



DLR

Deutsches Zentrum
für Luft- und Raumfahrt
German Aerospace Center

Schlussbericht gemäß Anlage 2 zu Nr. 8.2 NKBF 98

ZE: Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR)	Förderkennzeichen: 03EIV181C
Vorhabenbezeichnung: MENA-Fuels: Roadmaps zur Erzeugung nachhaltiger synthetischer Kraftstoffe im MENA-Raum zur Dekarbonisierung des Verkehrs in Deutschland Teilvorhaben B.1: MENA Potentiale SynFuels	
Laufzeit des Vorhabens: 01.12.2018 – 30.06.2022	
Berichtszeitraum: 01.12.2018 – 30.06.2022	

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

I. Kurze Darstellung (in Anlehnung an den Schlussbericht des Wuppertal Institutes)

1. Aufgabenstellung

Deutschland hat im Jahr 2021 beschlossen, bis 2045 klimaneutral zu werden. Dies bedingt eine vollständige Umstellung nicht nur des Energiesektors, sondern auch des Verkehrs- und des Industriesektors. Neben verhaltensbedingten Maßnahmen stehen dabei zwei technische Strategien im Vordergrund: einerseits die direkte Elektrifizierung des Verkehrs auf Basis erneuerbarer Energien (*Elektromobilität*), andererseits die indirekte Elektrifizierung über die Nutzung gasförmiger und flüssiger Kraftstoffe, die aus grünem Wasserstoff hergestellt werden („*synthetische Kraftstoffe*“).

Mitgedacht werden muss dabei die Dekarbonisierung bzw. Defossilisierung der Industrie. Insbesondere in der Grundstoffindustrie mit ihren hohen THG-Emissionen kommen ebenfalls Strategien basierend auf der indirekten Nutzung erneuerbarer Energien zum Tragen (Einsatz von grünem Wasserstoff z. B. in der Stahlindustrie und der Chemieindustrie, andererseits der Einsatz von „grünem Feedstock“). Daher sollten Synergien oder Konkurrenzen zwischen Verkehrs- und Industriesektor von Beginn an mitberücksichtigt werden.

Je nach Strategie stellt sich die Frage, woher und zu welchen Kosten der Bedarf an Strom aus erneuerbaren Energien (EE), Wasserstoff und seinen synthetischen Folgeprodukten (synthetische Kraftstoffe bzw. Grundstoffe) gedeckt werden könnte. Das Vorhaben MENA-Fuels hat diese Frage aufgegriffen und in einem methodisch erweiterten Kontext untersucht. Als potenzielle Importregion wurde hierfür die MENA-Region (Middle East/North Africa) gewählt.

Die zentrale Forschungsfrage des Vorhabens lautete dabei: „Welche Rolle könnte der MENA-Region bei der Versorgung Deutschlands (und Europas) mit grünen synthetischen Brenn- und Kraftstoffen, chemischen Grundstoffen oder deren Vorprodukten zukommen?“

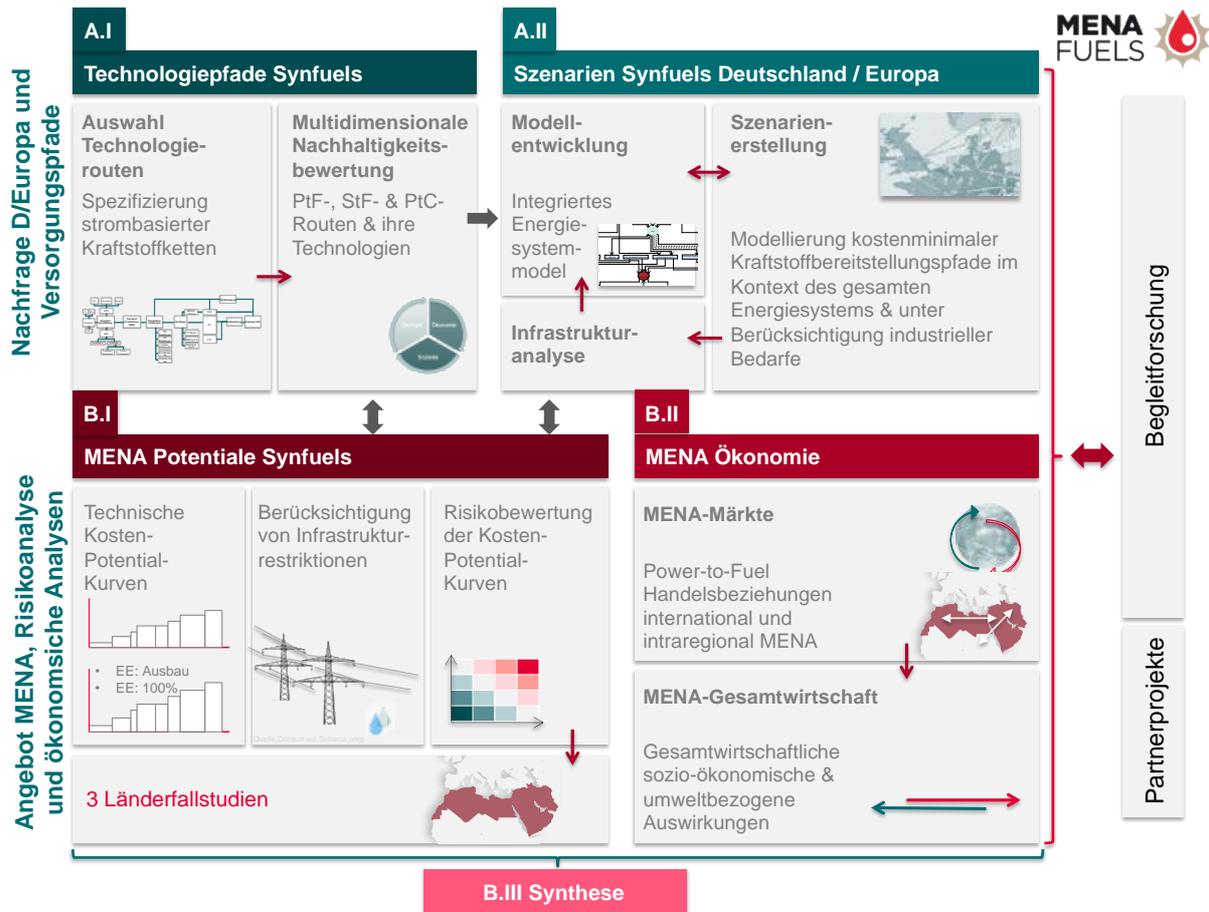
2. Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Bisherige Studien haben jeweils einzelne, meist technische Bausteine möglicher Dekarbonisierungsstrategien aufgegriffen. Beispiele sind die Analyse und Optimierung einzelner Prozesse wie z. B. spezielle Fischer-Tropsch-Verfahren oder die Planung von Demonstrationsanlagen durch Kraftstoffgewinnung via Elektrolyse. Vereinzelt gibt es multikriterielle Bewertungen wie z. B. die allgemeine, nicht auf MENA bezogene Bewertung von Wasserstofftechnologien und der Herstellung von synthetischen Kraftstoffen und Chemikalien im BMWi-Projekt „Technologien für die Energiewende“. Hinsichtlich des Einsatzes synthetischer Kraftstoffe in Deutschland gab es zu Projektbeginn einzelne Szenariostudien, die jedoch nicht als integrierte Analyse von Strom-, Wärme-, Industrie- und Verkehrssektor erfolgten, sondern den Verkehrsbereich separat betrachten. Eine Ausnahme für eine integrierte Betrachtung bildeten die Szenarien von Fraunhofer ISE, die für Deutschland den Umfang des Einsatzes synthetischer Kraftstoffe mit einem integrierten Energiesystemmodell untersucht haben. Allerdings ist der Verkehrssektor dort nur relativ abstrakt und stark vereinfacht abgebildet gewesen; zudem wurde die Möglichkeit des Imports strombasierter Kraftstoffe nicht vorgesehen.

Mit Blick auf den MENA-Raum sind in den letzten Jahren verschiedene Studien erstellt worden, deren Fokus jedoch die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien und ein möglicher Stromexport nach Europa war (Stichwort „Desertec“). Bisher gab es für Deutschland daher keine detaillierte Analyse und ganzheitliche Bewertung möglicher Ausbaupfade strombasierter Kraftstoffe und deren Beitrag zur Dekarbonisierung des Verkehrssektors unter Verwendung eines integrierten Energiesystemmodells und damit der Sicherstellung einer hinreichenden Rückkopplung zwischen Strom-, Wärme-, Verkehrs- und Industriesektor. Weiterhin gab es bisher keine systematische Analyse der Kosten-Potenziale für synthetische Kraftstoffe selber oder ihrer Vorprodukte wie bspw. Wasserstoff oder Methanol aus möglichen Exportländern, keine Risikobewertung dieser Länder und ebenso keine Analysen möglicher Importrouten bzw. Handelsbeziehungen zwischen potenziellen Erzeuger- und Abnehmerländern. Aber auch eine umfassende multikriterielle Bewertung der verschiedenen Technologien und infrage kommender Technologierouten inkl. des Einsatzes im MENA-Raum nach einem konsistenten Ansatz wurde vorher nicht durchgeführt.

3. Planung und Ablauf des Vorhabens

Das Vorhaben erfolgte in vier sich ergänzenden Teilprojekten (siehe Abbildung):



Projektteil A: Nachfrage nach EE-Strom, Wasserstoff und seinen synthetischen Folgeprodukten und Bestimmung kostenoptimaler Versorgungspfade für Deutschland/Europa

- Im Teilprojekt A.I wurde der Entwicklungsstatus der zur Herstellung synthetischer Kraftstoffe und Grundstoffe benötigten Technologien aufgearbeitet. Anschließend wurden die Technologien aus einer ganzheitlichen Perspektive (ökologisch, ökonomisch, technologisch, gesamtsystemisch) bewertet, um ihre jeweiligen Chancen und Hemmnisse sowie Entwicklungspotenziale aufzuzeigen. Zudem wurden exemplarisch Ökobilanzen für die Herstellung synthetischen Kerosins über verschiedene Herstellungsrouten untersucht.
- Im Teilprojekt A.II wurden zunächst drei unterschiedliche Nachfrageszenarien für EE-Strom, Wasserstoff und seine synthetischen Folgeprodukte für Deutschland und Europa hergeleitet. Die Nachfrageszenarien spiegeln drei mögliche Entwicklungen hinsichtlich der Art der Antriebstechnologien und damit der Energieversorgung des Verkehrssektors wider, basieren aber auf den gleichen Annahmen zum Modal Split. Anschließend wurden auf Basis eines Energieversorgungsmodells kostenminimaler Versorgungspfade Deutschlands und Europas mit diesen Energieträgern aus der MENA-Region bestimmt. Die Analysen, die auf den im Teilprojekt B.I ermittelten Exportpotenzialen aufbauten, erfolgten einmal ohne und einmal mit Berücksichtigung von Länderrisiken.

Projektteil B: Angebot an EE-Strom, Wasserstoff und seiner synthetischen Folgeprodukte in der MENA-Region, Risikobewertung und makroökonomische Bewertung

- Teilprojekt B.I ermittelte zunächst für die einzelnen MENA-Länder und Regionen Kosten-Potenziale zur Nutzung erneuerbarer Energien sowie daraus erzeugter synthetischer Kraftstoffe und bewertete sie kostenseitig. Zur Ermittlung des Exportpotenzials wurde von diesen technischen Potenzialen der langfristig nötige Eigenbedarf der einzelnen Länder abgezogen. Dieser wurde für jedes Land über Langfristszenarien zur Versorgung mit 100 % erneuerbaren Energien ermittelt. Parallel wurden die betrachteten MENA-Länder und Regionen hinsichtlich ihrer Mikro- und Makro-risiken bewertet und die Risiken in Form von Kostenaufschlägen eingespeist. Schließlich erfolgte in drei Kurzstudien für ausgewählte Länder (Marokko, Jordanien, Oman) die Untersuchung der infrastrukturellen und industriellen Rahmenbedingungen zur Entwicklung eines Exportsektors für Was-

serstoff und synthetische Folgeprodukte sowie die Identifizierung relevanter Stakeholder und deren Interessen.

- Im Teilprojekt B.II wurde im ersten Teil ein Welthandelsmodell entwickelt, mit dem Handelsbeziehungen und Absatzmärkte für grünen Wasserstoff und synthetische Kraftstoffe analysiert wurden. Dabei interessieren zukünftige Wettbewerbsbeziehungen zwischen Ländern außerhalb von Europa und der MENA-Region, aufgrund derer die oben ermittelten Potenziale möglicherweise nicht für den Import nach Deutschland zur Verfügung stehen könnten. Im zweiten Teil wurden die gesamtwirtschaftlichen Beschäftigungs-, Bruttowertschöpfungs- und THG-Emissions-Effekte der Versorgungspfade ermittelt. Hierfür wurde ein multiregionales Input-Output-Modell verwendet, in welchem die unterschiedlichen nationalen Produktionsstrukturen und die Zusammensetzung der möglichen Investitionen sowohl in den MENA-Ländern als auch in Deutschland berücksichtigt wurden.
- Im Teilprojekt B.III wurden die Ergebnisse der vorherigen Teilprojekte zusammengeführt und in einem Synthesebericht zentrale Schlussfolgerungen in Bezug auf die Forschungsfrage gezogen.

Das Teilvorhaben des Wuppertal Instituts bezieht sich auf die folgenden Arbeitspakete:

- Teilprojekt A.I: Arbeitspakete 1-2
- Teilprojekt A.II: Arbeitspakete 3-5
- Teilprojekt B.I: Arbeitspakete 7-8
- Teilprojekt B.II: Arbeitspaket 10
- Teilprojekt B.III: Arbeitspaket 11
- Teilprojekt C: Arbeitspaket 12 (Projektmanagement)

4. Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde, insb.

- **Angabe bekannter Konstruktionen, Verfahren und Schutzrechte, die für die Durchführung des Vorhabens benutzt wurden,**

Hier nicht relevant

- **Angabe der verwendeten Fachliteratur sowie der benutzten Informations- und Dokumentationsdienste,**

Die verwendete Literatur ist in jedem der 14 Teilberichte aufgelistet.

5. Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Das Vorhaben wurde zur Diskussion der Plausibilität der Annahmen und Ergebnisse von zwei Expertenbeiräten begleitet, die einerseits interessierte Industrievertreter*innen aus Deutschland (*Industriebeirat*) und andererseits relevante Akteure und Akteurinnen aus der MENA-Region (*MENA-Fuels Beirat*) umfassen. Die Beiräte haben sich drei- bis viermal während der Projektlaufzeit getroffen und konnten das Konsortium mit wertvollen Informationen und Diskussionsbeiträgen unterstützen.

Gleichzeitig war das Projekt MENA-Fuels als Teil der BMWK-Förderinitiative *Energiewende im Verkehr* in die *Begleitforschung BEniVer* eingebunden, mit der ebenfalls ein fruchtbarer Austausch bezüglich der Methoden und Annahmen stattfand.

II. Eingehende Darstellung

1. Verwendung der Zuwendung und des erzielten Ergebnisses im Einzelnen, mit Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele

Das Vorhaben MENA-Fuels lieferte zahlreiche innovative Ergebnisse. Dabei konnten alle vorgegebenen Ziele umgesetzt werden. Da alle Ergebnisse miteinander zusammenhängen, werden im Folgenden auch Teile der Verbundpartner WI und IZES dargestellt.

a) Methoden

- [DLR mit Wuppertal Institut] AP 2: **Ganzheitliche Bewertung** verschiedener Technologien zur Produktion von synthetischen Kraftstoffen und Grundstoffen mit dem Ziel, frühzeitig Chancen und Risiken der möglichen Einführung strombasierter Kraftstoffe aufzuzeigen.
- [DLR] AP 6: Modellierung von **Energieszenarien** für eine Versorgung mit 100 % erneuerbare

Energien für die betrachteten 17 MENA-Länder, um den langfristigen Eigenbedarf der MENA-Region zu berücksichtigen.

- [DLR] AP 6: Ermittlung der Erneuerbaren Energien-Potenziale zur Strom- und Wärmeerzeugung der betrachteten 17 MENA-Länder in hoher räumlicher Auflösung
- [DLR] AP 6: Ermittlung von erneuerbare **Energien- und Kraftstoff-Gestehungskosten** und Überführung in technische und risikobewertete **Kosten-Potenziale**.
- [Wuppertal Institut mit Unterstützung DLR] AP 7: Entwicklung eines Ansatzes, um die so erhaltenen Risikobewertungen in länderspezifische **Kapitalkostenaufschläge** zu übertragen, die in die gewichteten durchschnittlichen Kapitalkosten (WACC) einfließen.
- [Wuppertal Institut mit Unterstützung DLR] AP 8: Durchführung von **drei Länderkurzstudien** (Marokko, Jordanien, Oman), um die theoretischen Ergebnisse für drei ausgewählte Länder an den dortigen infrastrukturellen und industriellen Rahmenbedingungen zu spiegeln und relevante Stakeholder und deren Interessen zu identifizieren.
- [Wuppertal Institut, DLR, IZES] AP 11: **Zusammenführung der Ergebnisse** aller Teilprojekte und Erstellung eines Syntheseberichts mit zentralen Schlussfolgerungen sowie Handlungsoptionen und Forschungsbedarf; zudem Einschätzung der Übertragbarkeit auf andere Lieferländer als der MENA-Region

b) Ergebnisse

Geht man vom Stand und den Gestehungskosten der derzeitigen Technologien, den Annahmen zu ihrer langfristigen Entwicklung, den verfügbaren Daten zu den Ressourcen in der MENA-Region sowie den hier eingesetzten Modellen aus, so sind neun Aspekte zu nennen, die die zentrale Forschungsfrage beantworten:

(1) **Sehr hohe technische Potenziale für EE-Strom, Wasserstoff und Synfuels:** In der MENA-Region sind mit ca. 413.000 TWh/a sehr große Erzeugungspotenziale an erneuerbaren Energien vorhanden, insbesondere bei der Nutzung von Solarenergie (PV, CSP). Entsprechend sind auch die Potenziale zur Herstellung von Wasserstoff und Synfuels sehr groß, selbst nach Abzug des langfristigen Eigenbedarfs der MENA-Region für eine komplette Umstellung auf erneuerbare Energien. Verglichen mit dem möglichen Bedarf an Synfuels in Europa im Jahr 2050 bei einer breiten Variation der Antriebstechnologien liegen die möglichen Exportpotenziale um den Faktor 10 (aus Wind) bis Faktor 210 (aus Solar) höher. Betrachtet man nur die Versorgung Deutschlands, sind die Faktoren noch einmal um das 5,6-fache höher.

(2) **Sehr große kostengünstige Potenziale für EE-Strom, Wasserstoff und Synfuels:** Auch wenn die Potenziale an erneuerbaren Energien unterschiedlich verteilt sind, weisen nahezu alle MENA-Länder und -Regionen bedeutende Erzeugungspotenziale mit geringen Gestehungskosten auf und kommen damit zur Herstellung von Synfuels in Frage. In den günstigsten Standorten liegen die PtL-Gestehungskosten – gerechnet bei mittleren Investitionskosten – im Jahr 2030 bei 1,92 – 2,65 EUR/l und im Jahr 2050 bei 1,22 – 1,65 EUR/l (eine positive Entwicklung von Investitionsbedingungen in der Region vorausgesetzt). Das Exportpotenzial von Kraftstoffen, die für unter 2 EUR/l hergestellt werden können, beläuft sich selbst bei negativer Entwicklung von Investitionsbedingungen im Jahr 2050 auf ca. 26.000 TWh/a. Es stammt in diesem Fall vorwiegend aus Ländern mit guten technischen Potenzialen und stabilen Investitionsbedingungen. Bei positiver Entwicklung von Investitionsbedingungen beläuft sich dieses sogar auf ca. 48.000 TWh/a.

(3) **Investitionsumfeld entscheidet über potenzielle Exportregionen:** Die Analyse zeigt jedoch auch auf, dass in der Bewertung möglicher Exportpotenziale aus der MENA-Region nicht nur das kostengünstigste EE-Potenzial, sondern auch das Investitionsumfeld entscheidend ist. Die Berücksichtigung von Investitionsrisiken in den Ländern der MENA-Region hat einen signifikanten Einfluss auf die Kosten des Wasserstoffs und seiner Folgeprodukte und damit auf die Auswahl der potenziellen Exportländer. Die Risiken wurden dabei als länderspezifische gewichtete durchschnittliche Kapitalkosten (WACC) umgesetzt. Während länderspezifische WACCs im Rahmen von Energiesystemmodellen bisher nur sehr begrenzt in die systematische Bewertung von Potenzialen einbezogen wurden, wurden hier erstmals Investitionsrisiken für alle betrachteten MENA-Länder abgeschätzt und entsprechend eingepreist. Trotz der aussagekräftigen Ergebnisse bleibt jedoch eine vollständige Quantifizierung der Länderisikofaktoren schwierig und hängt immer eng mit den aktuellen politischen Entwicklungen zusammen, die sich auch kurzfristig stark verändern können.

(4) **Komplementäre Modelle mit ähnlichen Ergebnissen:** Während die oben dargestellten Ergebnisse der Energiemodelle rein auf der Analyse von Gesteungskosten basieren, bezieht das parallel entwickelte Handelsmodell zusätzlich Handelsbeschränkungen (Embargos) und Zölle mit ein und analysiert zudem eine Vielzahl weiterer Länder außerhalb der MENA-Region. Auch das Handelsmodell kommt zum Schluss, dass MENA-Länder trotz geringer Erzeugungskosten und sehr großer Exportpotenziale nur dann interessante Partner für Deutschland oder die EU werden würden, wenn die Kapitalkosten für Investoren ein Niveau erreichen, das zu einem wirklichen Wettbewerbsvorteil führt. Ansonsten könnte sich die EU einerseits weitgehend selbst versorgen, andererseits würden bei globaler Öffnung und Verfügbarkeit Länder in Amerika und Ozeanien als Handelspartner für die EU eine zunehmend wichtige Rolle spielen.

(5) **Gestaltung der ökonomischen Rahmenbedingungen wichtig:** Um mittelfristig auch den Export aus Ländern mit kostengünstigen Potenzialen, aber hohen Risikokosten zu ermöglichen, sind grundsätzlich zwei Optionen möglich: Einerseits könnten Risiken für den erneuerbaren Energiesektor und den synthetischen Kraftstoffsektor durch entsprechende Maßnahmen in den Ländern selber reduziert werden. Dies dürfte im Bereich der Makrorisiken wie der allgemeinen politischen und wirtschaftlichen Stabilität oder einem schlechten allgemeinen Geschäftsklima jedoch schwieriger sein als bei Mikrorisiken, die sich speziell auf Sektorentwicklung beziehen und beispielsweise die Einfachheit und Schnelligkeit von Genehmigungsprozessen, vorhandene Fachexpertise, aber auch generelle politische Prioritäten beim Ausbau von erneuerbaren Energien umfassen. Andererseits könnte durch staatliche oder multilaterale Finanzierungsinstrumente Kapital zu geringeren Kosten bereitgestellt werden. Der Einfluss von internationalen Finanzinstitutionen wie Weltbank, EBRD, KfW sowie internationalen Risk Mitigation Mechanismen wurde in der Analyse jedoch nicht gesondert analysiert.

(6) **Transport der Energieträger von Bedeutung:** Wie die Ergebnisse des Energieversorgungsmodells aufzeigen, spielt die Höhe der Transportkosten eine wesentliche Rolle, wenn es um die Art des zu transportierenden Produktes (Strom, Wasserstoff oder Synfuels) geht. Gemäß der Modellergbnisse würde der Transport von Energie von MENA nach Europa über weite Distanzen vorwiegend in Form von Wasserstoff und Synfuels erfolgen. Der Grund sind die vergleichsweise geringen Transportkosten und die bessere Ausnutzung der Erzeugungspotenziale am Herstellungsort. Strom hingegen würde (nahezu) vollständig innerhalb Europas produziert werden, da der Stromtransport mit vergleichsweise hohen Kosten verbunden ist.

(7) **Starker Ausbau der erneuerbaren Energien in der MENA-Region Voraussetzung:** Die Arbeiten zu den MENA-Szenarien haben gezeigt, dass eine THG-neutrale Energieversorgung der MENA-Länder ohne fossile Energieträger selber bereits eine enorme Herausforderung darstellen wird. Der geschätzte erforderliche Ausbau an Erzeugungskapazitäten für Solar- und Windstrom zur Eigenversorgung liegt je nach Szenario bei insgesamt 4.500 GW bis knapp 9.000 GW bis zum Jahr 2050. Ein zusätzlicher Ausbau der EE-Stromerzeugung in der MENA-Region für den Export von Synfuels sollte nicht auf Kosten der eigenen Energietransformation gehen, da sonst die globalen Ziele konterkariert würden. Folglich müssen in den möglichen Exportländern der MENA-Region bei einem großskaligen Aufbau einer Synfuels-Produktion die EE-Ausbauziele und -entwicklungen deutlich intensiviert werden. Idealerweise sollten sich beide Zielsetzungen – inländische Versorgung und Export – gegenseitig verstärken.

(8) **Synfuels bis spätestens 2030 fast alle großskalig verfügbar:** Die Technologiebewertung zeigt, dass bis 2030 fast alle betrachteten synthetischen Kraftstoffe bei stetiger Weiterentwicklung der Prozesse großskalig hergestellt werden könnten. Viele benötigte Technologien wie die Meerwasserentsalzung, Syntheseverfahren oder der Methanol-to-Gasoline-Prozess sind bereits weit entwickelt – die Herausforderung besteht oft in der Integration mit der Strom- und Wärmerzeugung aus erneuerbaren Energien. Für zentrale Prozesse wie die CO₂-Abtrennung und -Nutzung besteht dagegen noch umfangreicher Entwicklungsbedarf. Dies gilt auch für die weiteren Aufbereitungsverfahren LOHC-Kopplung, Methanol-to-DME, Methanol-to-Kerosin und Methanol-to-OME, für die eine großskalige Verfügbarkeit bis 2030 oder 2040 angenommen wird.

(9) **Ökobilanzen zeigen große Reduktion der Klimawirkung:** Für die exemplarisch bilanzierten PtL-Prozessketten zur Herstellung synthetischen Kerosins über die Fischer-Tropsch- sowie über die Methanolroute weist der synthetische Kraftstoff eine deutlich geringere Klimawirkung auf als die fossile Referenz. Im Fall, dass das für die Synthese benötigte CO₂ vorher aus der Atmosphäre abgetrennt wurde, kann bilanziell eine Minderung von Treibhausgasen – je nach Pfad – um 57 - 84 % erreicht werden. In allen anderen bilanzierten Umweltwirkungskategorien schneiden die betrachteten Pfade dagegen schlechter ab. Dies gilt beispielsweise für die Indikatoren Landnutzung, terrestrische Versauerung, Eutrophierung und den kumulierten Energieaufwand. Dies ist in erster Linie durch den hohen Bedarf an Energie zur Wasserstoffherzeugung und für die CO₂-Bereitstellung begründet, aber auch

durch die ebenfalls höheren Rohstoffbedarfe bei der Errichtung der Anlagen für die mehrstufigen Prozessketten. Es empfiehlt sich zudem, über große Entfernungen nicht den benötigten Wasserstoff, sondern den produzierten Kraftstoff zu transportieren. So können Diffusionsverluste des Wasserstoffs reduziert und Synergieeffekte einer Wärme- und Wasserintegration der verschiedenen Teilprozesse genutzt werden.

c) Projektmanagement

Zudem erfolgte durch das Wuppertal Institut das Projektmanagement (AP 12), darunter die Koordination der Zusammenarbeit mit den Verbundpartnern und den Unterauftragnehmern; die Steuerungsgruppentreffen sowie die Gesamtprojekttreffen; die Kommunikation und Austausch mit den Parallelprojekten und der Begleitforschung, die Teilnahme am Kick-Off Treffen sowie der 1. und 2. Statuskonferenz sowie weiteren Workshops der Begleitforschung BEniVer; die Projektsteuerung durch Koordination der Arbeitspakete, ihrer Schnittstellen und der Zusammenarbeit der Projektpartner sowie Qualitätskontrolle der Projektergebnisse; die Aufstellung des Industriebeirats und des MENA-Fuels-Beirats sowie Einberufung und Vor- und Nachbereitung der Beiratstreffen.

2. Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Der Zahlenmäßiger Verwendungsnachweis (Einzelnachweis) für Zuwendungen auf Kostenbasis an FhG/HZ für entstandene Kosten in der Höhe von 635.023,68 Euro wurde am 13.12.2022 übermittelt.

3. Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Die geleistete Arbeit war notwendig und angemessen, da aufgrund der energie- und klimapolitischen Ziele Deutschlands ein sehr großer Bedarf an Wasserstoff und synthetischen Folgeprodukten besteht, ohne dass bisher klar ist, wie diese langfristig gedeckt werden. Das Vorhaben liefert wegweisendes Orientierungswissen, an dem die Energie- und Klimapolitik langfristig ausgerichtet werden kann.

4. Voraussichtlicher Nutzen, insbesondere der Verwertbarkeit des Ergebnisses im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans

Der zentrale Nutzen des Vorhabens ergibt sich durch die nun vorliegende umfassende Bewertung verschiedener Optionen zum Import von grünem Wasserstoff und seinen Folgeprodukten aus der MENA-Region und deren Einordnung hinsichtlich wirtschaftlicher Rahmenbedingungen in den potenziellen Exportländern.

In vielen Teilbereichen der Analysen wurden hierbei methodische Fortschritte erzielt. Diese werden in wissenschaftlichen Artikeln aufgearbeitet und der wissenschaftlichen Community zur Verfügung gestellt. Zudem werden die Ergebnisse auch bei geeigneten Konferenzen und Workshops präsentiert werden.

Daneben werden die erlangten Ergebnisse auch für die Industrie sowie die an Fachthemen interessierte Öffentlichkeit in möglichst transparenter und verständlicher Form aufbereitet, da angesichts der Aktualität der Energiewende und speziell einer Verkehrswende ein großes Interesse der (Fach)Öffentlichkeit besteht. Hierzu wird mindestens ein Artikel in einer nationalen Fachzeitschrift veröffentlicht; zudem werden bei passenden Gelegenheiten die Ergebnisse auch auf Tagungen oder Workshops vorgestellt werden.

5. Während der Durchführung des Vorhabens dem ZE bekannt gewordener Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

Andere Arbeiten dieser Ausrichtung sind nicht bekannt.

6. Erfolgte oder geplante Veröffentlichungen des Ergebnisses nach Nr. 11.

- Insgesamt wurden bisher 12 Teilberichte (Deliverables) veröffentlicht, die auf der Projektwebsite des Wuppertal Instituts www.wupperinst.org/MENA-Fuels/ zum Herunterladen bereitgestellt werden. Der Teilbericht 14 (Synthesebericht) wurde auch auf Englisch und Französisch übersetzt.

Verantwortung des Wuppertal Instituts mit Beiträgen des DLR:

Teilbericht Nr. 1: Auswahl der zu bewertenden synthetischen Kraftstoffe und ihrer Bereitstellungstechnologien

Teilbericht Nr. 2: Ökobilanzen für synthetisches Kerosin – Vergleich von Produktionsrouten in MENA und Deutschland

Teilbericht Nr. 3: Multikriterielle Bewertung von Bereitstellungstechnologien synthetischer Kraftstoffe

Teilbericht Nr. 14 (deutsch): Synthese und Handlungsoptionen – Ergebnisbericht des Projekts MENA-Fuels

Teilbericht Nr. 14 (englisch): Synthesis and courses of action – Report on results of the MENA-Fuels project

Teilbericht Nr. 14 (französisch): Synthèse et pistes d'action – Rapport sur les résultats du projet MENA-Fuels

Verantwortung des DLR:

Teilbericht Nr. 9: Szenarien zur Eigenbedarfsanalyse für die MENA-Länder

Teilbericht Nr. 10: Technische und risikobewertete Kosten-Potenzial-Analyse der MENA-Region

- Aufgrund der am 07.12.2022 erfolgten Pressemitteilungen von Wuppertal Institut und IZES zum Abschlussworkshop werden neben den üblichen Pressemitteilungen vermutlich Berichte in verschiedenen Medien erscheinen.
- Vom DLR wurden zum gleichen Anlass eine Pressemitteilung in deutscher und englischer Sprache veröffentlicht:
https://www.dlr.de/content/de/artikel/news/2022/04/20221207_naher-osten-und-nordafrika-riesiges-potenzial-fuer-wasserstoff.html
- Vom Wuppertal Institut sind bereits zwei der geplanten referierten Artikel weitgehend fertig gestellt und werden im Dezember bzw. im Januar bei Fachjournals eingereicht. Weitere Artikel sind zu Beginn des nächsten Jahres geplant.



i.A. Jürgen Kern
– Teilprojektleiter DLR–
21. Dezember 2022

Anlagen:

- Erfolgskontrollbericht
- „Kurzfassung“ (Berichtsblatt)
- „Kurzfassung“ englisch (Document Control Sheet)

Berichtsblatt

1. ISBN oder ISSN keine	2. Berichtsart (Schlussbericht oder Veröffentlichung) Veröffentlichungen (Teilberichte)
3. Titel Verantwortlich DLR: Teilbericht Nr. 9: Szenarien zur Eigenbedarfsanalyse für die MENA-Länder Teilbericht Nr. 10: Technische und risikobewertete Kosten-Potenzial-Analyse der MENA-Region	
4. Autor(en) [Name(n), Vorname(n)] <i>Teilbericht Nr. 9: Pregger, Thomas</i> <i>Teilbericht Nr. 10: Braun, Josua; Kern, Jürgen; Scholz, Yvonne; Hu, W., Moser, M., Schillings, Christoph; Simon, S., Ersoy, Sibel R.; Terrapon-Pfaff, Julia</i>	5. Abschlussdatum des Vorhabens 30.06.2022
	6. Veröffentlichungsdatum 30.11.2022
	7. Form der Publikation online-Berichte unter www.wupperinst.org/MENA-Fuels/
8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse) Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e. V. Institut für Vernetzte Energiesysteme, Abteilung Energiesystemanalyse Curierstraße 4 70563 Stuttgart Weitere Verbundpartner: - Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie gGmbH - IZES gGmbH - Institut für Zukunftssysteme	9. Ber. Nr. Durchführende Institution Siehe oben
	10. Förderkennzeichen 03EIV181C
	11. Seitenzahl Jeweils unterschiedlich für jeden Teilbericht
12. Fördernde Institution (Name, Adresse) Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) Scharnhorststraße 34-37 10115 Berlin	13. Literaturangaben Jeweils unterschiedlich für jeden Teilbericht
	14. Tabellen Jeweils unterschiedlich für jeden Teilbericht
	15. Abbildungen Jeweils unterschiedlich für jeden Teilbericht

16. Zusätzliche Angaben

17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum)

PTJ, Geschäftsbereich ESI 1, Herr F. Kuhnert, Jülich, 30.11.22

18. Kurzfassung (der gesamten Studie)

18.1./2. Derzeitiger Stand von Wissenschaft und Technik, Begründung und Zielsetzung der Untersuchung

Mit dem „Paris-Agreement“ der Weltklimakonferenz COP 21 in 2015 wurde vereinbart, den globalen Temperaturanstieg deutlich unter 2 °C zu halten. Dies bedingt eine vollständige Umstellung nicht nur des Energiesektors, sondern auch des Verkehrs- und des Industriesektors auf eine klimaneutrale Wirtschaftsweise. Neben verhaltensbedingten Maßnahmen stehen dabei zwei technische Strategien im Vordergrund: einerseits die direkte Elektrifizierung des Verkehrs auf Basis erneuerbarer Energien (EE) (Elektromobilität), andererseits die indirekte Elektrifizierung über die Nutzung gasförmiger und flüssiger Kraftstoffe, die aus grünem Wasserstoff (d. h. basierend auf erneuerbaren Energien) hergestellt werden („synthetische Kraftstoffe“). Mitgedacht werden muss dabei die Dekarbonisierung bzw. Defossilisierung der Industrie. Insbesondere in der Grundstoffindustrie kommen ebenfalls Strategien basierend auf der indirekten Nutzung erneuerbarer Energien zum Tragen.

Je nach Strategie stellt sich die Frage, woher und zu welchen Kosten der Bedarf an Strom aus EE, Wasserstoff und seinen synthetischen Folgeprodukten gedeckt werden könnte. Da die Stromerzeugung aus EE ca. 50 % ihrer gesamten Herstellungskosten ausmacht, stellt die Herkunft der EE eine Schlüsselgröße dar. Das Forschungsvorhaben MENA-Fuels hat diese Frage aufgegriffen und in einem methodisch erweiterten Kontext untersucht. Als potenzielle Importregion wurde hierfür die MENA-Region (Middle East/North Africa) gewählt. Die **zentrale Forschungsfrage** des Vorhabens lautete dabei: Welche Rolle könnte der MENA-Region bei der Versorgung Deutschlands (und Europas) mit grünen synthetischen Brenn- und Kraftstoffen, chemischen Grundstoffen oder deren Vorprodukten zukommen?

Zum Vorhabenbeginn und auch während des Vorhabens gab es hierzu keine und bekannten Untersuchungen.

18.3. Methode

(1) **Ganzheitliche Bewertung** verschiedener Technologien zur Produktion von synthetischen Kraftstoffen und Grundstoffen, um frühzeitig Chancen und Risiken der möglichen Einführung strombasierter Kraftstoffe aufzuzeigen.

(2) Entwicklung von drei **Nachfrageszenarien**, um eine unterschiedliche Nachfrage nach EE-Strom, Wasserstoff und synthetischen Kraftstoffen für den Verkehrsbereich in Deutschland und Europa aufzuzeigen.

(3) Berücksichtigung auch der Stoffbedarfe einer **klimaneutralen Industrie**, da sie sich zum Teil mit der Nachfrage des Verkehrsbereichs überschneiden (Wasserstoff oder Grundstoffe wie Methanol).

(4) Entwicklung von **Energieszenarien** für eine Versorgung mit 100 % erneuerbare Energien für die betrachteten 17 MENA-Länder, um den langfristigen Eigenbedarf der MENA-Region zu berücksichtigen.

(5) Ermittlung von **erneuerbare Energien- und Kraftstoff-Gestehungskosten** in hoher räumlicher Auflösung für die MENA-Länder und -Regionen und Überführen in Kosten-Potenziale.

(6) Ermittlung von **kostenminimalen Versorgungspfaden** zwischen den MENA-Ländern und Deutschland/EU durch Optimierung der Kraftstoffbereitstellungspfade.

(7) Erstmals Entwicklung eines **Ansatzes zur Bewertung von Mikro- und Makrorisiken** für Länder mit über 100 Indikatoren und Durchführung von Risikoanalysen für die betrachteten MENA-Länder.

(8) Entwicklung eines Ansatzes, um die so erhaltenen Risikobewertungen in **länderspezifische Kapitalkostenaufschläge** zu übertragen, die in die gewichteten durchschnittlichen Kapitalkosten (WACC) einfließen.

(9) Erstmals Berechnung **kostenminimaler Versorgungspfade basierend auf länderspezifischen WACCs** sowie deren Veränderungen bei einer allgemeinen positiven und einer herausfordernden Entwicklung in den betrachteten Ländern.

(10) Entwicklung eines **Welthandelsmodells**, welches den Handel an den Chancen der Gewinnmaximierung ausrichtet und neben Gestehungskosten auch WACC, Transportkosten, Handelsbeschränkungen (Embargos) und Zölle berücksichtigt, und Untersuchung globaler Versorgungspfade.

(11) Durchführung von **Länderkurzstudien**, um die theoretischen Ergebnisse für drei ausgewählte Länder an den dortigen infrastrukturellen und industriellen Rahmenbedingungen zu spiegeln und relevante Stakeholder und deren Interessen zu identifizieren.

(12) Anpassung eines **multi-regionalen Input-Output-Modells** und erstmalige Analyse von Auswirkungen potenzieller Versorgungspfade aus gesamtwirtschaftlicher Sicht.

18.4. Ergebnis

Geht man vom Stand und den Gestehungskosten der derzeitigen Technologien, den Annahmen zu ihrer langfristigen Entwicklung, den verfügbaren Daten zu den Ressourcen in der MENA-Region sowie den hier eingesetzten Modellen aus, so sind neun Aspekte zu nennen, die die zentrale Forschungsfrage beantworten:

(1) **Sehr hohe technische Potenziale für EE-Strom, Wasserstoff und Synfuels:** In der MENA-Region sind mit ca. 413.000 TWh/a sehr große Erzeugungspotenziale an erneuerbaren Energien vorhanden, insbesondere bei der Nutzung von Solarenergie (PV, CSP). Entsprechend sind auch die Potenziale zur Herstellung von Wasserstoff und Synfuels sehr groß, selbst nach Abzug des langfristigen Eigenbedarfs der MENA-Region für eine komplette Umstellung auf erneuerbare Energien. Verglichen mit dem möglichen Bedarf an Synfuels in Europa im Jahr 2050 bei einer breiten Variation der Antriebstechnologien liegen die möglichen Exportpotenziale um den Faktor 10 (aus Wind) bis Faktor 210 (aus Solar) höher. Betrachtet man nur die Versorgung Deutschlands, sind die Faktoren noch einmal um das 5,6-fache höher.

(2) **Sehr große kostengünstige Potenziale für EE-Strom, Wasserstoff und Synfuels:** Auch wenn die Potenziale an erneuerbaren Energien unterschiedlich verteilt sind, weisen nahezu alle MENA-Länder und -Regionen bedeutende Erzeugungspotenziale mit geringen Gestehungskosten auf und kommen damit zur Herstellung von Synfuels in Frage. In den günstigsten Standorten liegen die PtL-Gestehungskosten – gerechnet bei mittleren Investitionskosten – im Jahr 2030 bei 1,92 – 2,65 EUR/l und im Jahr 2050 bei 1,22 – 1,65 EUR/l (eine positive Entwicklung von Investitionsbedingungen in der Region vorausgesetzt). Das Exportpotenzial von Kraftstoffen, die für unter 2 EUR/l hergestellt werden können, beläuft sich selbst bei negativer Entwicklung von Investitionsbedingungen im Jahr 2050 auf ca. 26.000 TWh/a. Es stammt in diesem Fall vorwiegend aus Ländern mit guten technischen Potenzialen und stabilen Investitionsbedingungen. Bei positiver Entwicklung von Investitionsbedingungen beläuft sich dieses sogar auf ca. 48.000 TWh/a.

(3) **Investitionsumfeld entscheidet über potenzielle Exportregionen:** Die Analyse zeigt jedoch auch auf, dass in der Bewertung möglicher Exportpotenziale aus der MENA-Region nicht nur das kostengünstigste EE-Potenzial, sondern auch das Investitionsumfeld entscheidend ist. Die Berücksichtigung von Investitionsrisiken in den Ländern der MENA-Region hat einen signifikanten Einfluss auf die Kosten des Wasserstoffs und seiner Folgeprodukte und damit auf die Auswahl der potenziellen Exportländer. Die Risiken wurden dabei als länderspezifische gewichtete durchschnittliche Kapitalkosten (WACC) umgesetzt. Während länderspezifische WACCs im Rahmen von Energiesystemmodellen bisher nur sehr begrenzt in die systematische Bewertung von Potenzialen einbezogen wurden, wurden hier erstmals Investitionsrisiken für alle betrachteten MENA-Länder abgeschätzt und entsprechend eingepreist. Trotz der aussagekräftigen Ergebnisse bleibt jedoch eine vollständige Quantifizierung der Länderrisikofaktoren schwierig und hängt immer eng mit den aktuellen politischen Entwicklungen zusammen, die sich auch kurzfristig stark verändern können.

(4) **Komplementäre Modelle mit ähnlichen Ergebnissen:** Während die oben dargestellten Ergebnisse der Energiemodelle rein auf der Analyse von Gestehungskosten basieren, bezieht das parallel entwickelte Handelsmodell zusätzlich Handelsbeschränkungen (Embargos) und Zölle mit ein und analysiert zudem eine Vielzahl weiterer Länder außerhalb der MENA-Region. Auch das Handelsmodell kommt zum Schluss, dass MENA-Länder trotz geringer Erzeugungskosten und sehr großer Exportpotenziale nur dann interessante Partner für Deutschland oder die EU werden würden, wenn die Kapitalkosten für Investoren ein Niveau erreichen, das zu einem wirklichen Wettbewerbsvorteil führt. Ansonsten könnte sich die EU einerseits weitgehend selbst versorgen, andererseits würden bei globaler Öffnung und Verfügbarkeit Länder in Amerika und Ozeanien als Handelspartner für die EU eine zunehmend wichtige Rolle spielen.

(5) **Gestaltung der ökonomischen Rahmenbedingungen wichtig:** Um mittelfristig auch den Export aus Ländern mit kostengünstigen Potenzialen, aber hohen Risikokosten zu ermöglichen, sind grundsätzlich zwei Optionen möglich: Einerseits könnten Risiken für den erneuerbaren Energiesektor und den synthetischen Kraftstoffsektor durch entsprechende Maßnahmen in den Ländern selber reduziert werden. Dies dürfte im Bereich der Makrorisiken wie der allgemeinen politischen und wirtschaftlichen Stabilität oder einem schlechten allgemeinen Geschäftsklima jedoch schwieriger sein als bei Mikrorisiken, die sich speziell auf Sektorentwicklung beziehen und beispielsweise die Einfachheit und Schnelligkeit von Genehmigungsprozessen, vorhandene Fachexpertise, aber auch generelle politische Prioritäten beim Ausbau von erneuerbaren Energien umfassen. Andererseits könnte durch staatliche oder multilaterale Finanzierungsinstrumente Kapital zu geringeren Kosten bereitgestellt werden. Der Einfluss von internationalen Finanzinstitutionen wie Weltbank, EBRD, KfW sowie internationalen Risk Mitigation Mechanismen wurde in der Analyse jedoch nicht gesondert analysiert.

(6) **Transport der Energieträger von Bedeutung:** Wie die Ergebnisse des Energieversorgungsmodells aufzeigen, spielt die Höhe der Transportkosten eine wesentliche Rolle, wenn es um die Art des zu transportierenden Produktes (Strom, Wasserstoff oder Synfuels) geht. Gemäß der Modellergebnisse würde der Transport von Energie von MENA nach Europa über weite Distanzen vorwiegend in Form von Wasserstoff und Synfuels erfolgen. Der Grund sind die vergleichsweise geringen Transportkosten und die bessere Ausnutzung der Erzeugungspotenziale am Herstellungsort. Strom hingegen würde (nahezu) vollständig innerhalb Europas produziert werden, da der Stromtransport mit vergleichsweise hohen Kosten verbunden ist.

(7) **Starker Ausbau der erneuerbaren Energien in der MENA-Region Voraussetzung:** Die Arbeiten zu den MENA-Szenarien haben gezeigt, dass eine THG-neutrale Energieversorgung der MENA-Länder ohne fossile Energieträger selber bereits eine enorme Herausforderung darstellen wird. Der geschätzte erforderliche Ausbau an Erzeugungskapazitäten für Solar- und Windstrom zur Eigenversorgung liegt je nach Szenario bei insgesamt 4.500 GW bis knapp 9.000 GW bis zum Jahr 2050. Ein zusätzlicher Ausbau der EE-Stromerzeugung in der MENA-Region für den Export von Synfuels sollte nicht auf Kosten der eigenen Energietransformation gehen, da sonst die globalen Ziele konterkariert würden. Folglich müssen in den möglichen Exportländern der MENA-Region bei einem großskaligen Aufbau einer Synfuels-Produktion die EE-Ausbauziele und -entwicklungen deutlich intensiviert werden. Idealerweise sollten sich beide Zielsetzungen – inländische Versorgung und Export – gegenseitig verstärken.

(8) **Synfuels bis spätestens 2030 fast alle großskalig verfügbar:** Die Technologiebewertung zeigt, dass bis 2030 fast alle betrachteten synthetischen Kraftstoffe bei stetiger Weiterentwicklung der Prozesse großskalig hergestellt werden könnten. Viele benötigte Technologien wie die Meerwasserentsalzung, Syntheseverfahren oder der Methanol-to-Gasoline-Prozess sind bereits weit entwickelt – die Herausforderung besteht oft in der Integration mit der Strom- und Wärmeerzeugung aus erneuerbaren Energien. Für zentrale Prozesse wie die CO₂-Abtrennung und -Nutzung besteht dagegen noch umfangreicher Entwicklungsbedarf. Dies gilt auch für die weiteren Aufbereitungsverfahren LOHC-Kopplung, Methanol-to-DME, Methanol-to-Kerosin und Methanol-to-OME, für die eine großskalige Verfügbarkeit bis 2030 oder 2040 angenommen wird.

(9) **Ökobilanzen zeigen große Reduktion der Klimawirkung:** Für die exemplarisch bilanzierten PtL-Prozessketten zur Herstellung synthetischen Kerosins über die Fischer-Tropsch- sowie über die Methanolroute weist der synthetische Kraftstoff eine deutlich geringere Klimawirkung auf als die fossile Referenz. Im Fall, dass das für die Synthese benötigte CO₂ vorher aus der Atmosphäre abgetrennt wurde, kann bilanziell eine Minderung von Treibhausgasen – je nach Pfad – um 57 - 84 % erreicht werden. In allen anderen bilanzierten Umweltwirkungskategorien schneiden die betrachteten Pfade dagegen schlechter ab. Dies gilt beispielsweise für die Indikatoren Landnutzung, terrestrische Versauerung, Eutrophierung und den kumulierten Energieaufwand. Dies ist in erster Linie durch den hohen Bedarf an Energie zur Wasserstoffherzeugung und für die CO₂-Bereitstellung begründet, aber auch durch die ebenfalls höheren Rohstoffbedarfe bei der Errichtung der Anlagen für die mehrstufigen Prozessketten. Es empfiehlt sich zudem, über große Entfernungen nicht den benötigten Wasserstoff, sondern den produzierten Kraftstoff zu transportieren. So können Diffusionsverluste des Wasserstoffs reduziert und Synergieeffekte einer Wärme- und Wasserintegration der verschiedenen Teilprozesse genutzt werden.

18.5. Schlussfolgerung/Anwendungsmöglichkeiten

Da die vorgelegte Studie im Rahmen einer technischen Förderinitiative erstellt wurde, wurden Fragen, die die mögliche Umsetzung der identifizierten Importpfade betreffen, nicht analysiert. Dies betrifft u. a. die notwendige Bewertung der Exportpotenziale der MENA-Länder unter Nachhaltigkeitskriterien, die lokale Akzeptanz der Bevölkerung, die regulatorischen Voraussetzungen möglicher Exportstrategien oder die geopolitische Einordnung in Bezug auf potenzielle Exportländer. Nur bei der vorher gegangenen Risikobewertung wurden eine Vielzahl von Mikro- und Makrorisiken aus verschiedenen Perspektiven betrachtet.

Beachtet werden sollte auch, dass MENA-Fuels als systemanalytisches Forschungsprojekt angelegt wurde, in dem mittels Modellbildung, Szenarienanalyse und Technikbewertung mögliche Entwicklungen im Zeitraum von 2030 – 2050/60 betrachtet wurden. Szenarien zeigen „wenn-dann“-Entwicklungen auf, fragen also nach einer möglichen Entwicklung bei vorgegebenen Annahmen. Damit kann je nach Bandbreite der Annahmen ein Fächer denkbarer Entwicklungen dargestellt werden, innerhalb dessen sich die tatsächliche Entwicklung voraussichtlich abspielen wird. Dementsprechend stellen die hier vorgelegten Ergebnisse keine Prognosen dar und sind nicht dafür geeignet, Unternehmen konkrete Investitionsmöglichkeiten aufzuzeigen oder in Investitionsentscheidungen einzugehen. Sie stellen stattdessen Orientierungswissen für Langfrist-Entscheidungen mit Zeithorizonten eher nach 2030 dar.

Zudem sind bei der Modellierung keine konkreten, kommerziellen Projekte in der MENA-Region berücksichtigt worden. Diese könnten als Indiz für eine langfristige Entwicklung dienen, wenn ein entsprechender Trend (Massenmarkt, Upscaling) erkennbar wäre. Da es sich bislang jedoch meist um Pilotprojekte und oft nur um erste Ankündigungen handelt, können diese nicht als Basis für eine Langfrist-Szenarienanalyse verwendet werden. Auch kostenseitig können einzelne Projekte nicht mit den hier angenommenen Kostenentwicklungen verglichen werden, da sie in dem Stadium in der Regel noch nicht den üblichen Prozess der Kostenreduktion durch technisches Lernen, Massenproduktion und Skalierungseffekte durchlaufen haben. Vielmehr kommen hier staatliche Subventionen, Abnahmegarantien, günstige Kredite oder interne Finanzierungsmöglichkeiten zum Tragen, mit denen der Markteintritt gefördert werden soll.

19. Schlagwörter

Energiewende, Verkehrswende, Klimaneutralität, Wasserstoff, Synthetische Kraftstoffe, Feedstock, Importpfade, MENA-Region, Deutschland

20. Verlag

Wuppertal Institut (Eigenverlag)

21. Preis

Kostenlos

Document Control Sheet

<p>1. ISBN or ISSN No one</p>	<p>2. Type of Report (e.g. report, publication) Publications (Sub-reports)</p>
<p>3. title Sub-report No. 9: Szenarien zur Eigenbedarfsanalyse für die MENA-Länder Sub-report No. 10: Technische und risikobewertete Kosten-Potenzial-Analyse der MENA-Region</p>	
<p>4. author(s) (family name, first name(s)) Sub-report No. 9: <i>Pregger, Thomas</i> Sub-report No. 10: <i>Braun, Josua; Kern, Jürgen; Scholz, Yvonne; Hu, W., Moser, M., Schillings, Christoph; Simon, S., Ersoy, Sibel R.; Terrapon-Pfaff, Julia</i></p>	<p>5. end of project 30 June 2022</p> <p>6. publication date 30 November 2022</p> <p>7. form of publication online-reports at www.wupperinst.org/MENA-Fuels/</p>
<p>8. performing organization(s) (name, address) Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e. V. Institut für Vernetzte Energiesysteme, Abteilung Energiesystemanalyse Curiestraße 4 70563 Stuttgart</p> <p>Further project partners: - Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie gGmbH - IZES gGmbH - Institut für Zukunftsenergiesysteme</p>	<p>9. originator's report no. See above</p> <p>10. reference no. 03EIV181A</p> <p>11. no. of pages Different for each sub-report</p>
<p>12. sponsoring agency (name, address) Federal Ministry for Economic Affairs and Climate Action (BMWK) Scharnhorststraße 34-37 10115 Berlin Germany</p>	<p>13. no. of references Different for each sub-report</p> <p>14. no. of tables Different for each sub-report</p> <p>15. no. of figures Different for each sub-report</p>
<p>16. supplementary notes</p>	
<p>17. presented at (title, place, date) PTJ, Geschäftsbereich ESI 1, Mr. F. Kuhnert, Jülich, 30 November 2022</p>	

18. abstract (for the study in total)

18.1./2. Current state of science and technology, justification and objective of the study

By adopting the Paris Agreement in 2015, the COP21 United Nations Climate Change Conference agreed to limit global warming to well below 2°C. This requires that, in addition to transitioning its energy sector, Germany's transport and industrial sectors also need to fully convert to a climate-neutral economic approach. In addition to behaviour-related activities, two technical strategies are of key relevance in this context – one being the *direct electrification* of transport based on renewable energies (electric mobility) and the other being *indirect electrification* using gaseous and liquid fuels produced from green hydrogen (i.e., based on renewable energies); these fuels are referred to as 'synthetic fuels'. Another aspect to consider is the decarbonisation or defossilisation of the industrial sector. Strategies based on the *indirect use of renewable energies* are advantageous in the energy intensive industry in particular.

Depending on the strategy, the question arises as to how and at what costs the demand for electricity from renewable energies (RE), hydrogen and its synthetic downstream products can be met. Given that the process of generating electricity from RE makes up approx. 50 per cent of the overall production costs, the origin of the RE is a key variable. The MENA-Fuels research project tackled this question and analysed it in a broader methodological context. The MENA region (Middle East/North Africa) was selected as a potential import region in this context. The project's **key research question** was: What role could the MENA region play in supplying Germany (and Europe) with green synthetic combustibles and fuels, feedstocks or their precursors?

At the beginning of the project and also during the project, there were no known investigations in this regard.

18.3. Methods

- (1) **Holistic evaluation** of different technologies for the production of synthetic fuels and feedstocks to show early opportunities and risks of the possible introduction of electricity-based fuels.
- (2) Development of three **energy demand scenarios** to show different demand for renewable based electricity, hydrogen and synthetic fuels for transport in Germany and Europe.
- (3) Consideration also of the material requirements of a **climate-neutral industry**, as they partly overlap with the demand of the transport sector (hydrogen or feedstock such as methanol).
- (4) Development of **energy scenarios** for a 100% renewable energy supply for the 17 MENA countries considered, in order to take into account the long-term domestic demand of the MENA region.
- (5) Identify **renewable energy and fuel generation costs** at high spatial resolution for the MENA countries and regions and translate them into cost potentials.
- (6) Identify **minimum cost supply pathways** between MENA countries and Germany/EU by optimizing fuel supply pathways.
- (7) Develop for the first time an approach to **assess micro and macro risks** for countries with over 100 indicators and conduct risk analysis for the MENA countries under consideration.
- (8) Develop an approach to **translate the risk assessments thus obtained into country-specific cost of capital markups** that are incorporated into the weighted average cost of capital (WACC).
- (9) For the first time, calculation of **minimum cost supply paths based on country-specific WACCs** and their changes in the case of a generally positive and a challenging development in the countries under consideration.
- (10) Developing a **global trade model** that aligns trade with profit maximization opportunities and takes into account WACC, transport costs, trade restrictions (embargoes) and tariffs in addition to cost price, and investigating global supply paths.
- (11) Carry out **short country studies** in order to mirror the theoretical results for three selected countries against the local infrastructural and industrial framework conditions and to identify relevant stakeholders and their interests.
- (12) Adaptation of a **multi-regional input-output model** and first-time analysis of the effects of potential supply paths from a macroeconomic perspective.

18.4. Results

Given the state of the art and supply costs of current technologies, assumptions regarding their development over the long term, available data on the resources in the MENA region and the models applied in this project, nine aspects can be noted that serve to answer to our key research question:

(1) **Very high technical potentials for RE electricity, hydrogen and syngas:** At approx. 413,000 TWh/a, the MENA region is home to very extensive potentials for the production of renewable energies, particularly as regards the use of solar energy (PV, CSP). Likewise, the potentials for producing hydrogen and syngas are also very extensive, even once the long-term demand the MENA region itself would have for a complete conversion to renewable energies has been deducted. Compared with the potential demand for syngas in Europe in 2050 with a broad degree of variation in the drive technologies, the possible export potentials are higher by a factor of 10 (from wind) to a factor of 210 (from solar). If the supply to Germany alone is taken into consideration, these factors are even 5.6 times higher.

(2) **Very extensive cost-effective potentials for RE electricity, hydrogen and syngas:** Even if the potentials for renewable energies are unevenly distributed, nearly all MENA countries and regions exhibit significant production potentials with low generation costs and can thus be considered as an option for the production of syngas. The PtL generation costs – calculated at average investment costs – amount to €1.92–2.65/l in 2030 and €1.22–1.65 /l in 2050 in the most advantageous locations (assuming that investment conditions in the region develop in a positive direction). The export potential for fuels that can be produced for less than €2/l amounts to approx. 26,000 TWh/a in 2050, even if investment conditions develop in a negative manner. In this case, the potential is primarily found in countries that are home to good technical potentials and stable investment conditions. This figure could even amount to approx. 48,000 TWh/a if investment conditions develop favourably.

(3) **Investment environment determines potential export regions:** However, the analysis also shows that the most cost-effective RE potential is not the only decisive factor in assessing possible export potentials from the MENA region – the investment environment also plays a crucial role in this. Taking investment risks into consideration in the countries in the MENA region has a significant influence on the costs of hydrogen and its downstream products and thus on the selection of the potential export countries. The risks were converted as country-specific weighted average capital costs (WACC). While country-specific WACCs have only been considered in the systematic evaluation of potentials to a very limited extent in the context of energy system models so far, this project estimated the investment risks for all the analysed MENA countries and factored them in accordingly for the first time. Nonetheless, it remains difficult to fully quantify the country risk factors despite the conclusive results acquired in MENA-Fuels, and this quantification process is always highly dependent on current political developments, which also have the potential to change dramatically at short notice.

(4) **Complementary models with similar results:** While the results of the energy models described above are based solely on the analysis of generation costs, the trade model developed in parallel to this also includes trade restrictions (embargoes) and customs duties as well as analysing a wide range of other countries outside the MENA region. The trade model also arrives at the conclusion that, despite their low generation costs and very extensive export potentials, MENA countries would only become interesting partners for Germany and the EU if the capital costs for investors were to reach a level that gives them a genuine competitive advantage. Apart from this, the EU could, on the one hand, largely supply its own demand and, on the other hand, countries in the Americas and Oceania would come to play an increasingly important role as trade partners for the EU should global markets open up and become available.

(5) **Structure of general economic conditions is key:** In principle, there are two options that could be used over the medium term to also facilitate exports from countries that have cost-effective potentials but high risk-related costs: Firstly, risks for the renewable energy sector and the synthetic fuels sector could be reduced based on appropriate activities in the countries themselves. However, this could prove more difficult when it comes to macro risks such as general political and economic stability or in the event of unfavourable business conditions as a whole than it would be for micro risks that specifically relate to sector development and, for example, include the simplicity and speed of approval processes, available specialist expertise and general political priorities for the expansion of renewable energies. Secondly, national or multi-lateral financing instruments could be used to make capital available at lower costs. However, the influence of international financial institutions such as the World Bank, EBRD, KfW and international risk mitigation mechanisms were not separately examined in the analysis.

(6) **Transporting energy sources plays a significant role:** As demonstrated by the results of the energy supply model, the amount of transport costs plays a key role when it comes to the type of product being transported (electricity, hydrogen or syngas). As per the results of the model, the transport of energy from MENA to Europe across large distances would primarily take place in the form of hydrogen and syngas. This is due to the comparatively low transport costs and the fact that generation potentials can be exploited more effectively at the production site. Electricity, on the other hand, would be (almost) entirely produced within Europe given that transporting electricity involves comparatively high costs.

(7) **Renewable energies need to be significantly expanded in the MENA region:** The work that went into the MENA scenarios showed that a GHG-neutral supply of energy of the MENA countries that does not involve fossil energy sources will already represent an enormous challenge in and of itself. Depending on the scenario, the estimated required expansion in generation capacities for solar and wind power to supply the region's own demand would amount to a total of 4,500 GW to just under 9,000 GW until 2050. The approaches taken in the current expansion goals of most MENA countries do not provide for these orders of magnitude and the expansion efforts required to this end. RE power generation in the MENA region for the export of syngas should not be further expanded at the expense of the countries' own energy transition, as this would thwart efforts to achieve global targets. As a result, the RE expansion targets and developments must be stepped up to a significant extent in the potential export countries in the MENA region in the event of large-scale expansion of syngas production. Ideally, both objectives – internal supply and exports – should serve to enhance each other.

(8) **All syngas to be available at large scale by 2030 at the latest:** The technology assessment shows that nearly all of the analysed synthetic fuels could be produced at large scale by 2030 if the processes continue to be developed on an ongoing basis. Many of the required technologies such as sea water desalination, synthesis methods and the methanol-to-gasoline process have already reached a mature stage of development – the challenge often consists of integrating them with the production of electricity and heat from renewable energies. On the other hand, a great deal of development work is still needed for key processes such as carbon capture and use. The same applies to the further processing methods of LOHC coupling, methanol-to-DME, methanol-to-kerosene and methanol-to-OME, which, based on assumptions, will be available at large scale by 2030 or 2040.

(9) **Life cycle assessments show large reduction in climate impact:** When looking at the PtL process chains for producing synthetic kerosene via the Fischer-Tropsch and methanol routes, for which LCA were performed as an example, it is evident that the synthetic fuel has a significantly lower climate impact than the fossil reference. In the case that the CO₂ required for the synthesis was previously captured from the atmosphere, a reduction of greenhouse gases – depending on the pathway – of 57 - 84 % can be achieved. In all other categories of impact the synthetic fuel has poorer outcomes. This applies, for example, to the indicators of land use, terrestrial acidification, eutrophication and the cumulative energy demand. This is primarily due to the high energy requirements for hydrogen production and CO₂ supply, but also to the higher raw material requirements for the construction of the plants for the multi-stage process chains. It would also be more expedient to transport the final fuel rather than the required hydrogen across long distances. This would make it possible to reduce diffusion losses of hydrogen and utilise synergy effects created by integrating heat and water from the various sub-processes.

18.5. Conclusion/applicability

Due to the fact that the presented study was prepared as part of a technical funding initiative, questions relating to the potential implementation of the identified import pathways were not analysed. Among other things, this includes the required assessment of the export potentials of the MENA countries based on sustainability criteria, acceptance on the part of the local population, regulatory requirements for potential export strategies and the geopolitical classification as regards potential export countries. A wide range of micro and macro risks were only considered from various perspectives in the preceding risk evaluation.

A further aspect to be noted is that MENA-Fuels was designed to be a research project based on a systemic analysis, with the project considering potential developments in the time period from 2030 to 2050/60 by constructing models, analysing scenarios and assessing technologies. Scenarios pinpoint 'if/then' developments and thus consider which developments could occur in light of the given assumptions. Depending on the range of assumptions, it is thus possible to outline a multitude of conceivable developments within which the actual developments can be expected to play out. For this reason, the results depicted here do not represent forecasts and are not suitable as a means of highlighting specific investment possibilities for companies or informing investment decisions. Rather, they are to be taken as insights that provide guidance for long-term decisions with time scales generally extending beyond 2030.

Moreover, the modelling did not take any specific, commercial projects in the MENA region into consideration. Such projects could serve as an indicator for long-term development if a corresponding trend (mass market, upscaling) were to be in evidence. However, given that the initiatives have typically involved pilot projects and, in many cases, only initial announcements thus far, they cannot be used as the basis for a long-term analysis of scenarios. In terms of costs, individual projects are likewise unsuitable for comparisons with the trends in costs assumed here, given that at this stage, they typically have yet to undergo the usual process of reducing costs based on technical learning, mass production and scaling effects. Rather, the influencing factors are much more likely to include state subsidies, purchase guarantees, favourable loans or internal financing options that are intended to boost entry into the market.

19. key words

Energiewende, traffic transition, climate neutrality, hydrogen, synthetic fuels, feedstock, import pathways, MENA region, Germany

20. publisher

Wuppertal Institut (in-house publishing)

21. price

for free (online version)