

*Zusammenfassung* | November 2022

# **Synthese und Handlungsoptionen** **– Ergebnisbericht des Projekts** **MENA-Fuels**



---

*Peter Viebahn*  
*Jürgen Kern*  
*Juri Horst*  
*Andreas Rosenstiel*  
*Julia Terrapon-Pfaff*  
*Larissa Doré*  
*Christine Krüger*  
*Ole Zelt*  
*Thomas Pregger*  
*Josua Braun*  
*Uwe Klann*

**Autorinnen und Autoren:**

PD Dr. Peter Viebahn, Dr. Julia Terrapon-Pfaff,  
Dr. Larissa Doré, Christine Krüger, Ole Zelt

Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie gGmbH  
Döppersberg 19  
42103 Wuppertal  
www.wupperinst.org

Jürgen Kern, Dr.-Ing. Thomas Pregger, Josua Braun

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e. V. (DLR)  
Institut für Vernetzte Energiesysteme, Abteilung Energiesystemanalyse  
Curiestraße 4  
70563 Stuttgart

Andreas Rosenstiel

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e. V. (DLR)  
Institut für Future Fuels  
Linder Höhe  
51147 Köln  
www.dlr.de

Juri Horst, Dr. Uwe Klann

izes gGmbH - Institut für ZukunftsEnergie- und Stoffstromsysteme (IZES)  
Altenkesseler Str. 17  
66115 Saarbrücken  
www.izes.de

**Unter Mitarbeit von:**

Jacqueline Klingen (Wuppertal Institut)

**Bitte den Bericht folgendermaßen zitieren:**

Viebahn, P., Kern, J., Horst, J., Rosenstiel, A., Terrapon-Pfaff, J., Doré, L., Krüger, C., Zelt, O., Pregger, T., Braun, J., Klann, U. (2022). Zusammenfassung des Ergebnisberichts des Projekts MENA-Fuels von Wuppertal Institut, Deutschem Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) und Institut für ZukunftsEnergie- und Stoffstromsysteme (IZES) an das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK). Wuppertal, Stuttgart, Köln, Saarbrücken.

Dieses Werk steht unter der Lizenz „Creative Commons Attribution 4.0 International“ (CC BY 4.0).  
Der Lizenztext ist abrufbar unter: <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



## Danksagung

Dieser Bericht ist innerhalb des Forschungsvorhabens **MENA-Fuels – Roadmaps zur Erzeugung nachhaltiger synthetischer Kraftstoffe im MENA-Raum zur Dekarbonisierung des Verkehrs in Deutschland** entstanden. Er wird ergänzt durch weitere publizierte Berichte. Die Herausgeber danken allen beteiligten Forschungsinstituten, dem Fördermittelgeber und seinem Projektträger sowie den projektexternen Expertinnen und Experten aus Wissenschaft und Industrie für die konstruktive Zusammenarbeit und die wertvollen Beiträge zur vorliegenden Publikation.

## Disclaimer

Das diesem Bericht zugrunde liegende Forschungsvorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) unter dem Förderkennzeichen 3EIV181A-C durchgeführt. Die Verantwortung für den Inhalt dieses Berichts liegt bei den Autorinnen und Autoren.

Das hier verwendete Kartenmaterial dient lediglich der Veranschaulichung. Es beinhaltet keine offizielle Stellungnahme der Bundesrepublik Deutschland zu etwaigen umstrittenen Rechtspositionen von Drittstaaten.

**Projektlaufzeit:** Dezember 2018 – Juni 2022

### Verbundpartner:

Wuppertal Institut (Koordination): PD Dr. Peter Viebahn  
 Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt: Jürgen Kern  
 Institut für ZukunftsEnergie- und Stoffstromsysteme: Juri Horst

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

---

## **Impressum**

### **Herausgeberin:**

Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie gGmbH  
Döppersberg 19  
42103 Wuppertal  
[www.wupperinst.org](http://www.wupperinst.org)

### **Ansprechperson:**

PD Dr. Peter Viebahn (Verbundkoordinator)  
Abteilung Zukünftige Energie- und Industriesysteme  
[peter.viebahn@wupperinst.org](mailto:peter.viebahn@wupperinst.org)  
Tel. +49 202 2492-306

### **Bildquellen:**

Titelseite: GettyImages  
Rückseite: eigene Darstellung

## Inhaltsverzeichnis

<b>Inhaltsverzeichnis</b>	<b>5</b>
<b>1 Einführung</b>	<b>6</b>
<b>2 Zusammenfassende integrative Bewertung</b>	<b>8</b>
2.1 Gesamtbewertung	8
2.2 Einschränkungen bei der Interpretation der Ergebnisse	11
2.3 Umgang mit Unsicherheiten	11
2.4 Innovative Elemente	12
<b>3 Handlungsoptionen und Forschungsbedarf</b>	<b>14</b>
3.1 Handlungsoptionen für die Politik	14
3.2 Handlungsoptionen für die Industrie	16
3.3 Forschungsbedarf	17

## 1 Einführung

Mit dem „Paris-Agreement“ der Weltklimakonferenz COP 21 in 2015 wurde vereinbart, den globalen Temperaturanstieg deutlich unter 2 °C zu halten. Dies erfordert weltweit die zeitnahe Entwicklung von Strategien und Lösungen für die wirksame Umsetzung von Treibhausgas (THG)-Minderungspfaden. 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 auf eine klimaneutrale Wirtschaftsweise (Bundesregierung, 2021). Aufgrund seines hohen Anteils an den THG-Emissionen und den bislang geringen Minderungserfolgen braucht es daher gerade im Verkehrssektor deutlich stärkere Anstrengungen und wirksamere Strategien zu seiner Dekarbonisierung und Defossilisierung.

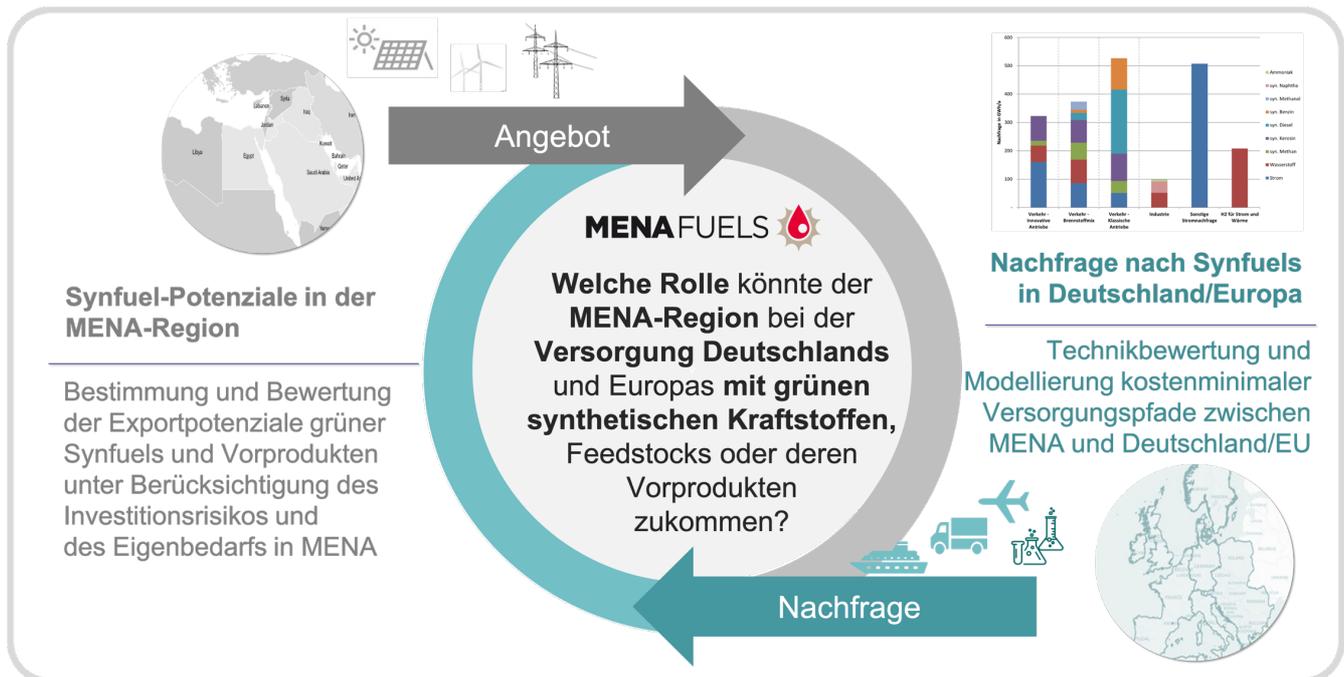
Für eine zukünftige zielkonforme Entwicklung der Mobilität in Deutschland und in Europa gibt es bisher noch kein Patentrezept. Neben verhaltensbedingten Maßnahmen zur Reduzierung der Verkehrsleistungen insbesondere der energieintensiven Verkehrsträger stehen dabei zwei technische Strategien im Vordergrund: 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 (d. h. basierend auf erneuerbaren Energien) hergestellt werden („synthetische Kraftstoffe“). Während mit der Elektromobilität ein hoher Wirkungsgrad bei der Nutzung erneuerbarer Energien erreicht wird, ermöglichen synthetische Kraftstoffe die kontinuierliche und bruchfreie Weiternutzung der Fahrzeugflotte und der bestehenden Verteil- und Tank-Infrastrukturen. Aufgrund der zahlreichen Umwandlungsschritte ist ihre Herstellung allerdings mit hohen Energieverlusten behaftet. Diskutiert wird auch eine Kombination beider Lösungen – Nutzung synthetischer Kraftstoffe im Flug-, Schiffs- und Schwerlastverkehr sowie Umstieg auf Elektromobilität im Personenverkehr.

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 (Agora Energiewende und Wuppertal Institut, 2019): einerseits der Einsatz von grünem Wasserstoff z. B. in der Stahlindustrie (Direktreduktion) und der Chemieindustrie, andererseits der Einsatz von „grünem Feedstock“, also Grundstoffen, die ebenfalls auf der Basis von grünem Wasserstoff hergestellt werden, aber auch für den Verkehr relevant sein können (z. B. das Zwischenprodukt Methanol). 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. Insbesondere bei der Herstellung der Folgeprodukte werden erhebliche Mengen an EE benötigt. Da die Stromerzeugung aus EE ca. 50 % ihrer gesamten Herstellungskosten ausmacht, stellt die Herkunft der EE eine Schlüsselgröße dar. Diese könnten entweder direkt aus Deutschland, aus Europa oder aus sonnen- und windreichen Regionen außerhalb Europas kommen. Für außereuropäische Importe werden verschiedene

Regionen diskutiert, z. B. Australien, Brasilien, China, Chile, Kalifornien, Naher Osten, Nord- und Südafrika. Das Verhältnis von heimischer Produktion zum Import von EE, Wasserstoff oder seiner synthetischen Folgeprodukte wurde in den letzten Jahren kontrovers diskutiert, ohne dass bislang eindeutige Antworten und Lösungsstrategien gefunden wurden.

Das Forschungsvorhaben MENA-Fuels hat diese Frage aufgegriffen und in einem methodisch erweiterten Kontext am Beispiel der MENA-Region (Middle East/North Africa) untersucht. Die **zentrale Forschungsfrage** des Vorhabens lautete dabei:



Das Projekt untersuchte dabei, welche Potenziale in den einzelnen Ländern und Regionen verfügbar sind, zu welchen Kosten entsprechende Ressourcen zur Verfügung stehen könnten, welche Transportinfrastrukturen benötigt werden, welche Teile der Wertschöpfungskette (WSK) in der MENA-Region und welche in Deutschland erfolgen, welchen langfristigen Bedarf an Wasserstoff und seinen synthetischen Folgeprodukten die MENA-Region selber hat oder mit welchen Mitbewerbern außerhalb von MENA und Europas zu rechnen ist.

Indem analysiert wurde, welche neuen Handelsbeziehungen sich zwischen der MENA-Region und Deutschland (und Europa) ergeben könnten, liefert die Studie *Orientierungswissen* für Vorhaben, die die MENA-Region als potenziellen wichtigen Handelspartner für Wasserstoff und seine synthetischen Folgeprodukte ins Auge fassen und die mit den erarbeiteten Ergebnissen richtungssicherere Entscheidungen für den langfristigen Ressourceneinsatz treffen können.

Aufgrund ihrer systemanalytischen Ausrichtung und der eingenommenen Langfristsperspektive liefert die Studie dagegen keine Aussagen zu kurz- und mittelfristigen Investitionsentscheidungen in der Region. Zudem ist zu berücksichtigen, dass die dargestellten Ergebnisse alleine auf einer techno-ökonomischen Modellierung beruhen und keine Untersuchungen für die konkrete Umsetzung von Projekten vor Ort durchgeführt wurden.

## 2 Zusammenfassende integrative Bewertung

### 2.1 Gesamtbewertung

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 nach der **möglichen zukünftigen Rolle der MENA-Region** bei der Versorgung Deutschlands und Europa mit EE-Strom, Wasserstoff und Synfuels 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 Länder-risikofaktoren 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 Geste-hungskosten 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 Handels-modell kommt zum Schluss, dass MENA-Länder trotz geringer Erzeugungs-kosten 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. Anson-sten 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 synthe-tischen 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. Ande-rerseits könnte durch staatliche oder multilaterale Finanzierungsinstrumente Kapital zu geringeren Kosten bereitgestellt werden. Der Einfluss von internatio-nalen Finanzinstitutionen wie Weltbank, EBRD<sup>1</sup>, KfW<sup>2</sup> 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 vergleichs-weisen 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.

---

<sup>1</sup> European Bank for Reconstruction and Development

<sup>2</sup> Kreditanstalt für Wiederaufbau

- 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. Solche Größenordnungen und die dafür erforderlichen Ausbaudynamiken sind nicht im Ansatz in den derzeitigen Ausbauzielen der meisten MENA-Länder abgebildet. 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 CO<sub>2</sub>-Abtrennung und -Nutzung besteht dagegen noch umfangreicherer 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 CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub>-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.

## 2.2 Einschränkungen bei der Interpretation der Ergebnisse

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. Verbleibender Forschungsbedarf wird in Kapitel 3.3 dargestellt.

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.

## 2.3 Umgang mit Unsicherheiten

Wie in Forschungsprojekten üblich, bestehen auch in MENA-Fuels an verschiedenen Stellen Unsicherheiten hinsichtlich der erhobenen Daten. Dies betrifft insbesondere Aussagen zur Entwicklung zukünftiger Technologien, gerade da die hier betrachteten Technologien zum großen Teil noch in der Entwicklung sind und ihre großskalige Anwendung erst zwischen 2030 und 2040 erfolgen wird. Wo möglich, wurde dies berücksichtigt, in dem z. B. Kosten als Bandbreite und nicht nur als gemittelter Wert dargestellt werden. In den entsprechenden Teilberichten wird zudem auf mögliche Unsicherheiten der Ergebnisse hingewiesen.

Eine generelle Unsicherheit besteht bei der Fortschreibung von Trends oder Entwicklungen über mehrere Jahrzehnte. Dies betrifft in MENA-Fuels die zukünftige

Entwicklung der Nachfrage nach Kraftstoffen, die Entwicklung von Mikro- und Makrorisiken der MENA-Länder oder die zukünftigen Handelsbeziehungen. Wie oben dargestellt, wurde dieser Unsicherheit mit dem gängigen Verfahren der Szenarioanalyse begegnet. Bei der Erstellung von Szenarien werden grundlegende Entwicklungstendenzen beschrieben („Storylines“), die aus einer Vielzahl von verschiedenen Eingangsparametern bestehen, die in die Zukunft fortgeschrieben werden. Anstatt sich auf eine bestimmte Entwicklung festzulegen, wird ein „Szenariotrichter“ aufgespannt, der verschiedene mögliche Entwicklungen umfasst.

Je aggregierter die Ergebnisse sind, um so weniger ist sichtbar, an welchen Stellen welche Annahmen getroffen wurden und wie sicher diese sind. Dementsprechend basieren die Analyseergebnisse hinsichtlich der Versorgungspfade zwischen der MENA-Region und Deutschland bzw. Europa auf einer Reihe zentraler Annahmen, die bei der Konzipierung späterer Transformationspfade berücksichtigt und hinterfragt werden sollten. Dies betrifft z. B. die ermittelten Potenziale, insb. im Hinblick auf Flächenverfügbarkeiten und Ausschlussflächen; die eingesetzten Technologien, insb. bei Wirkungsgraden und Kostenannahmen, oder die Vielzahl von Risikoindikatoren der MENA-Länder.

## 2.4 Innovative Elemente

Zusammenfassend wurden im Projekt MENA-Fuels folgende innovative Elemente umgesetzt:

- Eine ganzheitliche Bewertung verschiedener Technologien zur Produktion von synthetischen Kraftstoffen und Grundstoffen zeigt frühzeitig Chancen und Risiken der möglichen Einführung strombasierter Kraftstoffe auf.
- Drei Nachfrageszenarien zeigen eine unterschiedliche Nachfrage nach EE-Strom, Wasserstoff und synthetischen Kraftstoffen für den Verkehrsbereich in Deutschland und Europa auf.
- Auch die Stoffbedarfe einer klimaneutralen Industrie wurden mitberücksichtigt, da sie sich zum Teil mit der Nachfrage des Verkehrssektors überschneiden (Wasserstoff oder Grundstoffe wie Methanol).
- Zur Berücksichtigung des Eigenbedarfs der MENA-Region wurden erstmals Energieszenarien für eine Versorgung mit 100 % erneuerbare Energien für die betrachteten 17 MENA-Länder entwickelt.
- Zudem wurden für die MENA-Länder und -Regionen erneuerbare Energien- und Kraftstoff-Gestehungskosten in hoher räumlicher Auflösung ermittelt und in Kosten-Potenziale überführt.
- Die Optimierung der Kraftstoffbereitstellungspfade resultiert in kostenminimalen Versorgungspfaden zwischen den MENA-Ländern und Deutschland/Europa.
- Mit einer neu entwickelten Risikobewertung wurden erstmals Risikoanalysen für die betrachteten MENA-Länder durchgeführt, indem mit über 100 Indikatoren sowohl Mikro- als auch Makrorisiken abgeschätzt wurden.

- Zudem wurde ein Ansatz entwickelt, um die Risikobewertungen in länderspezifische Kapitalkostenaufschläge zu übertragen, die in die gewichteten durchschnittlichen Kapitalkosten (WACC) einfließen.
- Anschließend konnten erstmals kostenminimale Versorgungspfade basierend auf länderspezifischen WACCs gerechnet sowie deren Veränderungen bei einer allgemeinen positiven und einer herausfordernden Entwicklung in den betrachteten Ländern analysiert werden.
- Mithilfe eines Welthandelsmodells, welche den Handel an den Chancen der Gewinnmaximierung ausrichtet und neben Gestehungskosten auch WACC, Transportkosten, Handelsbeschränkungen (Embargos) und Zölle berücksichtigt, konnten globale Versorgungspfade untersucht werden.
- In Länderkurzstudien wurden die theoretischen Ergebnisse für drei ausgewählte Länder an den dortigen infrastrukturellen und industriellen Rahmenbedingungen gespiegelt und relevante Stakeholder und deren Interessen identifiziert.
- Mit einem multi-regionalen Input-Output-Modell wurden erstmals Auswirkungen potenzieller Versorgungspfade aus gesamtwirtschaftlicher Sicht analysiert.

### 3 Handlungsoptionen und Forschungsbedarf

Abschließend werden aus den bisherigen Ergebnissen strategische Handlungsoptionen für **Industrie und Politik** abgeleitet. Diese zeigen insbesondere auf, welche Prozesse zur möglichen Umsetzung eines Imports von Synfuels ergriffen werden könnten. Ebenfalls wird weiterer **Forschungsbedarf** skizziert, der sich teilweise auch mit den Handlungsoptionen überschneidet.

#### 3.1 Handlungsoptionen für die Politik

Es sind eine Reihe von Optionen denkbar, mit denen auf politischer Ebene der Weg der MENA-Region hin zu einer ökonomisch attraktiven Lieferregion für eine umfassende Produktion und Versorgung von grünem Wasserstoff und synthetischen Folgeprodukten unterstützt werden könnte:

- Um Planungssicherheit für Investoren zu garantieren, sollten langfristige **stabile politische Rahmenbedingungen für einen Markt von grünem Wasserstoff sowie synthetischen Folgeprodukten** geschaffen werden. Dies betrifft insbesondere regulatorische Fragen wie die Definition der Nachhaltigkeit von Wasserstoff und synthetischen Kraftstoffen<sup>3</sup>. Hier sind einerseits die Bedingungen für die Grundbestandteile von Kraftstoffen festzulegen (grüner Wasserstoff und klimaneutrales CO<sub>2</sub> sowie deren Herkunft), andererseits Nachhaltigkeitskriterien für die gesamte WSK sowohl in Deutschland als auch für Exportländer. Ein wesentliches Ziel einer deutschen und europäischen Energiepolitik mit der Absicht des Imports muss deshalb auch die Förderung der Ausbauziele und -entwicklungen für erneuerbare Energien in den MENA-Ländern sein, beispielsweise über die Unterstützung durch Energie- und Klimapartnerschaften.
- Ein weiterer Aspekt der Planungssicherheit bezieht sich auf die **politische Stabilität und die Investitionsrahmenbedingungen** in potenziellen Produzentländern der MENA-Region. Diese kann auch geschaffen werden, indem Deutschland sowohl potenzielle Exportländer bei der Schaffung günstiger Rahmenbedingungen unterstützt als auch Finanzierungsinstrumente entwickelt und z. B. über deutsche Entwicklungsbanken (KfW) und Garantien (HERMES) zur Verfügung stellt. Hierbei ist eine enge Abstimmung mit internationalen Finanzinstitutionen sinnvoll, um Kohärenz zu erreichen. Eine Schaffung stabiler Beziehungen auf bi- oder multilateraler Ebene zur Steigerung der Sicherheit und Verlässlichkeit für potenzielle Investoren ist von strategischer Bedeutung, wenn sich die MENA-Region perspektivisch als Lieferregion für grüne Energie entwickeln soll. Auch wenn dies teilweise schon geschieht, müssen die Anstrengungen in dieser Richtung deutlich ausgeweitet werden, um eine schnelle Umsetzung zu ermöglichen und den enormen Finanzierungsbedarf nicht nur für einzelne Pilotprojekte, sondern für ganze Sektoren zu sichern.
- Aber auch die Nutzung der **innereuropäischen Potenziale** an erneuerbaren Energien sollte nicht außer Acht gelassen werden. Wie die Ergebnisse sowohl des Energieversorgungsmodells als auch des Handelsmodells gezeigt haben, könnte

---

<sup>3</sup> Ein negatives Beispiel ist die Regulierung bei Biokraftstoffen, welche in der Vergangenheit häufig angepasst wurde.

sich Europa theoretisch – bei einer moderaten Nachfrage nach synthetischen Kraftstoffen – komplett selber versorgen. Hier könnte der Aufbau von **Energiepartnerschaften mit europäischen Ländern** einen schnellen Ausbau von Anlagen und Infrastrukturen fördern.

- Dies führt direkt zum Aspekt der **Versorgungssicherheit**. Im Rahmen der Energieaußenpolitik gilt es abzuwägen, wie die Versorgungspfade zukünftig diversifiziert werden sollten. Dies könnte dazu führen, dass nicht nur mit wenigen bevorzugten Ländern Handelsbeziehungen aufgebaut, sondern von vornherein ein breiter Mix von Exportländern gewählt wird. Aber auch eine umfassende Nutzung der europäischen erneuerbaren Energieressourcen könnte aus strategischen Gründen und nicht nur aus ökonomischer Vorteilhaftigkeit anvisiert werden.
- Würde dagegen aufgrund guter Investitionsbedingungen ein großer Teil der synthetischen Folgeprodukte aus der MENA-Region importiert, wären weitere **Fragen aus industriepolitischer Sicht** zu diskutieren. Die Verlagerung der kompletten WSK von Kraftstoffen und Zwischenprodukten (wie Methanol) in die MENA-Region (Renewables Pull<sup>4</sup>) würde den Wandel der Chemieindustrie in Deutschland stark beschleunigen. Hier besteht noch großer Forschungsbedarf in Bezug auf die Resilienz von WSK. Auf politischer Ebene sollte frühzeitig ein Verständnis für die zukünftige Rolle der Chemieindustrie entwickelt und Instrumente zur **Förderung** alternativer **Geschäftsmodelle** konzipiert werden (z. B. Umrüstung der Raffinerien zu reinen „Feedstock-Raffinerien“, Bau von EE-Anlagen und von Konversionsanlagen, Export von Technologie-Know-how, Joint-Ventures mit der Chemieindustrie in den möglichen Exportländern, aber auch ggf. gezielte Förderung bisheriger Standorte in Deutschland, wenn dies aus Gründen der Versorgungssicherheit geboten ist).
- Generell sollten **Wasserstoff und synthetische Energieträger** auch aus politischer Sicht immer **gemeinsam „gedacht“** und Strategien sich nicht nur auf den Import von Wasserstoff fokussieren. Einschätzungen des internationalen MENA-Fuels-Beirates haben sehr deutlich gezeigt, dass die MENA-Region sich nicht nur auf einen Lieferanten grünen Wasserstoffs reduzieren lassen will. Neben der ökonomischen und technischen Vorteilhaftigkeit, statt Wasserstoff direkt die synthetischen Folgeprodukte zu transportieren, gehen mit dem Aufbau von ganzen WSK in der MENA-Region auch Fragen der ökonomischen Entwicklung einher, deren Wirkung auf die Stabilität einer Region nicht unterschätzt werden sollten.
- Die Bandbreite der Kosten-Potenzial-Analysen sowie der aus der Praxis in das Handelsmodell übernommene Ansatz zur Gewinnmaximierung machen deutlich, dass die Importpreise, nach Abzinsung auf die heutige Kaufkraft, in etwa gleicher Höhe anfallen wie heutige fossile Energieträger vor Verteilung und Steuern. Der Einsatz von Wasserstoff und Synfuels wird daher nur dort stattfinden, wo fehlende Alternativen oder eine entsprechende Zahlungsbereitschaft bestehen. Aus Nachhaltigkeitsaspekten ist es daher auch weiterhin sinnvoll, auf die möglichst

<sup>4</sup> Zur Diskussion von „Renewables Pull“ siehe Samadi et al. (2021).

**effiziente Verwendung von Wasserstoff und Synfuels** zu setzen und insbesondere Alternativen hierzu zu entwickeln. So wäre im **Mobilitätssektor** nicht nur ein Antriebswechsel weiterzuentwickeln, sondern auch ein besserer **Politikrahmen** zu entwerfen, der den Modal-Shift weg vom motorisierten Verkehr anreizt und damit sowohl den Kraftstoff- als auch den Rohstoffbedarf senkt.

- Die größte Herausforderung dürfte dabei die Transformation zu einem **klima-neutralen Flugverkehr** sein. Wie die Ergebnisse der Ökobilanzen zeigen, kann die CO<sub>2</sub>-bezogene Klimawirkung des Kerosins bei Verwendung synthetischen Kerosins basierend auf erneuerbaren Energien und aus der Atmosphäre abgetrenntem CO<sub>2</sub> massiv reduziert werden. Diese Emissionen stellen jedoch nur etwa ein Drittel der Klimawirkung des Flugverkehrs dar, während die anderen zwei Drittel aus Nicht-CO<sub>2</sub>-Effekten wie der Bildung von Kondensstreifen-Zirren resultieren. Der Einsatz synthetischer Kraftstoffe kann daher nur einen begrenzten Beitrag zur Klimaneutralität des Flugverkehrs leisten. Daher sollte die Forschung zu alternativen Antrieben im Flugverkehr massiv verstärkt werden.

### 3.2 Handlungsoptionen für die Industrie

Eine wesentliche Grundlage der Industrie für die konsequente Entwicklung und Anwendung von Technologien, Anwendungen und Geschäftsmodellen sind langfristige **Planungssicherheit und Randbedingungen**, die sowohl politisch wie auch ökonomisch Investitionen ermöglichen. Aber auch für die Industrie selber ergeben sich eine Reihe von Optionen, mit denen sie die Transformation zu grünem Wasserstoff und synthetischen Kraftstoffen unterstützen kann:

- Die Technikbewertung hat bei einer Reihe von Technologien (insbesondere bei den Synthesetechnologien, aber auch bei der Wasserstoffherstellung und CO<sub>2</sub>-Abscheidung) eine Vielzahl von offenen Fragen ergeben. Diese betreffen insbesondere die zukünftige technische Entwicklung, aber auch nachgelagerte Fragen zur Bewertung unter ökonomischen und ökologischen Gesichtspunkten. Ein Beitrag der Industrie wäre es daher insbesondere, ihre **Anstrengungen für Forschung und Entwicklung** erheblich zu verstärken, um die Technologien innerhalb von kurzen Zeiträumen in den Markt zu bringen und Kostenreduktionen (durch technisches Lernen, Upscaling und Massenproduktion) zu ermöglichen. Dabei sollte die Entwicklung technologieoffen erfolgen, um das Risiko von Fehlentwicklungen und möglichen Rückschlägen zu minimieren. Da eine Reihe von Technologien im Rahmen der technischen Projekte der *Förderinitiative Energiewende im Verkehr* entwickelt wird, sei hier auch auf weitergehende Empfehlungen der *Begleitforschung BEniVer* verwiesen.
- Aufgrund der Dringlichkeit der Energiewende bedarf es entsprechend auch der zügigen **Entwicklung von Geschäftsmodellen**. Da dieses Projekt systemanalytischer Natur war und die grundsätzlichen Beziehungen für Pfade zur Versorgung Europas aus der MENA-Region aufgezeigt hat, bedarf es für die Ableitung von Geschäftsmodellen eigener Überlegungen, zu der die beteiligten Wissenschaftler\*innen auch nach Abschluss des Projekts beitragen können. Aus den Ergebnissen des Handelsmodells wird zudem ersichtlich, dass bei Realisierung

der hier angenommenen Kostendegression bei Elektrolyseuren und der Fischer-Tropsch-Synthese die Pionieranlagen aus den 2030er und 2040er Jahren ohne langfristige **Lieferverträge** kaum eine Dekade bestehen können. Geschäftsmodelle sollten daher durchaus berücksichtigen, dass die Prozesse in kurzen Zeitintervallen anzupassen sind, um nicht in die gleiche Problematik zu geraten, wie es bei der PV-Produktion in Deutschland der Fall war.

- Ebenfalls nicht Inhalt dieses Projekts war die Planung konkreter Schritte **zur Implementierung der aufgezeigten Transformationspfade**. Auch wenn dieses zum gegenwärtigen Zeitpunkt noch gar nicht möglich ist, sind dennoch die grundsätzliche Richtung und der Handlungsbedarf alleine schon durch die verabschiedeten Klimaneutralitätsziele gegeben. Diese lassen nur noch ein kleines Zeitfenster für die Umsetzung offen, und so sollte aus Sicht der Industrie geklärt werden, ob die erforderlichen massiven Zubauraten an Technologien machbar sind bzw. welche Maßnahmen zum Hochlauf von Produktionskapazitäten im „Gigamaßstab“ notwendig werden.
- Während die deutsche Industrie sehr engagiert in der **Entwicklung von Synthesetechnologien und Wasserstoffproduktionstechnologien** ist, fehlen entsprechende Entwicklungen bei der **CO<sub>2</sub>-Abtrennung aus der Luft** (Direct Air Capture, DAC). Aus der deutschen Industrie sind hier bisher keine Entwicklungen bekannt, obwohl die DAC-Technologie zentral für die Erzeugung klimaneutraler synthetischer Kraftstoffe (und generell negativer Emissionen) ist (Viebahn et al., 2019). Da ein sehr großes Marktpotenzial und ein großer Exportmarkt zu erwarten ist, sollte die deutsche Industrie über einen Einstieg in diese Zukunftstechnologie nachdenken.
- Wie auch schon in anderen Forschungsprojekten erwies sich die Unterstützung von MENA-Fuels durch den Industriebeirat als sehr hilfreich und konstruktiv. Generell könnte die **Zusammenarbeit zwischen Forschung und der Industrie** für solche systemanalytisch ausgerichteten Projekte im Sinne einer win-win-Situation jedoch enger gestaltet werden. Während die Wissenschaft belastbare Daten aus der Industrie als Grundlage für ihre Modellierung und Technikbewertung benötigt und auch Praxiswissen hinsichtlich der Zukunftsmärkte ihre Analysen unterstützen kann, liefert sie im Gegenzug Orientierungswissen, an dem die Industrie ihre Entwicklungen strategisch ausrichten kann. Auch wenn diese keine Prognosen sein können, so zeigen Szenarioräume (im Sinne von „wenn-dann-Analysen“) zumindest einen Fächer möglicher Entwicklungen auf, auf die die Industrie vorbereitet sein sollte.

### 3.3 Forschungsbedarf

Insbesondere in der jetzigen Phase der Markteinführung und des Kapazitätsaufbaus einer Wasserstoff- und Synfuels-Wirtschaft kommt der **Wissenschaft eine entscheidende Rolle als Katalysator von Innovationen** zu. Hierbei sollte mit dem **langfristigen Ziel der Resilienz und Nachhaltigkeit** sowohl auf die **Kohärenz wie auf die Diversität der Strategien**, die sich aus den aufgezeigten Szenarioräumen ableiten lassen, geachtet werden. Zielorientierung, hier für die Defossilisierung bzw. Dekarbonisierung des Verkehrs in Deutschland und Europa, und

Vielfalt der Lösung stellen keinen Widerspruch dar, sondern sind Grundlage langfristiger nachhaltiger Versorgungssicherheit. Dementsprechend besteht weiterer vielfältiger Forschungsbedarf, um die Umsetzung der benötigten Strategien zielsicher gestalten zu können.

- Die Szenarien des Energieversorgungsmodells bauen auf früheren Klimaschutzzielen (Reduktion von 95 % der THG-Emissionen bis 2050) auf. Da inzwischen **ambitioniertere Klimaschutzziele** beschlossen wurden, sollten die Analysen fortgeschrieben werden. So wäre zu fragen, welche Implikationen das aktuelle Ziel einer Klimaneutralität Deutschlands bis 2045 haben würde, z. B. hinsichtlich notwendigem Upscaling der benötigten Anlagen, dem schnelleren Zubau von EE-Anlagen, dem früheren Bedarf an klimaneutralem CO<sub>2</sub> für die Synthesen etc.
- Weiterhin besteht große Datenunsicherheit bei den **Transportkosten**. Von ihnen hängen einerseits Entscheidungen über die Art des Transports ab (z. B. Pipeline versus Tanker bei flüssigen Energieträgern), andererseits und insbesondere aber auch der Grad der WSK im potenziellen Exportland (z. B. Fertigung auch des Endprodukts versus Transport von Zwischenprodukten oder Wasserstoff). Tiefergehende Analysen und detailliertere Abbildungen der Transportkosten könnten hier zu genaueren Ergebnissen führen.
- Im Rahmen des Energieversorgungsmodells wird lediglich die Transportverbindung zwischen einzelnen Regionen modelliert, der Transport innerhalb einer Region wird nicht abgebildet. Entsprechend ist auf Basis dieser Ergebnisse keine konkrete und umfassende **Infrastrukturplanung** möglich. Offene Fragen sind z. B., ob die Erzeugung von grünem Wasserstoff und Synfuels eher in der Nähe der erneuerbaren Energiepotenziale, die häufig im Inland liegen, oder direkt an Exportpunkten wie Häfen oder bestehenden Pipelines stattfinden sollte. Ebenso könnten die CO<sub>2</sub>-Quellen variieren. Des Weiteren bedarf es einer **Analyse von Betriebs- und Standortstrategien** der synthetischen Kraftstoffherstellung und deren Auswirkung auf Gestehungskosten. Angepasste Strategien können aus Kostengesichtspunkten attraktiver sein und zur Reduzierung von Gestehungskosten führen. So können beispielsweise eine andere örtliche Verteilung von PtX-Systemkomponenten, eine Netzintegration oder hybriden EE-Anlagen (z. B. kombinierte CSP-PV-Anlagen) zur Senkung von Infrastruktur-, EE-Strom- und Speicherkosten beitragen.
- Offen ist auch die Frage, welche Länder künftig die **ambitionierten Anforderungen der EU an grünem Wasserstoff und seinen Folgeprodukten** werden einhalten können und wie sich daraus die Angebotssituation wie auch die potenziellen Handelspartner nochmals verändern.
- Die konkrete Bestimmung potenzieller Importpfade erfolgte im Rahmen von MENA-Fuels aus einer Kosten optimierenden Modellierung. Für eine realistische Bewertung der Exportmöglichkeiten einzelner Länder der MENA-Region bedarf es jedoch einer eingehenderen Untersuchung aus der **Perspektive der möglichen Exportländer** selber, die weit über die theoretische Berücksichtigung des Eigenbedarfs hinausgeht.

- Dies beinhaltet einerseits Fragen nach den konkreten ökonomischen und sozialen **Entwicklungspotenzialen**, zum Beispiel ob und wie lokale WSK im Kontext des bzw. Im Zusammenhang mit dem Ausbau von Exportkapazitäten für erneuerbare Energien geschaffen werden können.
- Aber auch **lokale Nachhaltigkeitsfragen** sollten, insbesondere hinsichtlich der Befriedigung des erheblichen Wasserbedarfs, untersucht werden.
- Weiterhin besteht ein großer Forschungsbedarf hinsichtlich der für die **Standortwahl relevanten Faktoren**, sowohl aus Perspektive von Investoren aber auch der einzelnen Länder. Dabei ist zu hinterfragen, welche Chancen genutzt werden könne, aber auch welche Hemmnisse bestehen, die vor Ort abgebaut werden müssten, um einen synthetischen Kraftstoffsektor aufbauen zu können.
- Die Ergebnisse dieser weitergehenden Analysen müssten anschließend mit den Ergebnissen des Energieversorgungsmodells und des Handelsmodells in Einklang gebracht werden, so dass insgesamt gesehen möglicherweise nicht ökonomisch optimale, dagegen aber aus Gesamtsicht **nachhaltige Versorgungspfade** bestimmt werden können. Die Vielzahl von zu berücksichtigenden Aspekten zeigt gleichzeitig den Bedarf auf, Fragen einer **multikriteriellen Bewertung** (von Standortfaktoren) mit der **Modellierung** (Energie- und Handelsflüsse) zu verknüpfen.
- Gleichzeitig sollte die „**Systemgrenze**“ der Analyse erweitert werden. Es stellt sich die Frage, wie valide die Ergebnisse des Energieversorgungsmodells hinsichtlich der MENA-Region sind, wenn relevante, aber weiter entfernte potenzielle Lieferländer wie Chile oder Australien mit in die Analyse einbezogen würden. Entscheidend ist, wie diese Länder hinsichtlich der drei zentralen Entscheidungskriterien (Gestehungskosten der erneuerbaren Energien, Investitionsrisiko und Transportkosten) im Vergleich zur MENA-Region abschneiden würden. Das im Forschungsvorhaben entwickelte Handelsmodell gibt hierfür einen ersten Eindruck, verfolgt allerdings einen anderen Optimierungsansatz als das Energieversorgungsmodell. Zudem gilt es, diese Analysen um die konkreten infrastrukturellen Erfordernisse zu erweitern.
- Schließlich wird die Produktion synthetischer Kohlenwasserstoffe aus grünem Wasserstoff und CO<sub>2</sub> auch mit industriepolitischen Zielen in den produzierenden MENA-Staaten verbunden werden. Hieraus könnte sich ein **Renewables Pull-Effekt** ergeben, der auf der einen Seite positive Entwicklungspotenziale für die MENA-Region mit sich bringen würde. Auf der anderen Seite würden sich hierdurch aber Herausforderungen in zentralen heute in der EU auf petrochemischen Grundstoffen basierenden WSK in der chemischen Industrie ergeben. Hier entstehen sowohl Herausforderungen als auch Chancen. Genauere Aus- und Wechselwirkungen auf WSK sind trotz ihrer industriestrategischen Relevanz bisher kaum untersucht.
- Zum Bearbeitung umfangreicherer Analysen sollte zudem untersucht werden, inwiefern die hier notwendigen Maßnahmen zur **Komplexitätsreduktion** hinsichtlich der Anzahl von modellierten Regionen und der unterjährigen zeitlichen Auflösung anderweitig kompensiert werden können, zum Beispiel

durch die Entwicklung problemspezifischer Lösungsverfahren, um den damit einhergehenden Minderungen der Aussagekraft entgegenzuwirken.

- Weiterer Forschungsbedarf besteht in der expliziten **Berücksichtigung von Unsicherheit** im Energieversorgungsmodell. Diese würde die Komplexität des Modells jedoch weiter erhöhen; die entwickelten Lösungsverfahren sind entsprechend anzupassen. Weiterhin gilt es, so genannte Penny-Flip-Entscheidungen zu identifizieren und geeignet zu adressieren, um die Aussagekraft und Robustheit der Ergebnisse zu erhöhen.
- Auch die Analysen der **gesamtwirtschaftlichen Effekte** konnten aufgrund fehlender Daten, sowohl was die volkswirtschaftlichen Effekte der Versorgungspfade in Deutschland und Europa, aber insbesondere die nicht vorhandenen gesamtwirtschaftlichen Statistiken in der MENA-Region angeht, nur sehr grob erfolgen. Um die Effekte vollständig abbilden zu können, wäre hierfür ein eigenständiges, umfangreiches Forschungsvorhaben notwendig.

## **Überblick über die Teilberichte in MENA-Fuels**

Alle Teilberichte können über die folgende Website heruntergeladen werden:

[www.wupperinst.org/MENA-Fuels/](http://www.wupperinst.org/MENA-Fuels/)

### **Teilprojekt A.I: Technologiebewertung für synthetische Kraftstoffe**

- 1 Auswahl der zu bewertenden synthetischen Kraftstoffe und ihrer Bereitstellungstechnologien
- 2 Ökobilanzen für synthetisches Kerosin – Vergleich von Produktionsrouten in MENA und Deutschland
- 3 Multikriterielle Bewertung von Bereitstellungstechnologien synthetischer Kraftstoffe

### **Teilprojekt A.II: Potenzial- und Infrastrukturanalyse für EE-Strom, Wasserstoff und synthetische Folgeprodukte**

- 4 Beschreibung des Energieversorgungsmodells WISEE-ESM-I
- 5 Nachfrageszenarien – Storylines und Herleitung der Entwicklung der Nachfrage nach Synfuels und Grundstoffen
- 6 Basisszenarien – Ergebnisse und Infrastrukturauswertung
- 7 Weitere Szenarioanalysen: Berücksichtigung von Investitionsrisiken und Sensitivitäten der Basisszenarien
- 8 Risikobewertung und Risikokostenanalyse der MENA-Region

### **Teilprojekt B.I: Analyse der Exportpotenziale in den MENA-Ländern**

- 9 Szenarien zur Eigenbedarfsanalyse für die MENA-Länder
- 10 Technische und risikobewertete Kosten-Potenzial-Analyse der MENA-Region
- 11 Synthese der Kurzstudien für Jordanien, Marokko und Oman

### **Teilprojekt B.II: Künftige Märkte, Handelsprodukte und Wertschöpfungsketten**

- 12 MENA-Fuels – Analyse eines globalen Marktes für Wasserstoff und synthetische Energieträger hinsichtlich künftiger Handelsbeziehungen
- 13 Gesamtwirtschaftliche Effekte von Investitionen zur Versorgung Deutschlands mit Wasserstoff und synthetischen Energieträgern aus der MENA-Region

### **Teilprojekt B.III: Synthese und Handlungsoptionen**

- 14 (DE) Synthese und Handlungsoptionen – Ergebnisbericht des Projekts MENA-Fuels
- 14 (EN) Synthesis and courses of action – Report on results of the MENA-Fuels project
- 14 (FR) Synthèse et pistes d'action – Rapport sur les résultats du projet MENA-Fuels

Die Zukunft der Mobilität in Deutschland und der EU bietet ein vielfältiges Portfolio an Technologien und Lösungen. Neben der Elektromobilität ist auch der Einsatz synthetischer Kraftstoffe eine denkbare Lösung.

Die Herstellung großer Mengen synthetischer Kraftstoffe (und Feedstocks) benötigt erhebliche Mengen an preisgünstigen erneuerbaren Energien. Insbesondere die sonnen- und windreichen Länder der MENA-Region (Nordafrika und Naher Osten) mit ihren großen erneuerbaren Energiepotenzialen bieten sich als Standorte zur Herstellung synthetischer Kraftstoffe und ihrer Vorprodukte an. Darüber hinaus bestehen zu vielen Ländern bereits Handelsbeziehungen und Infrastrukturen, auf die aufgebaut werden kann.

Aber welche Potenziale sind in den einzelnen Staaten verfügbar? Zu welchen Kosten stehen entsprechende Ressourcen zur Verfügung? Welche Transportstrukturen werden benötigt? Welche Auswirkungen hat ein Import auf die Wertschöpfung sowohl in Deutschland als auch in den MENA-Staaten? Welches Interesse besteht in den Staaten der MENA-Region selbst, ihre erneuerbaren Energiepotenziale für die inländische Versorgung, aber auch für den Export zu nutzen? Mit welchen Mitbewerbern ist außerhalb von MENA und EU zu rechnen?

Vor dem Hintergrund dieser Fragestellungen hat das Projekt MENA-Fuels analysiert, in welchem Umfang die MENA-Region ein strategisch wichtiger Handelspartner bei der Versorgung Deutschlands (und der EU) mit synthetischen Kraftstoffen oder deren Vorprodukten sein kann.

[www.wupperinst.org/MENA-Fuels/](http://www.wupperinst.org/MENA-Fuels/)

