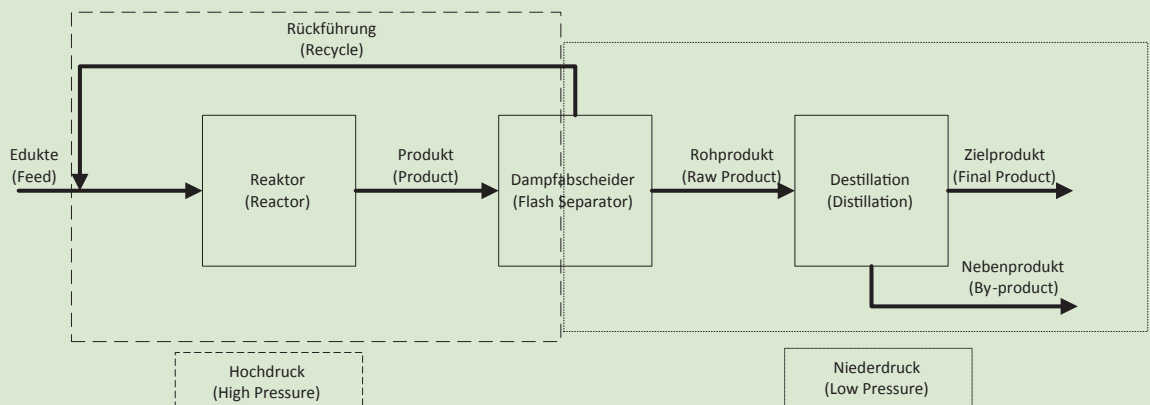
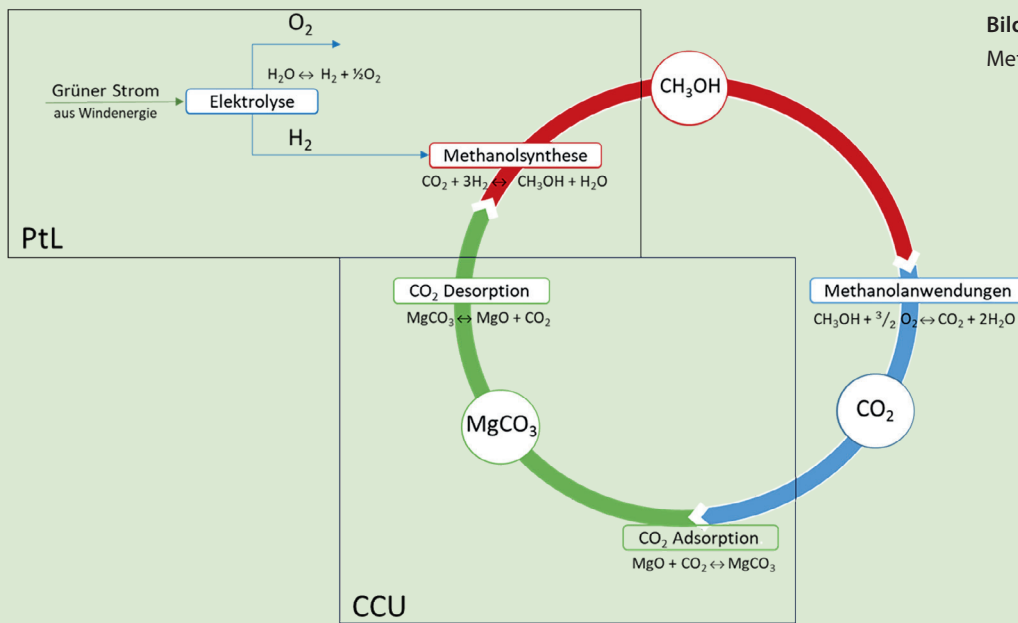


Bild 2: CO₂-Kreislauf am Beispiel der Methanolsynthese und -anwendung

ratur zu bringen und Temperaturüberhöhungen durch Wärmeabfuhr zu vermeiden. Die Hotspotbildung und damit die Überhöhung der maximalen Katalysatortemperatur schädigt den Katalysator irreversibel. Temperaturerhöhungen haben neben einer Einbuße im CO₂-Umsatz auch weitere wirtschaftliche Auswirkungen, da die kostspieligen Katalysatorsysteme ersetzt werden müssen, einhergehend mit Ausfallzeiten der Anlage. Die Temperaturbegrenzung wird vor allem bei der Anlagenskalierung umso wichtiger.

Die Gasaufbereitung ermöglicht es, nicht umgesetztes Eduktgas vom flüssigen Rohprodukt zu trennen und dieses über eine Gasrückführung erneut bereitzustellen. Die flüssig-flüssig Trennung von Methanol und Wasser erfolgt in einer Destillationskolonne. Bild 1 fasst den Aufbau in einem Blockfließschema zusammen. Die Anlage wurde zunächst über eine Prozesssimulation abgebildet und der Einfluss unterschiedlicher Prozessparameter auf das System untersucht. Dies war zwingend erforderlich, um die Anlagenkomponenten auslegen zu können. Eine experimentelle Validation unter dem Einsatz unterschiedlicher Katalysatorsysteme bildet die Grundlage für den Scale-Up.

Die CO₂-Methanolsynthese läuft gemäß Gl. (3) katalysiert ab, wodurch der Einsatz von Katalysatoren zur Reduzierung der Aktivierungsenergie notwendig ist. Im Rahmen der Forschungs- und Entwicklungsarbeiten entwickelt das ttz Bremerhaven effiziente Katalysatorsysteme. Im Gegensatz zu „State-of-the-Art“ Katalysatorsystemen (Festbettkatalysatoren), werden monolithische Katalysatoren auf Kupferbasis eingesetzt, die dem bisherigen Nachteil eines erhöhten Druckabfalls entgegenwirken und Stoff- sowie Wärmetransport intensivieren [4]. Da es sich bei der Methanolsynthese um eine exotherme Reaktion handelt, wirken sich niedrige Tem-

peraturen fördernd auf das thermodynamische Gleichgewicht aus. Daher ist die Nutzung von Katalysatoren, die bereits eine hohe Aktivität im niedrigen Temperaturbereich aufweisen besonders interessant.

3.2 CO₂ als Feedstock

Die Synthese von synthetischem Methanol setzt Kohlenstoffdioxid voraus. Gleichmaßen entsteht Kohlenstoffdioxid bei der Nutzung (Verbrennung) von Methanol. Um den CO₂ Kreislauf (Bild 2) zu schließen ist eine Erfassung des freigesetzten Kohlenstoffdioxids erforderlich. Da die direkte Erfassung an der Erzeugungsstelle nicht immer möglich ist und die CO₂ Konzentration in der Luft vergleichsweise gering ist, ist die Erfassung an CO₂-reichen Abgasströmen biogenen Ursprungs besonders interessant. Pflanzen binden das in der Luft enthaltene CO₂, wodurch der CO₂ Kreislauf vollständig geschlossen werden kann. Die sogenannte Carbon Capture and Utilization (CCU) Technologie ermöglicht über Absorption oder Adsorption eine CO₂-Erfassung. Ein besonders innovatives Verfahren ist die adsorptive CO₂-Bindung an Magnesiumoxid oder Calciumoxid. In diesem Verfahren wird CO₂ chemisch in Form von Carbonaten gebunden. Diese stabile Carbonatform ermöglicht den Transport und die Lagerung, als auch die gezielte Freisetzung von CO₂. Das Sorptionsmittel wird im Desorptionsverfahren zurückgebildet und kann erneut eingesetzt werden. Im technischen Maßstab werden die kontinuierliche Adsorption und erneute Rückbildung (Temperaturwechsel-Adsorption) angestrebt. Zu beachten ist an dieser Stelle der technologische Reifegrad, sodass für industrielle Anwendungen gegenwärtig auf Verfahren wie Aminwäsche, oder auch das inzwischen weiter ausgereifte Direct-Air-Capture (DAC) Verfahren gesetzt werden muss.

3.3 Demonstrationsinfrastruktur

Im Rahmen des Forschungsprojekts wird in Bremerhaven eine Demonstrationsinfrastruktur für E-Methanol aufgebaut, die die gesamte Wertschöpfungskette abbildet. Der Standort der E-Methanol-Anlage wurde strategisch gewählt, sodass sowohl eine biogene CO₂-Quelle als auch grüner Wasserstoff in unmittelbarer Nähe zur Verfügung stehen. Auch die Betankungsstation für das E-Methanol sowie der Liegeplatz des Forschungsschiffs Uthörn befinden sich in direkter Umgebung. Darüber hinaus ist die Anlage mit der zukünftigen Infrastruktur des Wasserstoff-Testzentrums einschließlich Seegangssimulators vernetzt und bildet einen zentralen Innovationshub für Wasserstofftechnologien.

Bremerhaven verfügt bereits über eine etablierte Produktion von grünem Wasserstoff. Der Projektpartner GreenFuels erzeugt Wasserstoff mithilfe von Windenergie und Wasserelektrolyse und stellt den erzeugten Wasserstoff im Rahmen des Projektes per Tanktrailer bereit.

Ein zentraler Bestandteil des Projekts ist die Nutzung biogener CO₂-Quellen. In der Klärschlammfaulung der Bremerhavener Zentralkläranlage entsteht Biogas, welches hauptsächlich aus Methan und CO₂ besteht. Durch eine nachgeschaltete Kraft-Wärme-Kopplung (KWK), in der das Biogas eingesetzt wird, entstehen hohe CO₂-Konzentrationen, die mithilfe von Carbon-Capture-Utilization-(CCU)-Technologien abgeschieden und für die E-Fuel-Synthese genutzt werden können. Die unmittelbare Nähe der CO₂-Quelle zur geplanten E-Methanolanlage ermöglicht eine direkte Anbindung per Rohrleitung.

Die Demonstrationsanlage wird jährlich rund 200 t E-Methanol produzieren. Wie bereits im Labor- und Technikumsmaßstab erfolgreich erprobt, basiert der Prozess auf der direkten CO₂-Hydrierung. Zur Steigerung der Gesamteffizienz der Anlage wird eine energetische Kopplung der exothermen Wärmefreisetzung mit der CO₂-Desorption angestrebt.

Die Lagerung des Methanols sowie die Betankung der Uthörn werden durch die Firma UTG Unabhängige Tanklogistik GmbH konzipiert. Hierbei müssen zahlreiche regulatorische Vorgaben berücksichtigt werden. Zudem ist die Zugabe spezifischer Additive erforderlich, um die Eignung des Methanols als Schiffskraftstoff sicherzustellen.

Das Projekt nimmt eine Vorreiterrolle im Bereich Wasserstoff- und PtX-Technologien ein und besitzt Modellcharakter weit über Bremerhaven hinaus. Zielmärkte sind insbesondere Anwendungen, die Kraftstoffe mit hoher Energiedichte und geringem Volumen erfordern. Die Schifffahrt ist dabei ein zentrales Einsatzgebiet für die hergestellten synthetischen Kraftstoffe. Neben der maritimen Nutzung sind auch weitere Sektoren wie die Luftfahrt relevant, in der beispielsweise E-Kerosin (Sustainable Aviation Fuel, eSAF) eingesetzt werden kann. Die Übertragbarkeit des Konzepts auf weitere Standorte und Anwendungen wird vom Institut für Seeverkehrswirtschaft und Logistik (ISL) untersucht.

3.4. Anwendung als Schiffskraftstoff

Die alte Uthörn verbrauchte im Schnitt pro Jahr 76 t Dieselöl, was einem CO₂-Ausstoß von rund 243 t CO₂-Äquivalent entspricht. Da das Methanol für die neue Uthörn aus grünem Strom und Biomasse hergestellt werden kann, stößt sie nur so viel CO₂ aus, wie zuvor der Atmosphäre entnommen wurde. Sie fährt daher nahezu klimaneutral.

Auch wenn es auf den ersten Blick effektiver erscheint, direkt grünen Strom zu nutzen, müssten hierfür große Batteriesysteme eingesetzt werden, um dieselbe Reichweite zu erzielen. Dies würde erfordern, das Schiff deutlich größer zu bauen, was wiederum mit einem erheblichen CO₂-Fußabdruck für Herstellung und Nutzung einherginge.

Die neue Uthörn wurde von der Fassmer Werft gebaut und die Reederei F. Laeisz ist für den Betrieb der Uthörn verantwortlich. Die baulichen Veränderungen bei der Umrüstung auf einen Methanolantrieb sind prinzipiell überschaubar. Da es für diesen Antrieb jedoch noch keinen anwendbaren Standard gibt, hat die Klassifizierungsgesellschaft viele Vorgaben aus den Richtlinien zum LNG-Antrieb abgeleitet.

Das Schiff ist mit zwei modifizierten Verbrennungsmotoren ausgestattet, die statt mit Schiffsdiesel mit Methanol betrieben werden. Die erzeugte Energie wird mittels E-Generatoren in Strom umgewandelt, der wiederum zwei elektrische Fahrmotoren mit Verstellpropelleranlagen antreibt. Die Umrüstung der Scania-Dieselmotoren auf den dieselmotorischen Betrieb mit MD95-Methanolkraftstoff erfolgte durch die Firma ScandiNAOS und umfasste die notwendigen Maßnahmen für einen klassekonformen Betrieb der Motoren entsprechend des Gas-safe-Konzepts.

Anders als bei der Verbrennung von Benzin, Diesel oder Schweröl gelangen bei der Nutzung von Methanol keine Rußpartikel in die Luft. Eine Herausforderung ist jedoch die im Vergleich zu Diesel nur etwa halb so hohe Energiedichte des umweltfreundlichen Kraftstoffs. Um eine hohe Reichweite zu gewährleisten, verfügt die neue Uthörn daher über deutlich größere Tanks als ihre Vorgängerin.

Auch wenn sich noch keine eindeutigen Antriebskonzepte und Energieträger durchgesetzt haben und möglicherweise ein Technologiemix die Lösung sein wird, markiert die Entscheidung für einen Methanol-Antrieb einen wichtigen Schritt in Richtung klimaneutrale Seeschifffahrt.

4. Ausblick und Perspektiven für E-Methanol in der Schifffahrt

Bremerhaven als zweitgrößter Seehafen Deutschlands bietet ideale Voraussetzungen für die Entwicklung und Demonstration synthetischer Kraftstoffe. Das Vorhaben kann als Leuchtturmprojekt dienen, um den Markthochlauf dieser Technologie voranzutreiben und die Abhängigkeit von fossilen Energieimporten zu verringern.

Alle am Projekt MariSynFuel beteiligten Unternehmen und Forschungseinrichtungen sind in Bremerhaven ansässig, wodurch regionale Potenziale und Synergien optimal genutzt



Bild 3: Neubau der Uthörn, Forschungsschiff des Alfred-Wegener-Instituts

werden können. Die Nachfrage nach synthetischen Kraftstoffen wird insbesondere in den Seehäfen in den kommenden Jahren erheblich steigen, da immer mehr Schiffe mit alternativen Antrieben ausgestattet werden. Zudem ist mit einer Veränderung des Bunkerverhaltens zu rechnen, da die geringere Energiedichte synthetischer Kraftstoffe häufigere Kraftstoffaufnahmen erforderlich macht. Das Vorhaben besitzt somit Modellcharakter und kann als Blaupause für andere Hafenstädte mit vergleichbarer Infrastruktur und ähnlichen Anwendungsfeldern dienen. Darüber hinaus lässt sich das Konzept auf die Herstellung weiterer E-Fuels übertragen. Gleichzeitig stärkt das Projekt den Wissenschafts- und Wirtschaftsstandort Bremerhaven und beschleunigt die Defossilisierung der Seeschifffahrt.

Ein zentraler Faktor für die Skalierung der Produktionsanlagen ist die zuverlässige Versorgung mit Rohstoffen. Die geplante Anbindung der Region an das nationale Wasserstoff-Kernnetz ermöglicht eine langfristige und stabile Versorgung mit Wasserstoff. Angesichts des steigenden Bedarfs werden künftig jedoch auch Wasserstoffimporte eine wesentliche Rolle spielen.

Die Klärschlammfäulung sowie die thermische Verwertung von Haus- und Gewerbeabfällen setzen erhebliche Mengen an CO₂ frei. Dieses CO₂ kann durch geeignete Erfassungs- und Abscheidetechnologien gezielt abgeschieden und für weitere industrielle Anwendungen verfügbar gemacht werden. Neben diesen Quellen tragen auch Biogasanlagen maßgeblich zur Bereitstellung von biogenem CO₂ bei. Bei der anaeroben Vergärung von organischen Abfällen entsteht ein Biogasgemisch, das typischerweise aus 50–75 % Methan und 25–45 % CO₂ besteht. Wasserdampf (2–7 Vol.-%), Stickstoff (0–2 Vol.-%), Sauerstoff (0–2 Vol.-%), sowie Ammoniak, Wasserstoff und Schwefelwasserstoff stellen geringere Konzentrationen im Biogas dar [5]. Das CO₂, das im Zuge der Biogasaufbereitung zur Erzeugung von Biomethan abgetrennt wird, als auch die Emissionen aus Blockheizkraftwerken, stellen wertvolle Kohlenstoffquellen dar. Insgesamt ergibt sich aus diesen Quellen ein erhebliches Potenzial zur Erzeugung synthetischer Kraftstoffe wie Methanol oder Kerosin. Hierzu ist der

verstärkte Einsatz von CCU-Technologien in Kläranlagen, Müllverbrennungsanlagen und Biogasanlagen erforderlich.

Parallel zu diesen Entwicklungen wird ein Umschlagplatz für CO₂ in den bremischen Häfen eingerichtet, über den CO₂ aus der deutschen Industrie nach Norwegen zur dauerhaften geologischen Speicherung transportiert werden soll [6]. Ein Teil dieses CO₂ könnte auch lokal genutzt werden für die Produktion synthetischer Kraftstoffe.

Bremerhaven bietet damit ideale Bedingungen für die industrielle Umsetzung synthetischer Kraftstoffe und setzt Maßstäbe für nachhaltige maritime Energiekonzepte.

Literatur

- [1] dena, „Erneuerbares Methanol. Grüne Basischemikalie und Importvektor für klimaneutralen Wasserstoff und Kohlenstoff mit erheblichem Potenzial“, Deutsche Energie-Agentur (Hrsg.), 2024
- [2] Reuters: „Reuters,“ 2023. [Online]. Available: <https://www.reuters.com/article/uk-shipping-biofuels-idUK1234567890>
- [3] Dieterich, V.; Buttler, A.; Hanel, A.; Hartmut, S. und Fendt, S.: Power-to-Liquid via synthesis of methanol, DME or Fischer-Tropsch-fuels: a review, *Energy & Environmental Science*, pp. 3207–3252, 2020
- [4] Bustinza, A.; Frías, M.; Liu, Y. und García-Bordejé, E.: Mono- and bimetallic metal catalysts based on Ni and Ru supported on alumina-coated monoliths for CO₂ methanation, *Catalysis Science & Technology*, p. 4061–4070, 2020
- [5] Hermeling, W.; Nachtmann, K. und Scholwin, F.: Biogas – ein Taschenbuch für die Erzeugerpraxis, Springer Vieweg Wiesbaden, 2023.
- [6] bremenports und CO₂ Management: Innovative Initiative zur Treibhausgasreduktion: Umschlagplatz für Kohlendioxid in Bremen geplant, we return carbon, p. IBAN nr. NO37 9525 0681 004, 2022

Autoren

Fabian Klein
ttz Bremerhaven |
Bremerhaven |
Tel.: +49 471 80934 144 |
fklein@ttz-bremerhaven.de

