

Teilbericht 11 | November 2022

Synthese der Kurzstudien für Jordanien, Marokko und Oman



Bericht aus dem
Teilprojekt B.I: MENA-Potenziale

Sibel Raquel Ersoy

Julia Terrapon-Pfaff

Peter Viebahn

Thomas Pregger

Josua Braun

Autorinnen und Autoren:

Sibel Raquel Ersoy, Dr. Julia Terrapon-Pfaff, PD Dr. Peter Viebahn

Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie gGmbH

Döppersberg 19

42103 Wuppertal

www.wupperinst.org

Thomas Pregger, Josua Braun

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e. V. (DLR)

Institut für Vernetzte Energiesysteme, Abteilung Energiesystemanalyse

Curiestraße 4

70563 Stuttgart

Unter Mitarbeit von:

Jacqueline Klingen (Wuppertal Institut)

Bitte den Bericht folgendermaßen zitieren:

Ersoy, S. R., Terrapon-Pfaff, J., Viebahn, P., Pregger, T., Braun, J. (2022).

Synthese der Kurzstudien für Jordanien, Marokko und Oman. MENA-Fuels:

Teilbericht 11 des Wuppertal Instituts und des Deutschen Zentrums für Luft- und

Raumfahrt (DLR) an das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz

(BMWK). Wuppertal, Stuttgart, Köln, Saarbrücken.

Der Text dieser Publikation 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

Ansprechperson:

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

Bildquellen:

Titelseite: GettyImages
Rückseite: eigene Darstellung

Inhaltsverzeichnis

Verzeichnis von Abkürzungen, Einheiten und Symbolen	6
Tabellenverzeichnis	9
Abbildungsverzeichnis	9
1 Einleitung	10
1.1 Ziel der Länderkurzstudien	10
1.2 Thematische Fokussierung	10
1.3 Länderauswahl	10
1.4 Durchführung der Länderkurzstudien	12
2 Entwicklungen im Bereich Wasserstoff und synthetische Folgeprodukte in Jordanien, Marokko, Oman	13
2.1 Ziele und Strategien	13
2.2 Geplante Wasserstoffprojekte	17
2.3 Stakeholder	19
3 Produktionsfaktoren für die Herstellung von Wasserstoff und synthetischen Kraftstoffen	24
3.1 Erneuerbare Energien	24
3.2 Wasserressourcen	27
3.3 Kohlenstoff	32
4 Nachfrage und Exportpotenziale von Wasserstoff und synthetischen Folgeprodukten in Jordanien, Marokko, Oman	34
4.1 Zukünftige Entwicklung der Nachfrage nach Wasserstoff- und synthetischen Folgeprodukten	34
4.2 Technische Kosten-Potenzial-Analyse der Exportpotenziale	37
5 Exportvoraussetzungen	41
5.1 Infrastrukturen	42
5.1.1 <i>Stromnetz und Übertragungsleitungen</i>	42
5.1.2 <i>Öl- und Gasinfrastruktur mit Potenzial zur Umnutzung</i>	44
5.1.3 <i>Verladeinfrastruktur (Häfen, Terminals, Ladeinfrastruktur)</i>	47
5.1.4 <i>Speicherinfrastruktur und –potenziale</i>	48
5.2 Industriestrukturen	50
5.2.1 <i>Allgemeine Situation</i>	50
5.2.2 <i>Industriezonen und -parks</i>	51
5.2.3 <i>Chemische Industrie</i>	53
5.2.4 <i>Raffinerien</i>	56
5.2.5 <i>Zementindustrie</i>	58
5.2.6 <i>Erneuerbare Energien-Industrie</i>	59
6 Diskussion der Ergebnisse im Hinblick auf die Annahmen und Modellanalysen im MENA-Fuels-Projekt	61
6.1 Einschätzung von Annahmen der Energiemodellierung	61
6.2 Ergebnisse des Energieversorgungsmodells und der Risikobewertung	64
6.3 Schlussfolgerung und weiterer Forschungsbedarf	66
7 Literatur	67
8 Anhang	74
8.1 Technische Kosten-Potenzial-Analysen für erneuerbaren Strom 2050	74
8.2 Technische Kosten-Potenzial-Analysen für Fischer-Tropsch-Kraftstoffe 2050	76

Verzeichnis von Abkürzungen, Einheiten und Symbolen

Abkürzungen

AAWDCP	Aqaba Amman Wasserentsalzungs- und –kanalprojekt
ACME Gruppe	Indische Unternehmensgruppe
ACWA Power	Saudischer Kraftwerksentwickler
AIIE	Industriekomplex in Aqaba
AMEE	Marokkanische Agentur für Energieeffizienz
APC	Arab Potash Company
BASF Gruppe	Deutscher Chemiekonzern
B.A.U.	Business-as-usual
BIP	Bruttoinlandsprodukt
BOT	Build-operate-transfer Betreibermodell
BP	British Petroleum
CEGCO	Jordanisches Zentrales Stromerzeugungsunternehmen
CESE	Marokkanischer Rat für Sozialwirtschaft und Umwelt
CCS	Carbon (Dioxide) Capture and Storage
CCU	Carbon (Dioxide) Capture and Use
CCUS	Carbon (Dioxide) Capture, Use and Storage
COELMA	Marokkanisches Chemieunternehmen
CSP	Konzentrierte Solarthermie
DAC	Direct Air Capture
DEME Gruppe	Belgische Unternehmensgruppe
DPC	Dhofar Power (Stromverteilungsunternehmen)
DUTCO	Dubai Transportgesellschaft
EDCO	Jordanisches Stromversorgungsunternehmen
EE	Erneuerbare Energien
EGR	Enhanced Gas Recovery
EMRC	Regulierungskommission für Energien und Mineralien
EOR	Enhanced Oil Recovery
EPC	Engineering Procurement Construction (schlüsselfertiger Vertrag)
EUR	Euro
F&E	Forschung und Entwicklung
FSU	Schwimmende Speichereinheit
GCC	Golf-Kooperationsrat
GEO	Green Energy Oman
GJU	German Jordanian University
GPCA	Golfverband für Petrochemie und Chemikalien
GUtech	Deutsche Universität für Technik
HGÜ	Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragungsleitung
IMANOR	Marokkanisches Institut für Normung
IDCO	Irbid Stromversorgungsunternehmen
IPP	Unabhängige Stromerzeuger
IRENA	Internationale Erneuerbare Energieagentur
IRESEN	Forschungsinstitut für Solarenergie und Neue Energien
IMWS	Fraunhofer Institut für Mikrostruktur von Werkstoffen und Systemen
IWP	Unabhängiger Wasserversorger
IWPP	Unabhängiger Wasser- und Energieversorger

Abkürzungen

JEPCO	Jordanisches Stromversorgungsunternehmen
JO	Jordanien
JSMO	Jordanische Organisation für Standardisierung und Messwesen
LKW	Lastkraftwagen
LNG	Flüssigerdgas
LPG	Flüssiggas
MA	Maghreb ohne Algerien und Tunesien
MASEN	Marokkanische Agentur für Nachhaltige Energie
MEDC	Muscat Stromverteilungsunternehmen
MENA	Nahost und Nordafrika
MIS	Hauptübertragungsnetzsystem
MJEC	Majan Stromverteilungsunternehmen
MSPP	Muscat-Sohar-Multiprodukt-Pipeline
MtO	Methanol-to-Olefins
MZEC	Mazoon Stromverteilungsunternehmen
NCRD	Nationales Zentrum für Forschung und Entwicklung
NDC	Nationally Determined Contributions
NEPCO	Staatliches Jordanisches Stromunternehmen
NERC	Nationales Energieforschungszentrum
NHC	Nationale Wasserstoff-Kommission
NPK	Volldünger mit Stickstoff (N), Phosphor (P) und Kalium (K)
OCC	Omanischer Zementkonzern
OCP	Unternehmen der marokkanischen Phosphatindustrie
OETC	Omanisches Stromübertragungsunternehmen
OIA	Omanische Investitionsbehörde
OM	Oman
OMIFCO	Oman India Fertiliser Company SAOC
ONEE	Staatlicher Marokkanischer Strom- und Wasserversorger
ONEE-BE	Staatlicher Marokkanischer Strom- und Wasserversorger (Stromzweig)
ONHYM	Nationales Büro für Kohlenwasserstoffe und Bergbau
OPWP	Omanischer Strom- und Wasserversorger
OQ	Staatliches Omanisches Energieunternehmen
PDO	Omanischer Petroleumkonzern
PEM	Protonen-Austauschmembran
PV	Photovoltaik
PPP	Öffentlich-private Partnerschaften
RUM Gruppe	Jordanische Aktiengesellschaft
SERC	Forschungszentrum für Nachhaltige Energie
SEZ	Sonderwirtschaftszone
SGCC	Staatliche Netzgesellschaft Chinas
SIUCI	Sohar International Ureal & Chemical Industries LLC
SNEP	Staatliche Gesellschaft für Elektrolyse und Petrochemie
THG	Treibhausgas
USD	US-Dollar
VAE	Vereinigte Arabische Emirate

Einheiten und Symbole

%	Prozent
€	Euro
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
DH	Marokkanischer Dirham
Gg CO ₂ -Äq.	Gigagramm (kt) Kohlenstoffdioxid-Äquivalente
GW	Gigawatt
ha	Hektar
km	Kilometer
kV	Kilovolt
kW	Kilowatt
kWh/m ²	Kilowatt pro Quadratmeter
m ³	Kubikmeter
m/s	Meter pro Sekunde
Mio.	Millionen
Mrd.	Milliarden
MW	Megawatt
MW _{el}	Megawatt elektrisch
Nm ³ /h	Normvolumenstrom
TEU	Zwanzig-Fuß Standardcontainer
TWh	Terawattstunden

Tabellenverzeichnis

Tab. 2-1	Übersicht der relevanten Strategien und Wasserstoffziele in den untersuchten Ländern-----	16
Tab. 2-2	Übersicht der geplanten Wasserstoffprojekte in den untersuchten Ländern -----	19
Tab. 2-3	Übersicht der wichtigsten Akteure und Stakeholder im Bereich Wasserstoff und synthetische Folgeprodukte-----	23
Tab. 3-1	Übersicht erneuerbare Energiepotenziale und installierte Leistung -----	25
Tab. 5-1	Übersicht der Raffinerien in den untersuchten Ländern -----	58

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1-1	Vorgehen zur Kurzstudienauswahl-----	12
Abb. 3-1	Anteile der Energieträger an der Stromerzeugung a) Jordanien 2020, b) Marokko 2020 und c) Oman 2019 -----	26
Abb. 3-2	Jordaniens in Betrieb befindliche Meerwasserentsalzungsanlagen -----	30
Abb. 3-3	Omans in Betrieb befindliche Meerwasserentsalzungsanlagen -----	31
Abb. 4-1	Strombedarfsszenarien für (a) Jordanien, (b) Marokko und (c) Oman-----	35
Abb. 4-2	Kosten-Potenzial-Kurven PV-Strom 2030 für unterschiedliche Szenarien-----	38
Abb. 4-3	Kosten-Potenzial-Kurven CSP-Strom 2030 für unterschiedliche Szenarien-----	38
Abb. 4-4	Kosten-Potenzial-Kurven Windstrom 2030 für unterschiedliche Szenarien -----	39
Abb. 4-5	Kosten-Potenzial-Kurven FT-Kraftstoff aus PV-Strom 2030 für unterschiedliche Szenarien -----	40
Abb. 4-6	Kosten-Potenzial-Kurven FT-Kraftstoff aus CSP-Strom 2030 für unterschiedliche Szenarien -----	40
Abb. 4-7	Kosten-Potenzial-Kurven FT-Kraftstoff aus Windstrom 2030 für unterschiedliche Szenarien -----	41
Abb. 5-1	Gasleitungen in Jordanien-----	44
Abb. 5-2	Öl- und Gasleitungen im Oman -----	46
Abb. 5-4	Ölraffinerien in Marokko-----	57
Abb. 5-5	Potenzielle grüne Wasserstoff-Hubs in Jordanien -----	62
Abb. 7-1	Kosten-Potenzial-Kurven PV-Strom 2050 für unterschiedliche Szenarien-----	74
Abb. 7-2	Kosten-Potenzial-Kurven CSP-Strom 2050 für unterschiedliche Szenarien-----	74
Abb. 7-3	Kosten-Potenzial-Kurven Windstrom 2050 für unterschiedliche Szenarien -----	75
Abb. 7-4	Kosten-Potenzial-Kurven FT-Kraftstoff aus PV-Strom 2050 für unterschiedliche Szenarien -----	76
Abb. 7-5	Kosten-Potenzial-Kurven FT-Kraftstoff aus CSP-Strom 2050 für unterschiedliche Szenarien -----	76
Abb. 7-6	Kosten-Potenzial-Kurven FT-Kraftstoff aus Windstrom 2050 für unterschiedliche Szenarien -----	77

1 Einleitung

Die im Rahmen des MENA-Fuels-Projekts durchgeführten Energiesystemmodellierungen zu techno-ökonomischen Potenzialen, deutscher und europäischer Nachfrage, möglichen Handelsrouten und makroökonomischen Effekten der Entwicklung einer grünen Wasserstoffwirtschaft in der MENA-Region sowie die theoretische Bewertung von Risiken und Risikokosten für die Sektorentwicklung in den einzelnen Ländern liefern detaillierte Systeminformationen und wichtiges Orientierungswissen. Für die praktische Entwicklung eines Exportsektors für grünen Wasserstoff und synthetische Folgeprodukte spielen jedoch die lokalen Bedingungen eine entscheidende Rolle. Da mögliche lokale Treiber oder Hemmnisse ohne begleitende Forschung vor Ort nur sehr eingeschränkt in den Analysen berücksichtigt werden können, wurden im Rahmen des MENA-Fuels Projekts drei Länderkurzstudien zur Kontextualisierung der theoretischen Erkenntnisse durchgeführt. Ihre Ergebnisse werden in diesem Bericht zusammengefasst.

1.1 Ziel der Länderkurzstudien

Übergeordnetes Ziel der Länderkurzstudien ist es, die Annahmen und Ergebnisse des MENA-Fuels-Projekts durch die Analyse der heutigen länderspezifischen Rahmenbedingungen besser einordnen zu können. Dazu werden relevante Faktoren für die Entwicklung eines Exportsektors für grünen Wasserstoff und synthetische Folgeprodukte in drei ausgewählten Ländern vor dem Hintergrund der Ergebnisse aus vorgelegten Arbeitspaketen untersucht und diskutiert. Darüber hinaus ist es das Ziel, über die Analyse der lokalen Bedingungen eine bessere Einschätzung der Entwicklungsmöglichkeiten einer Umsetzung konkreter marktbasierter Ansätze zu bekommen.

1.2 Thematische Fokussierung

Der thematische Schwerpunkt der Länderkurzstudien liegt auf der Untersuchung der infrastrukturellen und industriellen Rahmenbedingungen für die Entwicklung eines Exportsektors für grünen Wasserstoff und synthetische Folgeprodukte sowie einer Analyse der relevanten Stakeholder und ihrer Interessen. Im Hinblick auf die relevanten Infrastrukturen wird ein Überblick über bestehende und geplante Infrastrukturen gegeben und untersucht, wo ein Bedarf an Infrastrukturaus- oder -umbau für den potenziellen zukünftigen Export von grünem Wasserstoff oder anderen synthetischen Energieträgern besteht. Für den Industriesektor erfolgt eine Übersicht über die bestehenden Industrien und die Notwendigkeit des Aufbaus neuer Industriestrukturen und -kompetenzen für einen künftigen Export von grünen Kraftstoffen.

1.3 Länderauswahl

Für die Auswahl der Kurzstudienländer waren primär die Ergebnisse der im Rahmen des Projekts MENA-Fuels durchgeführten Analysen, die Empfehlungen der beiden Beiräte sowie die Machbarkeit unter den im Projekt gegebenen finanziellen und zeitlichen Möglichkeiten entscheidend.

Zu den für die Kurzstudienauswahl relevanten Ergebnissen des Projekts zählen (1) die Ergebnisse der Länderrisikoanalyse für die Entwicklung des erneuerbaren und synthetischen Kraftstoffsektors, (2) die Bewertung der Länderrisikokosten, (3) die modellierten Kosten-Potenzial-Kurven sowie (4) die ersten Ergebnisse der Nachfragemodellierung für Deutschland und Europa. Außerdem wurden bei der Konzeption des Projekts zwei zentrale Auswahlmerkmale vorgegeben. Zum einen sollte die Länderauswahl für die Kurzstudien beide Regionen, Nordafrika und den Nahen Osten, umfassen. Zum anderen sollte eine Diversität in Bezug auf die aktuelle Rolle im globalen Energiesystem als Öl- und/oder Gasexporteur oder als Energieimporteur gegeben sein. Dies ermöglicht sowohl die Chancen für den Aufbau eines neuen Geschäftsfelds (Export von synthetischen Kraftstoffen aus Ländern, die kein Erdöl fördern) als auch den Umstieg von fossilem Öl/Gas auf synthetische Energieträger zu betrachten.

Die Auswahl der drei Länder für die Kurzstudien erfolgte in zwei Schritten (Abb. 1-1). In einem ersten Schritt werden basierend auf der Bewertung der Risiken und der Risikokosten unter den 17 untersuchten MENA-Ländern diejenigen Länder identifiziert, die das niedrigste Risikolevel bzw. die im regionalen Vergleich niedrigsten Risikokapitalaufschläge aufweisen und über ein ausreichendes Ressourcenpotenzial für den Export entlang der unterschiedlichen Power-to-X (PtX)-Routen verfügen. Zu dieser vorläufigen Länderauswahl zählen folgende sechs Länder: Jordanien, Marokko, Oman, Saudi-Arabien, Tunesien und die Vereinigten Arabischen Emirate (VAE). In einem zweiten Schritt wurden diese sechs Länder zur Vorbereitung der Kurzstudienauswahl anhand weiterer Kriterien verglichen. Hierzu gehören die Ausbauziele im Bereich der erneuerbaren Energien und der Stand der Umsetzung dieser Ziele, der Stand der PtX-Diskussion im Land, die industrielle Leistungsfähigkeit, die Menschenrechtssituation, das Maß an Korruption und Aspekte wie Partizipation und Gleichberechtigung. Zusätzlich wurde die Umsetzbarkeit der geplanten Kurzstudien unter den gegebenen Möglichkeiten bewertet. Die Länderauswahl wurde zudem mit den beiden Beiräten diskutiert und von den Beiratsmitgliedern im Rahmen von Umfragen bewertet.

Es hat sich gezeigt, dass sich verschiedene Länder aus unterschiedlichen Gründen für eine Kurzstudie anbieten und es generell interessant wäre, alle Länder eingehender zu untersuchen. Im Rahmen des Projekts konnten allerdings nur drei Länder und diese nur in Bezug auf ein begrenztes Themenfeld untersucht werden. Unter Berücksichtigung der Diversität hinsichtlich Region, Ausgangsbedingungen und bisherige Rolle als Energieexporteur oder -importeur sowie gleichzeitig der praktischen Umsetzbarkeit wurden schließlich Jordanien, Marokko und Oman als Länder für die Kurzstudien ausgewählt.

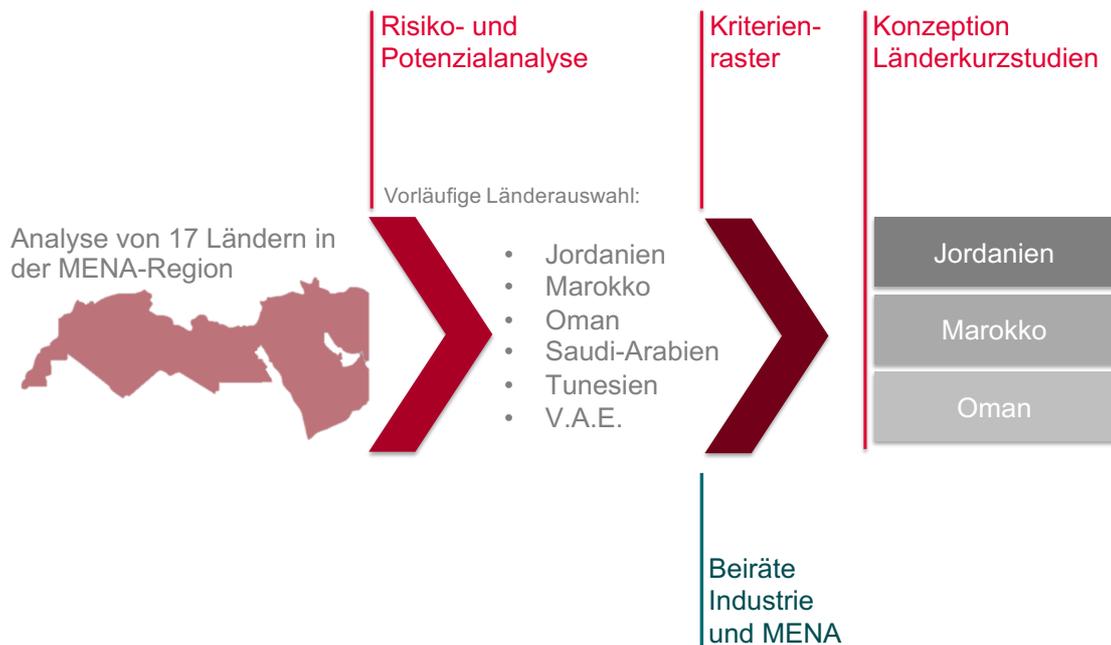


Abb. 1-1 Vorgehen zur Kurzstudienauswahl

Quelle: Wuppertal Institut

1.4 Durchführung der Länderkurzstudien

Die Länderkurzstudien für Jordanien, Marokko und Oman wurden jeweils von lokalen Unterauftragnehmern durchgeführt, da Hintergrundwissen und Zugang zu Netzwerken in den Zielländern dafür unabdingbar sind. Die Kurzstudien in Jordanien und Marokko wurden in Zusammenarbeit mit dem MENA Renewables and Sustainability Institute (MENARES) durchgeführt, in Jordanien zusätzlich in Kooperation mit der University of Jordan. Die Kurzstudie zum Oman wurde in Zusammenarbeit mit Horvath & Partners Middle East GmbH (Abu Dhabi) im Verbund mit der Deutsch-Emiratischen Industrie- und Handelskammer umgesetzt. Im Rahmen aller Länderkurzstudien wurden darüber hinaus weitere Expert*innen durch Interviews, Fokusgruppen und einen abschließenden Workshop für jedes Land einbezogen. Im vorliegenden Bericht werden die Ergebnisse dieser drei Kurzstudien in Form einer vergleichenden Synthese zusammengefasst und durch länderspezifische Ergebnisse aus dem MENA-Fuels-Projekt ergänzt. Abschließend werden die Ergebnisse der Länderkurzstudien vor dem Hintergrund der Annahmen und Ergebnisse des MENA-Fuels-Projekts zusammenfassend reflektiert.

2 Entwicklungen im Bereich Wasserstoff und synthetische Folgeprodukte in Jordanien, Marokko, Oman

Das nachfolgende Kapitel diskutiert die Entwicklungen im Bereich grüner Wasserstoff und synthetische Folgeprodukte in den drei Ländern Jordanien, Marokko und Oman. Es wird die aktuelle politische Diskussion aufgegriffen, der Stand der nationalen Strategieentwicklung dargestellt und ein Überblick über bestehende und zukünftige Projekte sowie die relevanten Stakeholder in den drei ausgewählten Ländern gegeben.

2.1 Ziele und Strategien

Alle drei Länder verfolgen ambitionierte Ziele beim Ausbau der erneuerbaren Energien. Besonders die beiden stark von Energieimporten abhängigen Länder Jordanien und Marokko nehmen im Bereich des erneuerbaren Energieausbaus eine Vorreiterrolle in der MENA-Region (Nahe Osten und Nordafrika) ein. Alle drei Länder haben zudem deutliches Interesse bekundet, die heimischen Sektoren für grünen Wasserstoff und synthetische Folgeprodukte zu entwickeln, wobei auch der spätere Export dieser Produkte eine wichtige Rolle spielt.

Jordanien

Voraussetzung für die Produktion und die Entwicklung eines Exportsektors für grünen Wasserstoff und synthetische Folgeprodukte ist der zügige und großskalige Ausbau der erneuerbaren Energien. Hier räumt beispielsweise Jordanien erneuerbaren Energien in all seinen Entwicklungsstrategien und Politikplänen Prioritäten ein. Die Energiestrategie des Königreichs setzt auf die Optimierung der Nutzung heimischer Ressourcen, den Ausbau von erneuerbaren Energien und die Förderung von Energieeffizienz (MEMR, 2018). Besonders im Vordergrund steht dabei die Diversifizierung des jordanischen Energiemixes und die angestrebte Erhöhung des Anteils erneuerbarer Energien an der gesamten Stromerzeugungskapazität auf 31 % und am gesamten Energiemix auf 14 % bis 2030. Grüner Wasserstoff und daraus produzierte synthetische Folgeprodukte sind hingegen bisher noch nicht Teil der jordanischen Energiestrategie, allerdings wird bereits an der Erstellung eines nationalen Fahrplans für grünen Wasserstoff gearbeitet, der voraussichtlich 2022 fertiggestellt werden soll. Der mögliche Export von grünem Wasserstoff und synthetischen Folgeprodukten stellt neben den direkten Stromexporten eine interessante Strategie für Jordanien dar, um bestehende Überkapazitäten in der erneuerbaren Stromerzeugung zu nutzen und letztlich die außerordentlichen Solar- und Windenergiepotenziale ökonomisch zu erschließen.

Marokko

Marokko hat ebenfalls bereits seit 2009 eine ambitionierte nationale Energiestrategie, die zum Ziel hat, den Energiesektor durch die Förderung von erneuerbaren Energien und Energieeffizienz zu transformieren. Die Strategie zielt darauf ab, (1) bis 2030 den Anteil der erneuerbaren Energien an der installierten Stromerzeugungskapazität auf der mehr als 52 % zu erhöhen, (2) den Energieverbrauch bis 2030 um 15 % im Vergleich zum Business-as-usual-Szenario (B.A.U.) des Referenzjahres 2009

zu senken und (3) die Subventionen für fossiles Brennstoffe signifikant zu reduzieren. Diese Strategie wird zurzeit überarbeitet, unter anderem um Marokkos im August 2021 veröffentlichte Strategie zur Erzeugung grünen Wasserstoffs zu berücksichtigen. Dieser Fahrplan zur Erzeugung von grünem Wasserstoff, der von der im November 2019 gegründeten nationalen Kommission für grünen Wasserstoff (NHC) erarbeitet und vom Ministerium für Energietransformation und Nachhaltige Entwicklung veröffentlicht wurde, erachtet Wasserstoff als einen zentralen Vektor der Energiewende und für nachhaltiges Wachstum. Entsprechend dieses Fahrplans plant Marokko, bis 2030 ca. 7 TWh grünen Wasserstoff zu exportieren. Bis zum Jahr 2040 soll das Exportvolumen auf 32 TWh ansteigen und 2050 81 TWh erreichen (MTEDD, 2021). Neben Wasserstoff wurden auch Exportziele für synthetische Kraftstoffe festgelegt, so sollen 2030 3 TWh synthetische Produkte exportiert werden, 2040 13 TWh und 2050 33 TWh. Dies erfordert allerdings eine zusätzlich installierte Kapazität an Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien von 5,2 GW im Jahr 2030, 23 GW im Jahr 2040 und 55 GW im Jahr 2050, die alleine zur Deckung des Bedarfs für die grünen Wasserstoffindustrie benötigt wird. In Marokko selbst wird der Bedarf an synthetischen Kraftstoffen für die Düngemittelindustrie 2030 auf 3 TWh geschätzt, 2040 13 TWh und 2050 19 TWh. Bei den anderen Anwendungen, einschließlich des Verkehrs, wird von einer Nachfrage zwischen 0,5 TWh (2030) und 18 TWh (2050) ausgegangen.

Der von der NHC erarbeitete Fahrplan schließt einen Aktionsplan ein, der auf drei Säulen aufbaut:

- 1 | Technologische Entwicklungen und Kosteneinsparungen
- 2 | Förderung von Investitionen- und Schaffung vorteilhafter Investitionsbedingungen
- 3 | Markt- und Nachfrageentwicklung in den Bereichen Speicherung, Export und lokale Verwendung.

Des Weiteren entwickelt Marokko zurzeit einen Infrastruktur-Masterplan, der auch Elemente wie Technologietransfer, Kapazitätsaufbau und die Entwicklung einer lokalen Industrie umfasst. Marokko geht davon aus, dass es ab 2028 mit der Produktion von grünem Wasserstoff und synthetischen Folgeprodukten in großem Umfang beginnen wird (Ikken, 2021). Zunächst soll grüner Ammoniak für die lokale Industrie und den Export produziert werden. Ab 2030 plant Marokko mit dem Export von grünem Wasserstoff als Flüssigbrennstoff oder als Gas zu beginnen. Die Verwendung von grünem Wasserstoff als Speichermedium im Elektrizitätssektor ist ab 2035 geplant, die Nutzung im Verkehrssektor ab 2037 und im Haushaltssektor ab 2047. Konkrete Maßnahmen, die zur Erreichung dieser Ziele verhelfen sollen, umfassen zum Beispiel das Testen von Maßnahmen zur Kostensenkung entlang der gesamten Wertschöpfungskette, die Einrichtung eines Power-to-X-Clusters (neben dem bereits seit 2021 bestehenden Wasserstoff-Cluster), die Etablierung von Förderungsmechanismen wie beispielsweise öffentlich-private Partnerschaften (PPP), Informationsaustausch durch F&E-Plattformen und den Bau von Demonstrationsanlagen.

Damit die Transformation zu einer Wasserstoffwirtschaft gelingt, hat Marokko zudem bereits Weichen im Bereich der internationalen Zusammenarbeit gestellt. So hat

Marokko im Juni 2020 eine Wasserstoff-Allianz mit Deutschland unterzeichnet, eine Partnerschaft mit Portugal für grünen Wasserstoff aufgebaut, eine strategische Vereinbarung mit IRENA (Internationale Erneuerbare Energieagentur) unterzeichnet und eine Zusammenarbeit zwischen den Hafenbehörden in Hamburg und Tanger Med etabliert. Darüber hinaus führt Marokko aktuell Gespräche mit verschiedenen weiteren Partnern.

Oman

Oman setzt ebenfalls auf den Ausbau der erneuerbaren Energien. In der langfristigen Strategie „Vision 2040“ wurde die Transformation zu einer grünen Wirtschaft als strategisches Ziel formuliert. In diesem Sinne plant Oman die Nutzung von erneuerbaren Energien zu fördern und auszubauen. Bis 2030 sollen ca. 2,8 GW an erneuerbaren Energien Kapazität ausgebaut werden, bis 2040 sollen weitere 5 GW hinzukommen. Ebenfalls wird grüner Wasserstoff bereits seit 2018 im Sultanat diskutiert. Die Entwicklung der Wasserstoffdiskussion im Oman lässt sich in drei Phasen untergliedern: In der ersten Phase bis 2019 wurde ein Verständnis über das Potenzial von erneuerbaren Energien geschaffen und die erste Version des Energie-Masterplans 2040 entwickelt; in der zweiten Phase erfolgt aktuell die Entwicklung einer nationalen Wasserstoffstrategie; und in Phase 3 soll dann die Realisierung von Projekten beginnen. Aktuell wird unter der Führung des Ministeriums für Energie und Mineralien zusammen mit ausgewählten Stakeholdern die nationale Wasserstoffstrategie entwickelt, die Oman zu einem der weltweit führenden Produzenten und Exporteuren von grünem Wasserstoff bzw. synthetischen Kraftstoffen machen soll. Die bisherigen Zielvorgaben liegen bei 10 GW Elektrolysekapazität bis 2030 und 30 GW bis 2040. Neben dem Export soll dabei auch die lokale Nachfrage durch die Schaffung neuer Unternehmen, die Umstellung von grauen auf grünen Wasserstoff sowie die Umstellung von Industrieprozessen auf Wasserstoff angeregt werden. Entsprechend sollen 30-40 % der Erzeugungskapazitäten auf die lokale Nutzung und die restlichen Kapazitäten auf den Export entfallen. In der nationalen Wasserstoffstrategie Omans sollen zudem die zukünftigen Rollen von grünem, blauem und grauem Wasserstoff genauer definiert werden. In Betracht gezogen wird zudem der Einsatz von Wasserstoff in der Industrie als Ausgangsrohstoff (z. B. Raffinerie), für Strom- und Wärmeanwendungen als Brennstoff (z. B. Prozesswärme, Eisen, Stahl), in der Chemieindustrie als Grundstoff (z. B. synthetische Kraftstoffe) und im Verkehrssektor als Kraftstoff (z. B. Busse, LKWs, Luftfahrt, Maritimer Verkehr). Die Voraussetzungen und Anreize für die Nutzung in den verschiedenen Bereichen sollen im Rahmen der Wasserstoffstrategie erörtert werden. Der Ausbau der Wasserstoffwirtschaft soll in drei zeitlichen Phasen erfolgen:

- 1 | Kurzfristig (2021-2025): Markteintritt und Aufbau von Partnerschaften,
- 2 | Mittelfristig (2026-2030): Wachstum und Diversifizierung,
- 3 | Langfristig (2031-2040): Etablierung einer vollwertigen Wasserstoffwirtschaft.

Um die Entwicklung und den Einsatz von grünem Wasserstoff zu beschleunigen, wurde zudem das nationale Wasserstoffbündnis „Hy-Fly“ vom omanischen Ministerium für Energie und Mineralien gegründet. Das Bündnis umfasst 13 staatliche und

private Einrichtungen und soll die sektorübergreifende Zusammenarbeit vereinfachen.

Zusammenfassung

Es kann insgesamt festgehalten werden, dass alle drei Länder ehrgeizige Ziele für den Ausbau der erneuerbaren Energien haben und dass Marokko und Oman bereits Ziele für den Aufbau von Kapazitäten für die Produktion von grünem Wasserstoff und synthetischen Folgeprodukten sowohl für den inländischen Bedarf als auch für den Export festgelegt haben oder derzeit diskutieren. Tab. 2-1 bietet eine zusammenfassende Übersicht der relevanten Strategien und Wasserstoffziele der untersuchten Länder. Zudem wurden für den Oman, aber auch für Marokko und Jordanien bereits eine Reihe von konkreten Projekten angekündigt, über die das nachfolgende Kapitel einen Überblick gibt.

Tab. 2-1 Übersicht der relevanten Strategien und Wasserstoffziele in den untersuchten Ländern

Strategien und Pläne	Ziele		
Jordanien			
Nationale Wasserstoffstrategie	Strategie zurzeit in Bearbeitung - Noch keine Ziele veröffentlicht.		
Energiestrategie	Anteil EE an der Stromerzeugung	Anteil EE an gesamten Energiemix	
	▪ 2030 31 %	▪ 2030 14 %	
Marokko			
Nationale Wasserstoffstrategie	Wasserstoffexport	Export synthetische Kraftstoffe	Inlandsbedarf Wasserstoff zur Produktion von Ammoniak
	▪ 2030 7 TWh	▪ 3 TWh	▪ 3 TWh
	▪ 2040 32 TWh	▪ 13 TWh	▪ 13 TWh
	▪ 2050 81 TWh	▪ 33 TWh	▪ 19 TWh
Energiestrategie	Anteil EE an der Stromerzeugung	Reduktion des Energieverbrauchs	Reduktion der Subventionen für fossile Brennstoffe
	▪ 2030 52 %	▪ -15 % (Referenzjahr 2009)	
Infrastruktur Masterplan	In Bearbeitung		
Oman			
Nationale Wasserstoffstrategie (noch in Bearbeitung)	Ausbauziele an Elektrolyse-Kapazität (vorläufig)		
	▪ 2030 10 GW		
	▪ 2040 30 GW		
Vision 2040	Ausbauziele an EE-Kapazität		
	▪ 2030 2,8 GW		
	▪ 2040 7,8 GW		
Energie-Masterplan 2040	In Bearbeitung		

Quellen: GoO (2021); IRESEN (2020); MEMR (2020); MTEDD (2021, 2022)

2.2 Geplante Wasserstoffprojekte

In Jordanien, Marokko und Oman wurden bereits eine Reihe von Wasserstoffprojekten angekündigt. Im Folgenden wird eine kurze Übersicht über die aktuell diskutierten Projekte in den drei Ländern gegeben.

Jordanien

Die jordanische Regierung hat eine Absichtserklärung mit dem australischen Konzern Fortescue für die Umsetzung eines Elektrolyse-Projekts unterzeichnet. Nach Angaben des Energieministeriums wird im Rahmen dieser Studie die Machbarkeit eines 5 GW Elektrolyseprojekts im Süden Jordaniens untersucht, bei dem mittels von Wind- und Solarenergie grüner Ammoniak für den Export nach Australien erzeugt werden soll.

Marokko

In Marokko wird derzeit eine Referenzelektrolyseanlage zur Erzeugung von grünem Ammoniak von der Marokkanischen Agentur für Nachhaltige Energie (MASEN) geplant. Den Strom für die Elektrolyseanlage soll ein Hybridkraftwerk (Wind- und Solarenergie) mit einer Kapazität von 100 MW_{el} liefern. MASEN prüft noch den konkreten Standort für die Elektrolyseanlage und führt Studien zum möglichen Endprodukt (grüner Wasserstoff, Energiespeicherung, Ammoniak, Methanol usw.) durch. Für dieses Projekt hat MASEN Verhandlungen mit deutschen und niederländischen Unternehmen über die Abnahme des grünen Wasserstoffs aufgenommen. Ein weiteres geplantes Projekt in Marokko ist das HEVO-Ammoniakprojekt, welches von Fusion Fuel Green in Kooperation mit anderen Vertragsunternehmen entwickelt wird. Es umfasst die Produktion von erneuerbarem Strom, entsalztem Wasser und grünem Ammoniak. Auch die OCP-Gruppe, Unternehmen der marokkanischen Phosphatindustrie (Office Chérifien des Phosphates), die Universität Mohammed VI und das Fraunhofer IMWS - Institut für Mikrostruktur von Werkstoffen und Systemen - planen die Etablierung einer F&E- und Innovationsplattform, die Projekte zur Kreislaufwirtschaft, Chemieindustrie 4.0 und die Verwendung von grünem Wasserstoff und synthetischen Folgeprodukten in der Düngemittelindustrie umfassen soll (OCP 2019a). Das Forschungsinstitut für Solarenergie und Neue Energien (IRESEN) und die Polytechnische Universität VI entwickeln gemeinsam ebenfalls eine F&E- und Innovationsplattform für grünen Wasserstoff und synthetische Folgeprodukte, bei der die Hybridisierung von Technologien für erneuerbare Energien, Elektrolyseure, Konverter, Speicherung sowie die Entwicklung von Anwendungen für grünen Wasserstoff, CO₂-Abscheidung usw. getestet werden. Auf dem Gelände sollen auch die ersten Elektrolyseure mit einer Gesamtleistung von 4 MW_{el} entstehen.

Oman

Im Oman befinden sich im Vergleich zu Jordanien und Marokko schon wesentlich größere Kapazitäten in der Planung. Dazu gehört zum Beispiel das Green Energy Oman (GEO)-Projekt, in dem mit 25 GW erneuerbaren Energiekapazitäten 13 GW Elektrolysekapazitäten betrieben werden soll. Bis 2038 sollen damit jährlich 1,75 Mio. Tonnen grüner Wasserstoff und 9,9 Mio. Tonnen grüner Ammoniak produziert

werden. An diesem Projekt beteiligt ist ein Konsortium aus OQ (Staatliches omanisches Energieunternehmen), Intercontinental und Enertech. Der Baubeginn ist für 2028 geplant. Ein anderes Projekt zur Herstellung von grünem Wasserstoff und grünem Ammoniak plant die ACME-Gruppe und die omanische Gesellschaft für die Entwicklung der Sonderwirtschaftszone (SEZ) Duqm im Rahmen einer im März 2021 unterzeichneten Absichtserklärung. Diese Anlage soll mit 3 GW Solar- und 0,5 GW Windenergie betrieben werden, um 2.400 Tonnen grünen Ammoniak pro Tag herzustellen. Bis Ende 2022 soll die erste Phase des Projekts starten. Eine weitere Kooperationsvereinbarung für das Großprojekt HYPOR[®] Duqm hat Uniper mit DEME und OQ unterzeichnet. Hierbei steht die Entwicklung eines Wasserstoffzentrums mit einer Leistung von 250 bis 500 MW im Fokus, das 2026 in Betrieb gehen soll. Das Projekt „SalalaH₂“ beruht auf einer gemeinsamen Entwicklungsvereinbarung von OQ, Linde, Marubeni und DUTCO (Dubai Transportgesellschaft). Bei diesem Projekt handelt es sich um den Bau einer Elektrolyseanlage mit einer Kapazität von bis zu 400 MW zur Herstellung von grünem Wasserstoff, der als Rohstoff für die Ammoniakfabrik von OQ in Salalah eingesetzt werden soll. Betrieben werden soll die Elektrolyseanlage mit etwa 1.000 MW Solar- und Windkraft aus bestehenden und neuen Anlagen. Zudem unterzeichneten im Dezember 2021 das saudische Unternehmen ACWA Power, OQ und Air Products aus den Vereinigten Staaten eine Vereinbarung, um die Entwicklung eines Wasserstoffprojekts im südlichen Dhofar zu prüfen. Ziel dieser Absichtserklärung ist die Durchführung einer Machbarkeitsstudie zum Bau einer Wasserstoffanlage, die jährlich 1 Mio. Tonnen grünen Ammoniak herstellen soll. Ein weiteres, jedoch nicht grünes, Hybridwasserstoffprojekt ist von der japanischen Sumitomo Gesellschaft und Omans Ara Petroleum geplant. Zunächst arbeiten beide Parteien an einer Machbarkeitsstudie, bei der die Herstellung von Wasserstoff aus Gasen, die als Nebenprodukte bei der Öl- und Gasförderung entstehen, geprüft werden soll. Geplant ist aus dem erzeugten Fackelgas 300 bis 400 Tonnen Wasserstoff pro Jahr zu erzeugen. Die Wasserstoffproduktionsanlage soll ihren Strom von einer 20 MW Solaranlage auf dem Gelände beziehen.

In allen drei Ländern bestehen demnach, wenn auch in unterschiedlichem Umfang, Planungen für grüne Wasserstoffprojekte, die auch synthetische Folgeprodukte einschließen. Insbesondere im Oman gibt es schon viele Ankündigungen und teilweise Planungen von großskaligen Projekten. Besonders die Hafenstandorte Duqm, aber auch andere Industriehäfen wie Sohar und Salalah bieten sich als Standorte für Investitionen in Exportstrukturen für grünen Wasserstoff und insbesondere Ammoniak und Methanol an. Marokko ist hingegen ein interessanter Standort aufgrund der kürzeren Distanzen zu den Verbraucherzentren in Europa. Zudem bestehen umfangreiche Erfahrungen in der Umsetzung von erneuerbaren Energieprojekten, während Jordanien über langjährige Erfahrung im Bereich der PPP verfügt und der Privatsektor bereits aktiv in die erneuerbare Energieerzeugung eingebunden ist.

Zusammenfassung

Tab. 2-2 listet in einer Übersicht die geplanten Wasserstoffprojekte in den untersuchten Ländern auf.

Tab. 2-2 Übersicht der geplanten Wasserstoffprojekte in den untersuchten Ländern

Entwickler und Projekt	Endprodukt	Leistung
Jordanien		
Fortescue	Grüner Ammoniak	5 GW Elektrolyse
Marokko		
MASEN	Grüner Ammoniak	100 MW Elektrolyse
Fusion Fuel Green „HEVO- Ammoniakprojekt“	Grüner Ammoniak, EE, Meerwasserentsalzung	
OCP, Mohammed VI Universität, Fraunhofer IMWS	Grüner Wasserstoff und Derivate	4 MW Elektrolyse
Oman		
OQ, Intercontinental, Enertech „Green Energy Oman-Projekt“	1,75 Mio. Tonnen grüner Wasserstoff, 9,9 Mio. Tonnen grüner Ammoniak pro Jahr	25 GW EE, 13 GW Elektrolyse
ACME	Grüner Wasserstoff und grüner Ammoniak	3 GW Solar-, 0,5 GW Windenergie
Uniper, DEME, OQ HYPORT® Duqm	Grüner Wasserstoff	250-500 MW Elektrolyse
OQ, Linde, Marubeni, DUTCO	Grüner Wasserstoff	400 MW Elektrolyse, 1.000 MW Solar- und Windenergie
ACWA Power, OQ, Air Products	1 Mio. Tonnen Ammoniak pro Jahr	n/a
Sumitomo, Ara Petroleum	300-400 Tonnen Wasserstoff pro Jahr	20 MW Solarenergie

Quellen: Horváth (2021); Jamea (2021); Jamea et al. (2021)

2.3 Stakeholder

Beim Aufbau eines grünen Wasserstoffexportsektors sind verschiedene Stakeholder involviert, die unterschiedliche Interessen, Positionen und Einflussmöglichkeiten auf die Entwicklung haben. Diese können politische Akteure, nationale Versorgungsunternehmen aus dem Energie- und Wasserbereich, Technologiehersteller, potenzielle Abnehmer und Nutzer von grünem Wasserstoff und synthetischen Folgeprodukten, Akteure aus F&E als auch Investoren und Geldgeber umfassen. In diesem Kapitel wird ein Überblick über die relevanten Akteure in den drei Ländern Jordanien, Marokko und Oman gegeben.

Politische und staatliche Akteure

Staatliche Akteure spielen insgesamt eine wichtige Rolle bei der Schaffung der Rahmenbedingungen für die Entwicklung eines Exportsektors für grünen Wasserstoff und synthetische Kraftstoffe. Dies umfasst Regulierungen genauso wie die Raumplanung und Infrastrukturentwicklung. Auf politischer Ebene sind in allen Ländern verschiedene Ministerien in die Entwicklung der Energie- und Wasserstoffstrategien involviert. Diese umfassen die Energie-, Industrie- und Finanzministerien.

In *Jordanien* zählt zudem die Regulierungskommission für Energie und Mineralien (EMRC) als staatliche Einrichtung mit eigener Rechtsperson und finanzieller sowie administrativer Unabhängigkeit zu den wichtigen Akteuren. Die Hauptaufgabe der EMRC besteht darin, Regulierungen auszuarbeiten und zu überwachen sowie den Wettbewerb im Energie- und Mineraliensektor zu fördern.

In *Marokko* sind darüber hinaus das Wasserministerium und die NHC relevant. Staatliche Akteure, die für die Entwicklung des Wasserstoffsektors eine Rolle spielen, sind das Nationale Büro für Kohlenwasserstoffe und Bergbau (ONHYM) im Bereich der Power-to-Liquid- und Power-to-Gas-Wertschöpfungskette und Infrastruktur und MASEN, die aktuell die ersten Wasserstoffprojekte entwickeln. Die marokkanische Agentur für Energieeffizienz (AMEE) unterstützt die Dekarbonisierung der Industrie, die Erreichung von Energieeffizienz und fördert die Substitution von fossilen Brennstoffen im Wärmesektor und bei industriellen Prozessen. Für die Zertifizierung von grünem Wasserstoff und synthetischen Folgeprodukten hat das marokkanische Institut für Normung (IMANOR) eine Kernfunktion. Dabei steht im Vordergrund, die Regulierung und Standardisierung der Wertschöpfungskette von grünem Wasserstoff sicherzustellen sowie in Form von Herkunftsnachweisen zu zertifizieren.

Im *Oman* ist die Allianz „Hy-Fly“ relevant. Hier ist zudem zu erwarten, dass die jordanische Organisation für Standardisierung und Messwesen (JSMO) langfristig eine Rolle bei der Regulierung und Standardisierung der Wertschöpfungskette von grünem Wasserstoff und synthetischen Folgeprodukten einnehmen wird, indem sie technische Vorschriften für die Anwendungen von Wasserstoff in der Industrie, im Mobilitäts- und Elektrizitätssektor und anderen Sektoren entwickeln und festlegen wird.

Strom- und Wasserversorger

Am Anfang der Wertschöpfungskette steht die Erzeugung und Bereitstellung von Strom aus erneuerbaren Energien. Hier spielen vielfach die staatlichen Stromversorgungsunternehmen eine wichtige Rolle.

In *Jordanien* nimmt der staatliche Stromversorger NEPCO (National Electric Power Corporation) eine Schlüsselrolle als Jordaniens einzigem Stromabnehmer, Übertragungsnetzbetreiber und Dispatcher ein. NEPCO ist auch für die Entwicklung und Erweiterung des Stromübertragungsnetzes zuständig, das für die Erzeugung von grünem Wasserstoff stark ausgebaut werden müsste, um den erneuerbaren Strom zu potenziellen Produktionsstandorten zu bringen. Die Stromerzeugung selbst liegt weitgehend in privater Hand. Das zentrale Stromerzeugungsunternehmen CEGCO (Central Electricity Generating Company) ist der größte Stromerzeuger und wird seit 2011 durch ACWA Power International in Form einer Mehrheitsbeteiligung geleitet. Weitere Stromerzeuger sind Samra und Qatrana sowie eine Reihe weiterer unabhängige Energieproduzenten (IPPs).

In *Marokko* ist der staatliche Stromversorger ONEE für Netzstabilität sowie für die gesamte Stromerzeugungskette verantwortlich.

Im *Oman* kommt dem nationalen Strom- und Wasserversorger und der Stromübertragungsgesellschaft (OETC) ebenso eine wichtige Bedeutung zu, daneben spielen aber auch unabhängige Strom- und Wasserproduzenten eine Rolle.

Öl- und Gasunternehmen

Öl- und Gasunternehmen sind ebenfalls wichtige Akteure, die langfristig an der Herstellung, Lagerung und Verteilung von grünem Wasserstoff, synthetischen Kraftstoffen und Gasen interessiert sein können.

In *Jordanien* gehören die Jordan Petroleum Refinery Company, Fajr Company, National Petroleum Company und Jordan Oil Terminals Company zu möglichen Akteuren aus dem Öl- und Gassektor.

In *Marokko* sind wichtige Akteure aus dem Öl- und Gasbereich unter anderem Shell Exploration & Production du Maroc, Sound Energy Morocco Limited, SDX Energy Morocco Limited, ENI Maroc. Außerdem sind bei der Bereitstellung der Erzeugungstechnologie für Wasserstoff und synthetische Folgeprodukte zurzeit insbesondere internationale Unternehmen aktiv, dazu zählen beispielsweise Siemens, Linde, Thyssen Krupp oder Enertech. Darüber hinaus gibt es auch potenzielle Abnehmer, die ebenfalls bereits in den Ländern aktiv sind, wie Fortescue in *Jordanien* oder im *Oman* der Hafen von Rotterdam, Thyssen Krupp oder die britische Hydrogen Group.

Im *Oman* wurde beispielsweise Energy Development Oman (EDO) 2020 als Holdinggesellschaft der PDO (Omanischer Petroleumkonzern) gegründet. Es wird erwartet, dass EDO eine wichtige Rolle bei der Erschließung neuer Geschäftsfelder im Bereich der Produktion von erneuerbaren Energien und grünem Wasserstoff sowie Wassermanagement, Energieeffizienz und Fackelgasmanagement spielen wird.

Industrieakteure

Neben dem Export spielen auch potenzielle Nutzer vor Ort bei der Entwicklung des grünen Wasserstoffsektors eine wichtige Rolle.

Zu den wichtigsten Industrieakteuren zählen in *Jordanien* die Düngemittelproduzenten, das sind z. B. das Jordanische Phosphat- und Bergbauunternehmen mit einer Produktionskapazität von über 7 Mio. Tonnen Phosphat pro Jahr (JPCM, 2021); die Arab Potash Company (APC), einer der weltweit größten Kaliumproduzenten; KEMAPCO Arab Fertilizers & Chemicals Industries Ltd., ebenfalls ein Kaliumproduzent, und die Modern Company for Fertilizers Production, die führend bei der Herstellung von Volldünger (NPK-Dünger) ist. Ebenfalls könnte grüner Wasserstoff langfristig auch für das Unternehmen RUM in Jordanien wichtig werden, welches Industriegase herstellt und vertreibt, z. B. an Lebensmittel-, Stahl- und andere Fertigungsbetriebe.

In *Marokko* plant vor allem das staatliche Phosphatunternehmen OCP, einer der weltweit führenden Düngemittelhersteller, industrielle Produktionsprozesse zu dekarbonisieren.

Im *Oman* sind im Bereich Düngemittel zwei führende Unternehmen tätig: (1) Sohar International Urea & Chemical Industries LLC (SIUCI), im Besitz der Suhail Bahwan Group, das größte Privatunternehmen im Oman, das über eine Ammoniakanlage mit

einer Kapazität von 2.000 Tonnen pro Tag und einer Harnstoffanlage mit einer Kapazität von 3.500 (2 x 1.750) Tonnen pro Tag verfügt und (2) die Oman India Fertiliser Company SAOC (OMIFCO) im Sur Industrial Estate, die zu 50 % im Besitz von OQ, zu 25 % von Indian Farmers Fertiliser Cooperative Ltd. und zu 25 % von Krishak Bharati Cooperative Limited (KRIBHCO) ist, mit einer Kapazität von 2 x 1.750 Tonnen pro Tag an Ammoniak und 2 x 2.530 Tonnen pro Tag an granuliertem Harnstoff. Neben den Düngemittelproduzenten sind auch Raffinerien, die Stahlindustrie und andere Industrien mögliche zukünftige Abnehmer von Wasserstoff.

Forschungseinrichtungen und Universitäten

Eine bedeutende Rolle bei der Entwicklung eines Exportsektors für grünen Wasserstoff und synthetische Kraftstoffe kommen Forschungseinrichtungen und Universitäten zu.

In *Jordanien* gibt es verschiedene Universitäten und Forschungsplattformen, die an der Durchführung und Umsetzung von Studien, Forschung und Innovationen von grünem Wasserstoff, synthetischen Kraftstoffen und -projekten beteiligt sind oder Studiengänge in diesem Bereich anbieten, wie z. B. El-Hassan Wissenschaftspark, Nationales Zentrum für Forschung und Entwicklung (NCRD), Nationales Energieforschungszentrum (NERC) oder die Deutsch-Jordanische Universität (GJU).

In *Marokko* nimmt IRESEN als Forschungsinstitut eine Schlüsselrolle beim Vorantreiben der Agenda für grünen Wasserstoff ein, indem es Seminare, Forschungsprojekte und Foren zu diesem Thema organisiert. IRESEN unterstützt ebenfalls beim Aufbau des grünen Wasserstoff-Clusters und organisiert den jährlichen Power-to-X-Gipfel.

Zu den aktiven Forschungs- und Technologiepartnern im *Oman* gehören akademische Einrichtungen und Organisationen der angewandten Forschung sowie Unternehmen, z. B. Sultan Qaboos Universität und das Forschungszentrum für nachhaltige Energie (SERC) sowie die Deutsche Universität für Technik (GUtech), an der 2020 ein Zentrum für Wasserstoffforschung, das Oman Wasserstoffzentrum (OHC), gegründet wurde.

Zusammenfassung

Die nachfolgende Tab. 2-3 bietet eine Übersicht über die relevanten Akteure und Stakeholder im Bereich Wasserstoff und synthetische Folgeprodukte in den drei untersuchten Ländern. Insgesamt kann festgehalten werden, dass in allen drei Ländern eine breite Anzahl an Stakeholdern aus verschiedenen Bereichen eine Rolle spielen (können). Diese Akteure, die teilweise unterschiedliche Interessen verfolgen und über unterschiedliche Einflussmöglichkeiten verfügen, sollten idealerweise zusammengebracht werden, um die Entwicklung eines grünen Wasserstoff(export)sektors voranzutreiben.

Tab. 2-3 Übersicht der wichtigsten Akteure und Stakeholder im Bereich Wasserstoff und synthetische Folgeprodukte

Stakeholder und Akteure	
Jordanien	
Politische Akteure	Ministerium für Energie und Mineralressourcen, Ministerium für Industrie, Handel und Versorgung, Ministerium für Finanzen, Ministerium für öffentliche Arbeiten und Wohnungsbau, EMRC, NEPCO, CEGCO, Qatrana, Samra, Wasserbehörde Jordanien, JSMO
Investoren und Projektentwickler	Modern Arabia for Solar Energy (MASE), Yarmouk Water Company, Miyahouna, Aqaba Water, Philadelphia Solar, Nur Solar Systems, Hanania Energy, Mustakbal Clean Tech, Kawar Energy
Industriepartner	Jordan Petroleum Refinery Company, Fajr Company, National Petroleum Company, Jordan Oil Terminals Company (JOTC), APC, Jordan Phosphate and Mine Company, KEMAPCO Arab Fertilizers & Chemicals Industries Ltd., Modern Company for Fertilizers Production, RUM, Jordanian Egyptian Fajr Natural Gas Company, National Chlorine Industries
Forschung und Technologieentwicklung	El-Hassan Wissenschaftspark, NCRD, NERC, GJU, Internationales Forschungszentrum für Wasser, Umwelt und Energie, Zentrum für Wasser, Energie und Umwelt - Universität von Jordanien, ASU Renewable Energy Center, Middle East University, Al Hussein Technical University, Jordan University of Science and Technology (JUST), Princess Sumaya University for Technology (PSUT), Al Balqa Applied University, NUCT
Marokko	
Politische Akteure	Ministerium für Energietransition und Nachhaltige Entwicklung, Ministerium für Ausrüstung, Verkehrslogistik und Wasserwirtschaft, Ministerium für Wirtschaft und Finanzen, Ministerium für Industrie, Investitionen, Handel und Digitale Wirtschaft, MASEN, NHC, ONEE, ONHYM, IMANOR, AMEE
Investoren und Projektentwickler	Marokkanische Investitionsbehörde (SIE), EDF, Nareva Holding, Engie, Acwa Power
Industriepartner	OCP, Maghreb Oxygene, Air Liquide Maroc, MROXYCO, OXAIR, OXYNORD, SNEP (Staatliche Gesellschaft für Elektrolyse und Petrochemie), Salam Gaz, Afriquia Gaz, Maghreb Gaz, BASF, Siemens, ThyssenKrupp, John Cockerill, Sumitomo Corporation, Vesta, Maghreb Steel, Sonasid, Lafarge Holcim, Cimac, Cements d'Atlas, Cummins Corporation, Somas
Forschung- und Technologieentwicklung	IRESEN, Green Energy Park, Universität für Polytechnik Mohammed VI
Oman	
Politische Akteure	Ministerium für Energie und Mineralien, Ministerium für Transport und Kommunikation (MTC), Ministerium für Finanzen, Ministerium für Wirtschaft, Ministerium für Umwelt und Klima (MECA), Behörde für Regulierung von Öffentlichen Dienstleistungen, OETC, Dhofar Power System (DPS), MEDC, MJEC, MZEC, DPC,
Investoren und Projektentwickler	Omanische Investitionsbehörde (OIA), Nama-Holding, „Energy Development Oman“, Madayn, die Shumookh Investment- und Dienstleistungsgesellschaft
Industriepartner	Omanischer Strom- und Wasserversorger (OPWP), Uniper, Total Energies Oman, OQ, EDO, PDO, Oman LNG, die Häfen von Sohar und Duqm, Oman Shell, BP Oman, Intercontinental, DEMA, Dubai Transport Gesellschaft (Dutco), ACME, Marubeni, Hydrogen Rise, Sohar International Urea & Chemical Industries LLC (SIUCI), Oman India Fertiliser Company SAOC (OMIFCO)
Forschung und Technologieentwicklung	Sultan Qaboos Universität, SERC, GUtech, OHC, Siemens, Linde, Thyssen Krupp, Enertech

Quellen: Horváth (2021); Jamea (2021); Jamea et al. (2021)

3 Produktionsfaktoren für die Herstellung von Wasserstoff und synthetischen Kraftstoffen

Für die Produktion und Herstellung von grünem Wasserstoff und synthetischen Folgeprodukten sind die Verfügbarkeit von Strom aus erneuerbaren Energiequellen, Wasserressourcen und Kohlenstoffquellen essentiell. Dieses Kapitel beschreibt die aktuelle Situation hinsichtlich dieser Produktionsfaktoren in Jordanien, Marokko und Oman und stellt die Ausbaupläne und Potenziale dar.

3.1 Erneuerbare Energien

Potenziale

Sowohl Jordanien als auch Marokko und Oman befinden sich in einer Region mit hoher Sonneneinstrahlung, somit besteht in allen drei Ländern ein hohes technisches Potenzial für die Erzeugung von *Solarenergie*. In *Jordanien* liegt die direkte normale Sonneneinstrahlung im Durchschnitt bei 2.000 kWh/m². Die tägliche Durchschnittssonneneinstrahlung beträgt rund 6 kWh/m² und ist damit eine der höchsten weltweit. Ähnlich wie in Jordanien liegt die tägliche durchschnittliche Sonneneinstrahlung in *Marokko* bei etwa 5 kWh/m², im *Oman* beträgt sie um die 5,3 kWh/m² (AHK, 2018). Trotz jahreszeitlicher Schwankungen der Strahlungsintensität ist dieses Strahlungsniveau für alle Solaranwendungen wie Photovoltaik (PV) und konzentrierte Solarthermie (CSP) bestens geeignet.

Das gleiche trifft auch für das *Windenergiepotenzial* zu. Ein besonders hohes Potenzial für Windenergie besteht in *Marokko*. Entlang der Küstenabschnitte können Windgeschwindigkeiten bis zu 10 m/s verzeichnet werden (Choukri et al., 2017; Leidreiter und Boselli, 2015). In *Jordanien* eignen sich besonders die Regionen im Nordwesten und Süden für die Windstromerzeugung mit Durchschnittswindgeschwindigkeiten von rund 9 m/s. Im *Oman* gibt es sehr ähnliche Windgeschwindigkeiten wie Marokko und Jordanien; vor allem im Süden in den Küstenregionen können bis zu 10 m/s an Geschwindigkeiten erreicht werden (World Bank Group et al., 2022). Dies ermöglicht potenziell den Einsatz von hybriden PV-Windkraftwerken für die Erzeugung von erneuerbarem Strom zur Produktion von grünem Wasserstoff und synthetischen Folgeprodukten.

In Tab. 3-1 wird eine Übersicht über die erneuerbare Energiepotenziale für PV, CSP und Wind, die im Rahmen des MENA-Fuels Projekts vom Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) modelliert wurden, gegeben (Details siehe → *Teilbericht 10*). Die Tabelle gibt gleichzeitig einen Überblick über die bisher installierte Leistung für PV, CSP und Wind, basierend auf Literaturangaben.

Tab. 3-1 Übersicht erneuerbare Energiepotenziale und installierte Leistung

	Jordanien	Marokko	Oman	Quellen
Technisches Potenzial	TWh/a	TWh/a	TWh/a	
PV	3.900	23.900	13.500	Braun et al. (2022)
CSP	1.400	9.000	6.200	(Teilbericht 10; Szenario
Wind	400	3.600	1.100	2030-ref)
Installierte Leistung	GW	GW	GW	
Solar	1,4	0,75	0,11	CESE (2020); NEPCO
Wind	0,37	1,43	0,05	(2020); MEM (2020);
Gesamt*	2,28	3,95	0,20	Enerdata (2021); IRENA
				(2021)

*bezogen auf alle EE-Technologien, inklusive Wasserkraft, Biomasse und Biogas

Anlagenkapazitäten und Stromerzeugung

In *Jordanien* wurden 2020 345 MW erneuerbare Energieanlagen in Betrieb genommen, die sich aus 145 MW Wind- und 200 MW Solarenergie zusammensetzen. Damit stieg der Anteil der an das Übertragungsnetz angeschlossenen Projekte für erneuerbare Energien auf insgesamt 2.280 MW (inklusive anderer EE-Technologien). Die hiermit erzeugte Strommenge entspricht in etwa 16,1 % der netzgebundenen Stromerzeugung in Jordanien. Zählt man noch die Anlagen, die nicht ans Netz angeschlossen sind, mit, so beträgt der Anteil an erneuerbaren Energien an der gesamten Stromerzeugung etwa 20 % (Abb. 3-1). Großskalige Windenergieprojekte tragen zu einem erheblichen Teil zur Stromerzeugung bei. Mit dem Windkraftpark von Tafila im Süden Jordaniens ging 2015 ein 117 MW-Projekt ans Netz und steigerte die heimische Stromerzeugung um 4 %. Es folgten weitere Windkraftparks mit hoher Leistungskapazität. Aktuell werden die Stromabnahmevereinbarungen für vier Windkraftprojekte mit einer Gesamtkapazität von 230 MW abgeschlossen. Die Leistung von Solarenergieprojekten in Jordanien beläuft sich derzeit auf mehr als 1.400 MW, die größtenteils im Rahmen von PPPs über das jordanische Staatsgebiet verteilt sind.

Marokko nutzt bereits ein weites Spektrum an erneuerbaren Energiequellen für die heimische Stromerzeugung. Basierend auf den letzten verfügbaren Daten sind rund 1.430 MW Windenergie, 750 MW Solarenergie und 1.800 MW Wasserkraft in Betrieb. Im Bau befinden sich ca. 2.850 MW Windenergieanlagen und 1.400 MW Solarenergieprojekte. Zudem sind 1.200 MW Wasserkraftwerke derzeit in der Entwicklung oder bereits im Bau. Keine offiziellen Informationen gibt es bislang über die installierte Kapazität von dezentralen PV-Systemen. Energieexpert*innen schätzen deren Leistung auf etwa 800 MW. Insgesamt stammen somit rund 37 % der installierten Leistung aus erneuerbaren Energien (MTEDD, 2022). Zu den größeren Solarenergieprojekten Marokkos gehört NOOR Ouarzazate mit 580 MW. Tarfaya (300 MW) und Midelt (180 MW) sind zwei der größeren Windkraftprojekte, und zu den größten Wasserkraftanlagen zählt Al Massira in Setat (128 MW) und Afourer als Pumpspeicherkraftwerk (464 MW).

Im *Oman* ist die derzeit installierte Kapazität an erneuerbaren Energien mit ca. 0,2 GW im Vergleich zu den anderen beiden Ländern noch relativ gering und basiert hauptsächlich auf Solarenergie. Es gibt jedoch auch erste größere Windprojekte,

dazu gehört der erste Windkraftpark mit 50 MW in Harweel, Dhofar. Eines der größeren Solarprojekte im Oman ist im Konsortium mit dem omanischen Petroleumkonzern PDO (Petroleum Development Oman) entwickelt worden, um Solarstrom für den Betrieb der eigenen Ölfelder zu nutzen. Die Solarenergieanlagen haben eine Leistung von rund 110 MW und speisen Überschussstrom ins Netz ein. PDO hat sich das Ziel gesetzt, bis 2030 mindestens 30 % des eigenen Strombedarfs aus erneuerbaren Energiequellen zu erzeugen. Zudem beabsichtigt der omanische Strom- und Wasserversorger OPWP (Oman Power and Water Procurement Company) mithilfe von Auktionen den Anteil der Solarenergie im Oman auszubauen. So sind mit Manah 1 und 2 in Ibri bereits weitere größere Solarprojekte im Oman, mit Kapazitäten von 500 und 600 MW, geplant. Aber auch Ausschreibungen von Windenergieprojekten in einer Größenordnung von 100 bis 200 MW sollen erfolgen.

In allen drei Ländern bleiben fossile Energieträger aber weiterhin die Hauptenergieträger für die Stromerzeugung (Abb. 3-1). Oman und Jordanien nutzen überwiegend Erdgas und Marokko vor allem Kohle sowie geringere Mengen Erdgas und Öl.

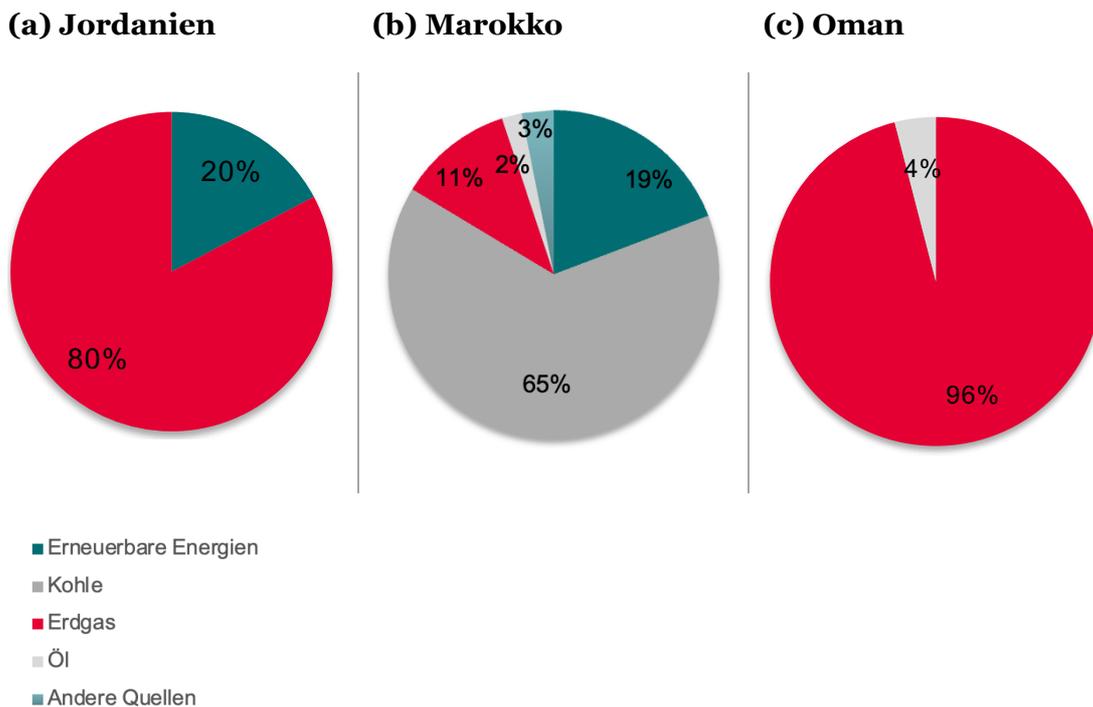


Abb. 3-1 Anteile der Energieträger an der Stromerzeugung a) Jordanien 2020, b) Marokko 2020 und c) Oman 2019

Quellen: Enerdata (2021); MEM (2020); MEMR (2020)

Langfristige Planung

Jordanien plant, seine Stromerzeugungskapazitäten von unter 5 GW im Jahr 2015 auf fast 40 GW im Jahr 2050 zu erhöhen; dabei soll PV ab 2035 den größten Anteil ausmachen.

CESE (2020) prognostiziert, dass Marokko bis 2050 einen Anteil von 96 % an installierter elektrischer Kapazität aus erneuerbaren Energien erreichen könnte. Das könnte die marokkanische Energieimportabhängigkeit von heute über 90 % auf 17 %

im Jahr 2050 reduzieren. Außerdem könnten die durchschnittlichen Kosten für Netzstrom von derzeit 0,79 DH/kWh auf 0,61 DH/kWh im Jahr 2040 und 0,48 DH/kWh im Jahr 2050 sinken (CESE, 2020).

Im *Oman* sollen die erneuerbaren Erzeugungskapazitäten bis 2025 auf 1 GW, bis 2030 auf 10 GW und bis 2040 auf 30 GW ausgebaut werden. Solarenergie soll im *Oman* ebenfalls den größten Teil der Kapazität ausmachen und bis 2025 16 % und bis 2030 30 % des Stroms liefern.

Während in Marokko und Jordanien das vorrangige Ziel ist, die Energieimportabhängigkeit zu reduzieren, steht im *Oman* die Diversifizierung der Wirtschaft beim Ausbau der erneuerbaren Energien im Vordergrund. Für alle drei Länder ist es somit von Bedeutung, die Abhängigkeit von Öl und Gas und in Marokko noch zusätzlich von Kohle als Energieträger bzw. Wirtschaftsfaktor zu senken.

3.2 Wasserressourcen

Allgemeine Situation

Wasser ist ein wesentlicher Bestandteil der Wertschöpfungskette für grünen Wasserstoff. Für die Erzeugung von Wasserstoff aus erneuerbaren Energien – und damit auch für die nachfolgende Herstellung der synthetischen Kraftstoffe – werden mit 9-10 l Wasser pro Kilogramm Wasserstoff erhebliche Mengen an Wasser benötigt (Zelt et al., 2022). Laut IRENA (2020) könnte der Wasserverbrauch aufgrund von Prozesseffizienzen in der Praxis jedoch deutlich höher liegen, so dass zwischen 18 und 24 l Wasser/kg H₂ benötigt werden könnten. Daher können groß ausgelegte Wasserstoffproduktionsanlagen auf lokaler Ebene erhebliche Mengen an Frischwasser verbrauchen.

Jordanien, Marokko und *Oman* leiden aber bereits heute unter schwindenden Süßwasserressourcen. Diese Situation hat sich in den vergangenen Jahrzehnten verschärft. So hat sich beispielsweise der Niederschlag in Marokko deutlich verringert und die jährliche Niederschlagsmenge beläuft sich aktuell auf ca. 140 Mrd. m³. In Jordanien gibt es Regionen im Norden des Landes, die bis zu 350 mm monatlichen Niederschlag aufweisen, die Wüstenregionen hingegen aber lediglich 50 mm im Durchschnitt (Tarawneh und Kadioğlu, 2003). An der Nordküsten des *Omans* liegt die jährliche Niederschlagsmenge zwischen 50 und 100 mm, die sich aufgrund des Klimawandels bis 2040 weiter auf 20 bis 40 mm reduzieren könnte (Charabi, 2013).

Der gesamte omanische Wasserverbrauch im Haushaltssektor beläuft sich auf 215 Mio. m³/Jahr (Kotagama et al., 2017). In Marokko liegt der individuelle Wasserverbrauch bei ca. 700 m³/P und Jahr (Hssaisoune et al., 2020), während er in Jordanien bei ungefähr 160 m³/Person und Jahr liegt. Beide Werte liegen deutlich unter dem weltweiten Durchschnitt von 7.000 m³/Person und Jahr (The World Bank, 2010). Aufgrund des Bevölkerungswachstums, aber auch bedingt durch den Anstieg der Flüchtlingsströme, nehmen in Jordanien zudem die pro Kopf verfügbaren erneuerbaren Wasserressourcen stetig ab. Schätzungsweise wurden 2017 die Grundwasserressourcen um 235 Mio. m³ übernutzt.

Alleine die Landwirtschaft und Industrie nutzen jährlich etwa 144 Mio. m³ Wasser. So beträgt in Jordanien der Anteil der Landwirtschaft am gesamten

Wasserverbrauch 51 %, des Haushaltssektors 45 % und der Industrie 4 % (MWI, 2015). Auch im Oman übersteigt in vielen Gebieten die Nachfrage nach Wasser das Angebot. Der gesamte Wasserverbrauch im Oman liegt derzeit 25 % über den verfügbaren Ressourcen. Die Landwirtschaft ist mit einem Anteil von fast 83 % am Gesamtverbrauch der größte Wasserverbraucher, gefolgt von Haushalten (10 %) und der Industrie (7 %). In Marokko gingen 2010 rund 88 % des Wassers in den Landwirtschaftssektor, 10 % in Haushalte und 2 % in die Industrie (Worldometers, 2022).

Wasserressourcen und -infrastrukturen

Die wichtigsten Wasserressourcen in *Jordanien* sind Oberflächen- und Grundwasserquellen. Zudem wird Wasser, einschließlich Regenwasser, gesammelt und in unterirdischen Zisternen gespeichert. Wasser aus den vorübergehend wasserführenden Flüssen (Wadis) wird mit Hilfe von Dämmen und künstlichen Becken aufgefangen. Große Pump- und Rohrleitungssysteme werden genutzt, um das Wasser von den Dämmen und Grundwasserquellen in die Großstädte zu transportieren. Schätzungen zufolge belaufen sich Verluste im Wasserversorgungsnetz heute auf bis zu 50 %. Um die Wasserverfügbarkeit zu erhöhen und gleichzeitig Kosten zu sparen, plant Jordanien daher umfangreiche Investitionen in den Ausbau und die Instandhaltung der bestehenden Wasserinfrastrukturen (Water Fanack, 2021).

In *Marokko* wird Wasser traditionell in aneinander gereihten Brunnen, die durch unterirdische Kanäle verbunden sind (Khattaras), gespeichert. Heute gibt es daneben über 139 große Staudämme mit einem Gesamtvolumen von 18 Mrd. m³ und etwa hundert kleinere Dämme und Stauseen, die zur Deckung des lokalen Bedarfs an Trinkwasser, Bewässerung und Viehzucht dienen. Die Dämme sind jedoch vielfach von Erosionen und Verschlammung betroffen. Im Rahmen des „Plan National de l'Eau“ (Nationaler Wasserplan) sollen daher bis 2027 neue Staudämme mit einer Kapazität von 1,751 Mrd. m³ entstehen. Zudem sollen 325 Mio. m³ Wasser pro Jahr aufbereitet werden, das vor allem für landwirtschaftliche Bewässerung eingesetzt werden soll. Zusätzlich soll in den Transfer von Frischwasserressourcen vom Norden in den Süden investiert werden (Water Fanack, 2021). Die Wassereinzugsgebiete sind durch 13 Wasserübertragungssysteme mit den Wasserbedarfszentren verbunden (Water Fanack, 2021).

Im *Oman* besteht die Wasserinfrastruktur ebenfalls aus Dämmen, Bewässerungssystemen, Kläranlagen und Brunnen, die meist von der Privatwirtschaft betrieben werden. Die Wasserversorgung ist nach Gouvernements strukturiert. Das Gouvernement Muscat betreibt die Trinkwasseraufbereitungsanlagen Ghubrah II (Unabhängiger Wasserversorger, IWP) und Ouarayyat (IWP), die Muscat versorgen. Die Region um Barka deckt den Trinkwasserbedarf der Gouvernements Batinah Süd und Ad Dakhiliah. Hier vorhandene Anlagen umfassen Barka (Unabhängiger Wasser- und Energieversorger, IWPP) (einschließlich der Erweiterungen RO I und RO II), Barka II (IWPP) und Barka IV (IWP). Die Sohar (IWPP)-Anlage ist für die Trinkwasserversorgung der Gouvernements Batinah North und Al Bu-raymi sowie ab 2021 zusätzlich für die des Gouvernements Ad Dhahirah verantwortlich. Für den südlichen Teil des Umm er Radhuma-Dammam-Systems, das sich Oman, Saudi-Arabien, die VAE und Jemen teilen, gibt es keine Vereinbarungen zwischen den Ländern zur Wasserentnahme. Das Wasserleitungsnetzwerk im Oman besteht aus dem MIS (Main

Interconnected System), Sharqiyah, Massi-rah Wasserleitungsnetzwerk und Dhofar Wasserleitungsnetzwerk. MIS stellt das größte Infrastruktursystem dar und wird mit einer neuen Übertragungsleitung erweitert, um die Versorgung bis nach Ad Dhahirah auszudehnen. Derzeit versorgt MIS die Gouvernements Muscat, Batinah Süd, Ad Dakhiliyah, Batinah Norden und Al Buraymi. Es wird erwartet, dass die Wassernachfrage im Hauptverbundnetz MIS jährlich um 5 bis 7 % steigen wird, von 281 Mio. m³ im Jahr 2015 auf 390 Mio. bis 440 Mio. m³ im Jahr 2022.

Wasseraufbereitung und Meerwasserentsalzung

Zur Erhöhung der Wasserverfügbarkeit werden in allen drei Ländern Technologien zur Wasserwiederverwendung und zur -entsalzung genutzt.

In *Jordanien* erweiterte die Regierung 2016 den Kläranlagenbetrieb um zwei Kläranlagen im Süden Ammans und im Flüchtlingslager Zaatari. Zusammen mit dem Ausbau der Kläranlage As Samra, die im Oktober 2015 im Rahmen eines BOT-Vertrags (*build-operate-transfer*) fertiggestellt wurde, konnte die für die Landwirtschaft und die Industrie verfügbare Menge an rückgewonnenem Wasser um mehr als 34 Mio. m³ pro Jahr erhöht werden. Zudem sind in Jordanien heute mehrere Meerwasserentsalzungsanlagen in Betrieb (Abb. 3-2), die derzeit mit Strom aus dem Netz betrieben werden. Jordanien hat allerdings erst relativ spät mit dem Bau von Entsalzungsanlagen begonnen, die erste Anlage ist erst seit 2017 in Betrieb. Die Kapazitäten sollen in Zukunft weiter ausgebaut werden. Aktuell ist eine weitere großskalige Anlage in Aqaba geplant, die Wasser über eine ebenfalls geplante Pipeline bis nach Amman bereitstellen soll (Aqaba-Amman-Wasserentsalzungs- und -kanalprojekt, AAWDCP). Das Projekt AAWDCP soll in zwei Phasen durchgeführt werden. Zunächst sollen jährlich 130 Mio. m³ an Wasser bereitgestellt werden, das sich aus 100 Mio. m³ Meer- und 30 Mio. m³ Grundwasser zusammensetzt. In der nächsten Phase soll die Kapazität des Systems schrittweise bis auf 220 Mio. m³/Jahr erhöht werden.

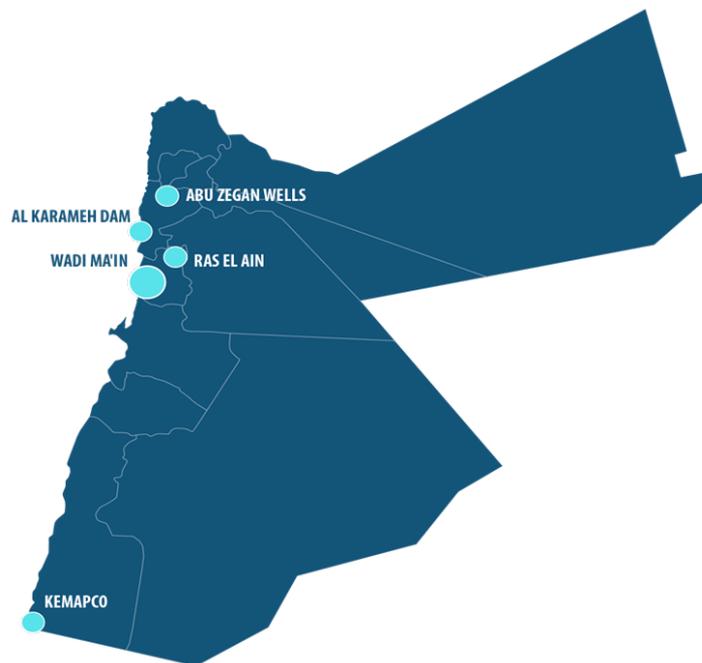


Abb. 3-2 Jordaniens in Betrieb befindliche Meerwasserentsalzungsanlagen

Quelle: Jamea et al. (2021)

Auch Marokko den Ausbau von Meerwasserentsalzungsanlagen. Das Land hat bereits Erfahrung bei der Entwicklung und Umsetzung von großskaligen Projekten. Die lokale Industrie trägt mit etwa 20-30 % zum Bau von Wasserentsalzungsanlagen bei, hauptsächlich in Form von Baumaterialien und -arbeiten (CESE, 2020). Die restlichen Ausrüstungsgegenstände wie Pumpen, rostfreie Rohre, Filter und Chemikalien, die in den Entsalzungsanlagen verwendet werden, müssen weitgehend importiert werden. Während bisher ausschließlich fossile Energieträger bzw. Strom aus dem Netz für den Betrieb von Entsalzungsanlagen genutzt wurden, sollen zukünftige Anlagen nur noch mit erneuerbaren Energien betrieben werden. Aktuell sind neun Anlagen in Betrieb, die entweder vom Wasserversorger ONEE oder von privaten Unternehmen auf Basis einer Kaufvereinbarung betrieben werden. Auch der marokkanische Phosphatkonzern OCP betreibt zwei Meerwasserentsalzungsanlagen, um interne Industrieprozesse zu versorgen. Bis 2027 sind neue Meerwasserentsalzungsprojekte geplant, die eine jährliche Kapazität von 510 Mio. m³ erreichen sollen. Die meisten Projekte werden für die Trinkwasseraufbereitung genutzt, aber einige stellen auch Wasser für den landwirtschaftlichen Einsatz bereit. Das wichtigste Projekt entsteht aktuell südlich von Casablanca und soll die Stadt mit Trinkwasser versorgen wie auch Bewässerungswasser für ca. 5.000 ha Agrarfläche zur Verfügung stellen. Die Anlage soll eine jährliche Produktionskapazität von 300 Mio. m³ haben und gilt somit als eines der größten geplanten Projekte. Laut Wasserexpert*innen werden die Regionen Guelmin Oued Noun, Marrakesch Safi und Oriental in Zukunft deutlich mehr unter Wasserknappheit leiden. Um den Bedarf an Trinkwasser und in der Landwirtschaft zu decken, müssen auch hier Entsalzungsanlagen errichtet werden.

Im Oman spielen Meerwasserentsalzungsanlagen für die Bereitstellung von Wasser ebenfalls eine sehr wichtige Rolle. Neun Anlagen befinden sich in Betrieb (Abb. 3-3),

die insgesamt mehr als 100.000 m³ Wasser pro Tag bereitstellen, und drei weitere Anlagen sind im Bau und sollen in den nächsten Jahren fertiggestellt werden. Die OPWP betreibt Entsalzungsanlagen und ist gleichzeitig einziger Abnehmer von entsalztem Wasser aus unabhängigen Wasserprojekten (IWP). In den kommenden sechs Jahren soll die Entsalzungskapazität unabhängiger Wasserprojekte um 107.300 m³ erhöht werden. Bisher befinden sich noch keine Wasserentsalzungsanlagen im Südwesten des Landes, wo potenziell Standorte für die grüne Wasserstoffproduktion geplant sind. Für die Bereitstellung von Wasser zur Erzeugung von grünem Wasserstoff müssten daher die Kapazitäten ausgebaut werden.

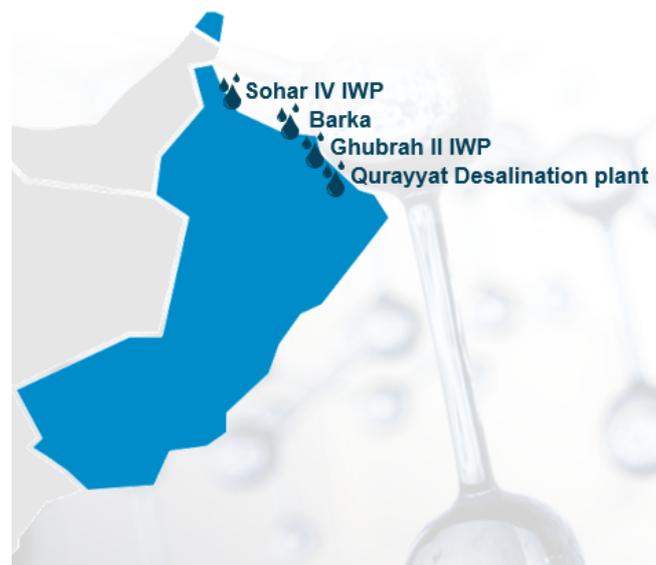


Abb. 3-3 Omans in Betrieb befindliche Meerwasserentsalzungsanlagen

Quelle: Horváth (2021)

Auch in Jordanien und Marokko wird die Bereitstellung von Wasser für die Produktion von grünem Wasserstoff eine zentrale Frage für die Umsetzung von Projekten sein. Der Ausbau der Entsalzungskapazitäten ist dabei unumgänglich, um Konkurrenz mit anderen Sektoren wie der Landwirtschaft, der Öl- und Gasförderung und der Trinkwasserversorgung zu vermeiden. Entsprechend sind auf nationaler Ebene politische Maßnahmen und Förderprogramme zur Verbesserung der Wasserversorgung erforderlich. Zur Vermeidung von Konflikten und zur Schaffung lokaler Vorteile sollten Entsalzungsanlagen so konzipiert werden, dass sie mehrere Wasserbedarfe decken und nicht nur Wasser für die Wasserstoffproduktion liefern (IRENA, 2020). Der Ausbau der Entsalzungsanlagen und -kapazitäten wird jedoch sowohl Land benötigen als auch wiederum zu einem erhöhten Stromverbrauch führen (~0,86 kWh für 1 m³ Salzwasser), was mitbedacht werden sollte.

Gerade in *Jordanien* muss die Flächenverfügbarkeit entlang des kurzen Küstenabschnitts am Roten Meer für die Installation neuer Projekte geprüft werden, da das Gebiet um Aqaba bereits eine recht hohe Dichte an Wirtschafts-, Industrie-, Tourismus- und Wohngebieten aufweist. Denkbar sind hier auch regionale Partnerschaften mit Nachbarländern wie Saudi-Arabien. Auch in Marokko liegen potenzielle

Standorte für die grüne Wasserstoffproduktion in wasserarmen Regionen und Entsalzung muss als Option zur Wasserbereitstellung mitberücksichtigt werden.

Das Gleiche gilt auch im *Oman*, wo im Rahmen eines MENA-Fuels‘ Stakeholderworkshops diesbezüglich diskutiert wurde, dass es wahrscheinlich vorteilhaft wäre, Wasserentsalzung an ausgewählten Standorten zu konzentrieren, anstatt individuelle Entsalzungsanlagen für jedes Projekt einzeln zu errichten. Solch ein Ansatz böte sich sicher auch für Jordanien und Marokko an. Allerdings kann solch ein Vorgehen auch zu Verzögerungen bei der Umsetzung von grünen Wasserstoffprojekten führen, da vielfältige Absprachen und abgestimmte Planung notwendig sind. Insgesamt wird die Frage nach der Wasserversorgung in allen drei Ländern eine entscheidende Rolle bei der Entwicklung eines Exportsektors für grünen Wasserstoff und synthetischen Folgeprodukte spielen. Hier bedarf es zum einen projektspezifischer Untersuchungen und zum anderen auch der Berücksichtigung von Konfliktpotenzialen, wenn Wasser vornehmlich für ein Exportprodukt zur Verfügung gestellt wird, während lokal Wassermangel vorherrscht.

3.3 Kohlenstoff

Für die Produktion der Mehrzahl synthetischer Kraft- und Grundstoffe aus grünem Wasserstoff, z. B. Methan, Methanol oder synthetischem Kerosin, wird Kohlendioxid (CO₂) benötigt. Hier kommen zwei Optionen in Frage: einerseits die Gewinnung des benötigten CO₂ aus Punktquellen, wie bestehenden kohlenstoffemittierenden Industrien, andererseits die Abscheidung aus der Atmosphäre – entweder direkt über sogenannte Direct Air Capture Technologien (DAC) oder indirekt über Biomassequellen.

Als Punktquellen kommen in *Jordanien* zum Beispiel die Chemie- und Bergbauindustrie in Betracht, die bedeutende Emittenten von Treibhausgasen, einschließlich CO₂, sind. Dominiert werden diese Industriezweige von der Produktion von Phosphat, Pottasche, Bau- und Dekorationssteinen, Glassand und anderen nichtmetallischen Rohstoffen sowie von Düngemitteln. Die Chemie- und Bergbaufabriken sowie die Industrieanlagen befinden sich vornehmlich im Süden Jordaniens, wo auch große erneuerbare Energiepotenziale lokalisiert sind.

Marokkos potenzielle CO₂-Quellen liegen vor allem in der Phosphatverarbeitung, der Schwerindustrie und bei Kohlekraftwerken. Die Gesamtemissionen aus der Düngemittelproduktion liegen bei etwa 5,427 Mt CO₂-Äq., die Stahl- und Metallurgieindustrie weist 0,206 Mt CO₂-Äq. auf, Zementfabriken kommen auf ca. 5,204 Mt CO₂-Äq. und Kohlekraftwerke auf etwa 17,228 Mt CO₂-Äq. (UNFCCC, 2019). Diese Daten beziehen sich jeweils auf das Jahr 2016. OCP plant auch bereits die Abtrennung von CO₂ aus den eigenen Phosphorsäurekaminen und strebt bis 2030 eine CO₂-Reduzierung um 25 % bei der Phosphorsäureproduktion an (OCP, 2019a).

Konkrete Vorhaben zur direkten Kohlenstoffabscheidung aus der Atmosphäre gibt es nur im *Oman*. Die Unternehmen Climeworks und 44.01 planen beispielsweise gemeinsam, CO₂ aus der Luft abzuscheiden. Jedoch soll hier das CO₂ nicht für die Produktion synthetischer Kraftstoffe genutzt werden, sondern das Potenzial der geologischen Speicherung von CO₂ in Peridotitgestein getestet werden. Nach Angaben des omanischen Start-Ups 44.01 soll dafür im Oman die weltweit erste solarbetriebene DAC-Anlage gebaut werden. Voraussichtlich wird das Projekt Ende 2022 in Betrieb

genommen. Daneben erwägt das omanische Unternehmen PDO die Abscheidung und Nutzung von Kohlenstoff (Carbon Capture and Use, CCU). Das abgeschiedene CO₂ soll für die tertiäre Öl- (Enhanced Oil Recovery (EOR)) und Gasförderung (Enhanced Gas Recovery (EGR)) sowie die Produktion von synthetischen Kraftstoffen verwendet werden. Bisher sind aufgrund der hohen Kosten für den Aufbau solcher Infrastrukturen jedoch noch keine Projekte in diesem Bereich in der Umsetzung. Es wird daher davon ausgegangen, dass hierfür weitere Anreize oder Fördermittel benötigt werden.

Die indirekte Gewinnung von CO₂ über Biomasse stellt für keines der drei Länder eine bedeutende Option dar. Zwar können für einzelne Projekte solche Pfade in Frage kommen, aber für die Gesamtsektorentwicklung wird diese Art der CO₂-Gewinnung vermutlich keine relevante Rolle spielen, da die Nutzung von Biomasse in Ländern mit knappen Wasserressourcen vielfältige Nachhaltigkeitsfragen aufwirft. Insgesamt existieren jedoch in allen drei Ländern potenzielle CO₂-Punktquellen, die für den Übergang genutzt werden können, und auch die direkte Abscheidung von CO₂ wird im Oman bereits getestet. Die Versorgung mit Kohlenstoff für die synthetische Kraftstoffherstellung sollte demnach theoretisch möglich sein, jedoch zu entsprechenden Kosten. Beachtet werden sollte dabei jedoch, dass synthetische Kraftstoffe, die mit CO₂ aus fossilen Punktquellen hergestellt werden, nicht als klimaneutral eingestuft werden können, da diese beim Betrieb in die Atmosphäre entlassen werden.

4 Nachfrage und Exportpotenziale von Wasserstoff und synthetischen Folgeprodukten in Jordanien, Marokko, Oman

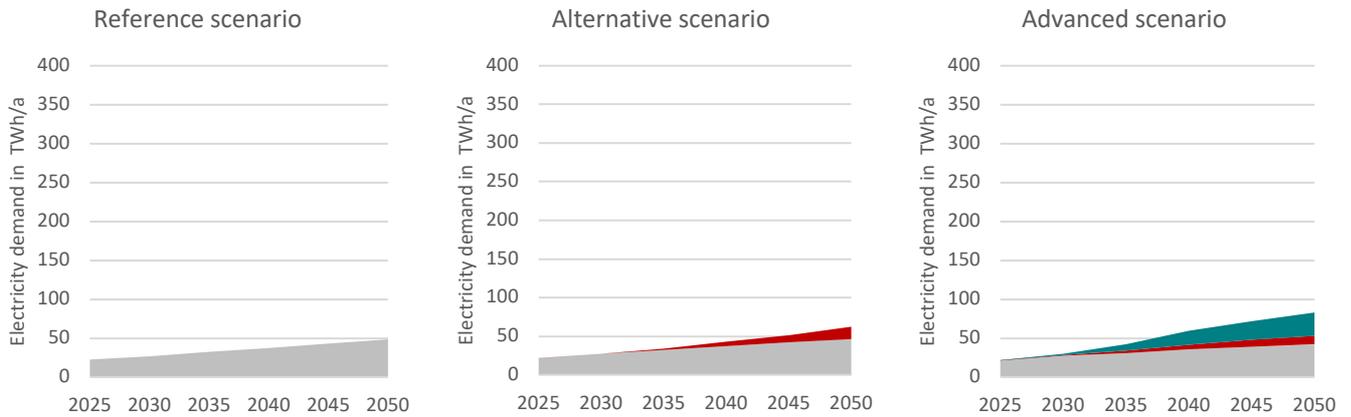
Neben der Verfügbarkeit der notwendigen Produktionsfaktoren für die Erzeugung von grünem Wasserstoff und synthetischen Folgeprodukten spielen sowohl die potenzielle Binnennachfrage als auch die Gestehungskosten von erneuerbarem Strom, grünem Wasserstoff und synthetischen Folgeprodukten eine entscheidende Rolle für die Entwicklung eines Exportsektors. In den folgenden Kapiteln werden daher die potenzielle Entwicklung der Binnennachfrage sowie die Exportpotenziale und -kosten für Jordanien, Marokko und Oman, die im Rahmen des MENA-Fuels-Projekts modelliert wurden, dargestellt.

4.1 Zukünftige Entwicklung der Nachfrage nach Wasserstoff- und synthetischen Folgeprodukten

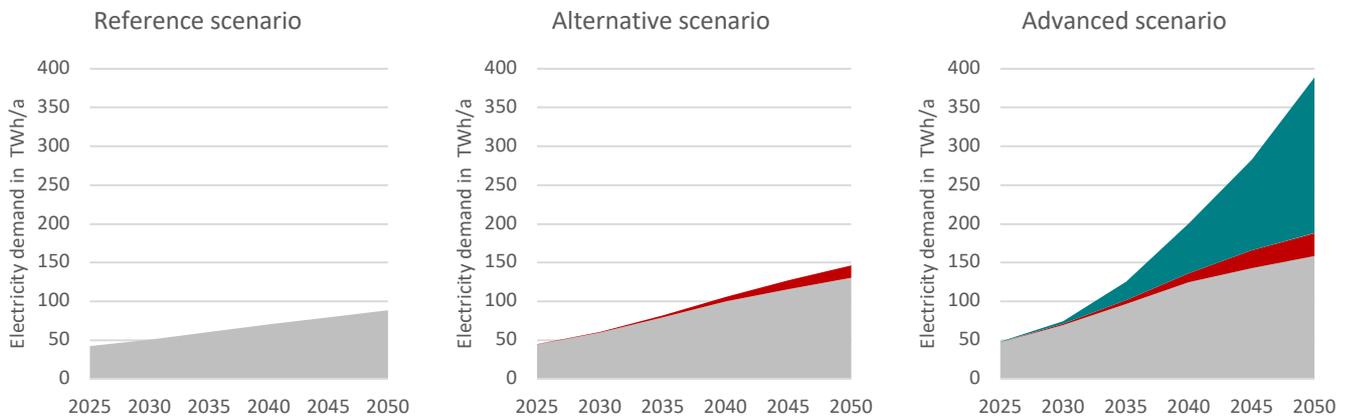
Neben dem möglichen Export von grünem Wasserstoff und synthetischen Kraftstoffen, der im Mittelpunkt der Arbeiten des MENA-Fuels-Projekts steht, kann sich in Konsistenz zu den globalen Klimaschutzziele auch eine relevante Nachfrage nach erneuerbarem Strom, grünem Wasserstoff und synthetischen Folgeprodukten in den jeweiligen Ländern selber entwickeln. Zwar sind die MENA-Länder im Rahmen des Pariser Abkommens nicht verpflichtet, das für Industrieländer wie Deutschland geforderte Treibhausgasminderungsziel von 95 % (bezogen auf 1990) zu erreichen, aber grüner Wasserstoff und seine Folgeprodukte können auch hier zur Dekarbonisierung erforderlich sein – vor allem in Sektoren, die nicht oder nur schwer elektrifizierbar sind. Insbesondere Marokko, aber auch Oman, haben in ihren Wasserstoffstrategien daher nicht nur Exportziele, sondern auch Ziele für die Produktion von grünem Wasserstoff zur Deckung des Eigenbedarfs festgelegt. Wie sich die mögliche Eigennachfrage entwickeln kann, wurde im Rahmen von MENA-Fuels vom DLR abgeschätzt (siehe MENA-Fuels → *Teilbericht 9*) und bei der Ermittlung der verfügbaren Exportpotenziale berücksichtigt.

Die Szenarien für Jordanien, Marokko und Oman basieren auf regionalen Trajektorien sowie nationalen Energiebilanzen und anderen Statistiken. Sie zeigen, wie sich die Stromnachfrage als Endenergie (d. h. seiner direkten Nutzung) in den Sektoren Verkehr, Industrie, Haushalte, Gewerbe und Dienstleistungen sowie zusätzlich zur Erzeugung von grünem Wasserstoff und synthetischen Kraftstoffen auf der Grundlage verschiedener Ziele und Pfade in den drei Ländern entwickeln könnte (Abb. 4-1). Heute sind die Sektoren mit dem höchsten Stromverbrauch in Jordanien und Marokko Verkehr und Haushalte, gefolgt von der Industrie. Im Oman gehören ebenfalls die Haushalte zu den Hauptverbrauchern, gefolgt von der Industrie. Für alle drei Länder wird für die Zukunft eine Steigerung der Stromnachfrage erwartet. Dieser Anstieg wird durch Faktoren wie wachsende Bevölkerungen und Anpassung der Lebensstandards, aber auch dem Klimawandel getrieben, darüber hinaus spielt aber auch die Industrieentwicklung eine wichtige Rolle.

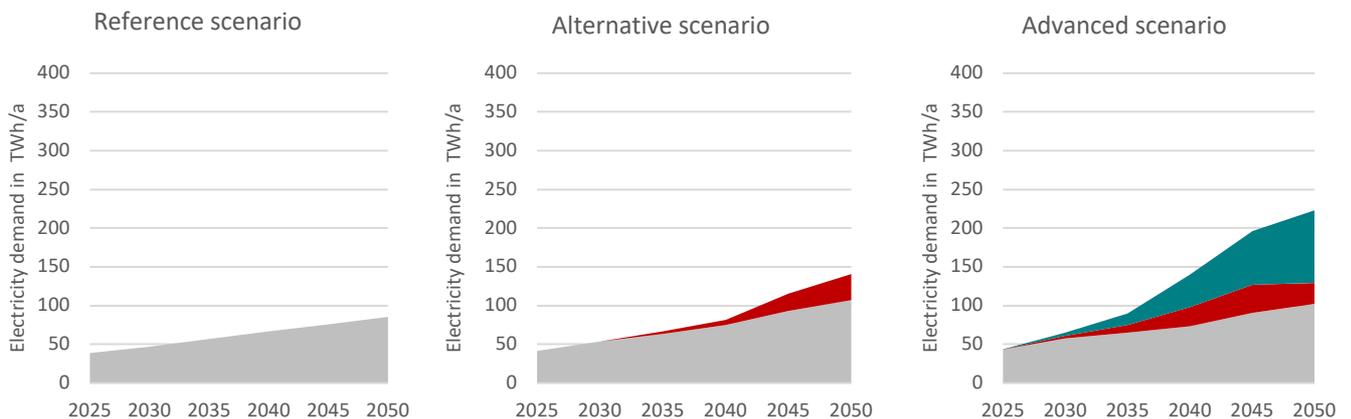
(a) Jordanien



(b) Marokko



(c) Oman



■ electricity consumption (final energy) ■ For hydrogen generation ■ For synfuel generation

Abb. 4-1 Strombedarfsszenarien für (a) Jordanien, (b) Marokko und (c) Oman

Quelle: Pregger (2022) (Teilbericht 9)

Im Referenzszenario, das von der Fortführung der derzeitigen Politik ohne die Einführung neuer Politikmaßnahmen ausgeht, wird erwartet, dass sich kein Bedarf nach grünem Wasserstoff oder synthetischen Kraftstoffen entwickelt und das

Energiesystem weiterhin von fossilen Kraftstoffen dominiert wird. Der Anstieg des Strombedarfs ist in erster Linie auf die steigende Nachfrage für bestehende Anwendungen zurückzuführen.

Im alternativen Szenario (Alternative scenario – ALT2) werden moderate Effizienzpfade und ein moderater Ausbau der erneuerbaren Energien angenommen. In diesem Szenario nimmt die Stromnachfrage im Vergleich zum Referenzszenario in allen drei Ländern zu, da von einer stärkeren Elektrifizierung in Endverbrauchssektoren wie dem Verkehr und nach 2030 von der Erzeugung von grünem Wasserstoff für Haushaltsanwendungen ausgegangen wird. Während der Strombedarf bis 2050 in Marokko und Oman im ALT-Szenario im Vergleich zum Referenzszenario um etwa die Hälfte ansteigt, nimmt der Strombedarf in Jordanien im Vergleich langsamer, um knapp 23 % bis 2050 zu.

Das fortschrittlich ambitionierte Szenario (Advanced scenario - ADV) entspricht einem Energiesystem, das bis 2050 deutlich effizienter wird, insbesondere über die Elektrifizierung, und gleichzeitig zu 100 % auf erneuerbaren Energien basiert. Entsprechend nimmt der Bedarf nach Strom aus erneuerbaren Energien im Vergleich zum Referenzszenario sowie zum ALT-Szenario in allen drei Ländern stark zu. Etwa die Hälfte dieses Bedarfs resultiert im ADV-Szenario aus der Erzeugung von Wasserstoff und synthetischen Kraftstoffen. In Marokko hat sich der Strombedarf im ADV-Szenario im Vergleich zum Referenzszenario knapp vervierfacht und im Oman mehr als verdoppelt. In Jordanien steigt der Strombedarf bei einem zu 100 % auf erneuerbaren Energien basierenden Energiesystem bis 2050 hingegen geringer, um etwa 57 %, an. Hier wird der Bedarf zur Elektrifizierung in Endverbrauchssektoren voraussichtlich geringer ausfallen, da Jordanien im Vergleich zu Marokko, aber auch zum Oman, über weniger energieintensive Industrien verfügt und somit voraussichtlich auch weniger Strom benötigt wird, um den Industriesektor zu dekarbonisieren.

Insgesamt bleibt festzuhalten, dass, wenn die Länder selbst ambitionierte Dekarbonisierungsstrategien verfolgen und gleichzeitig grüner Wasserstoff bzw. synthetische Kraftstoffe in größerem Umfang exportiert werden sollen, die erneuerbaren Energien schnell und massiv ausgebaut werden müssen. Die derzeitigen Ausbauraten müssten um ein Vielfaches erhöht werden. Nach marokkanischen Angaben gibt es bereits erste Machbarkeitsstudien von Projektentwicklern, die annehmen, dass sich der Kapazitätsausbau von erneuerbaren Energien von etwa 200 MW pro Jahr in den letzten sechs Jahren auf etwa 1.200 MW pro Jahr zwischen 2022 und 2030, 2.500 MW pro Jahr zwischen 2030 und 2040 und 4.500 MW pro Jahr zwischen 2040 und 2050 erhöhen müsste, um die nationalen Stromnachfrage sowie die Nachfrage nach grünem Strom für die Produktion von grünem Wasserstoff und synthetischen Folgeprodukten zu decken. Dabei sind sowohl netzgebundene als auch netzunabhängige Projekte denkbar, letztere insbesondere im Hinblick auf bestehende Engpässe in Bezug auf die Stromnetze in den analysierten Ländern (siehe Kapitel 5.1.1). Wo und wie schnell der Ausbau in den drei Ländern erfolgen kann, wird auch vom Ausbau der technischen, finanziellen und personellen Kapazitäten sowie der Ausweisung von Flächen für die Erzeugung erneuerbarer Energie abhängen. Bei der Ausweisung von Flächen sollten dabei sowohl bestehende Flächennutzungen aber auch alternative Nutzungen berücksichtigt werden. Insgesamt wird der Erfolg beim Ausbau der

erneuerbaren Energien einer der entscheidenden Faktoren für die Schaffung von Exportsektoren für grünen Wasserstoff und synthetische Folgeprodukte sein.

4.2 Technische Kosten-Potenzial-Analyse der Exportpotenziale

Ein wichtiger Faktor für die Entwicklung einer Exportwirtschaft für grünen Wasserstoff und synthetische Folgeprodukte sind die Kosten, zu denen erneuerbare Energien oder synthetische Kraftstoffe langfristig erzeugt und für den Export bereitgestellt werden können. Das DLR hat im Rahmen des Projekts MENA-Fuels die technischen Kostenpotenziale für erneuerbaren Strom aus Windkraft und Solartechnologien sowie die stofflichen Potenziale und Gesteungskosten für synthetische Kraftstoffe über die Fischer-Tropsch-Route mit Wasserstoff als Zwischenprodukt ermittelt (siehe → *Teilbericht 10*). Nachfolgend sind die Kosten-Potenzial-Kurven (KP) zunächst für Strom aus PV-, CSP- und Windenergie-technologien und danach für den daraus erzeugten synthetischen Kraftstoff für das Jahr 2030 dargestellt (KPs für das 2050 siehe Anhang). Um den Einfluss der länderspezifischen Risiken auf die Kosten darzustellen, werden vier Szenarien (*ref*, *bau*, *pos* und *neg*) in Form von unterschiedlichen durchschnittlich gewichteten Kapitalkostensätzen (weighted average cost of capital- WACC) modelliert (siehe → *Teilberichte 8* und *10*). Bei der Ermittlung der Exportpotenziale und -kosten wurden zudem infrastrukturelle Restriktionen für die Kraftstoffproduktion und der potenzielle langfristige Eigenbedarf berücksichtigt. Die KPs zeigen die jährlichen Exportpotenziale und die damit verbundenen Produktionskosten, wobei die Daten in aufsteigender Reihenfolge der Produktionskosten sortiert und die Potenziale kumuliert sind.

Die Exportpotenziale für die Stromerzeugungstechnologien PV und CSP als auch Windenergie sind nachfolgend dargestellt (vgl. Abb. 4-2, Abb. 4-3 und Abb. 4-4). Deutlich wird, dass die Kostenunterschiede im Referenzszenario (*ref*), in dem einheitliche WACCs von 6 % angenommen werden, wesentlich geringer ausfallen als wenn länderspezifische Risiken in Form variierender WACCs einbezogen werden. Für die Entwicklung nach 2050 wird eine deutliche Kostenreduktion bei den erneuerbaren Energietechnologien, vor allem im Bereich der PV, erwartet, was zu einer weiteren Reduktion der Gesteungskosten führen wird (vgl. Anhang 8.1).

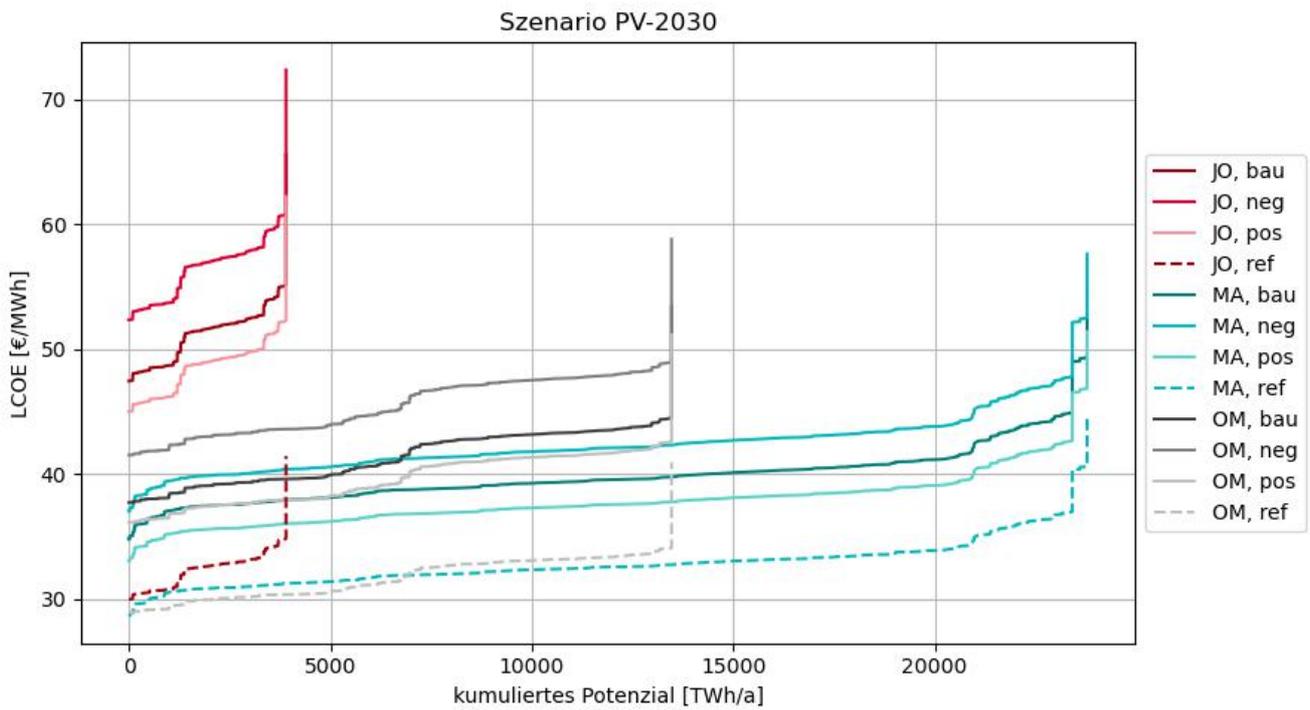


Abb. 4-2 Kosten-Potenzial-Kurven PV-Strom 2030 für unterschiedliche Szenarien

Quelle: Braun et al. (2022) (Teilbericht 10)

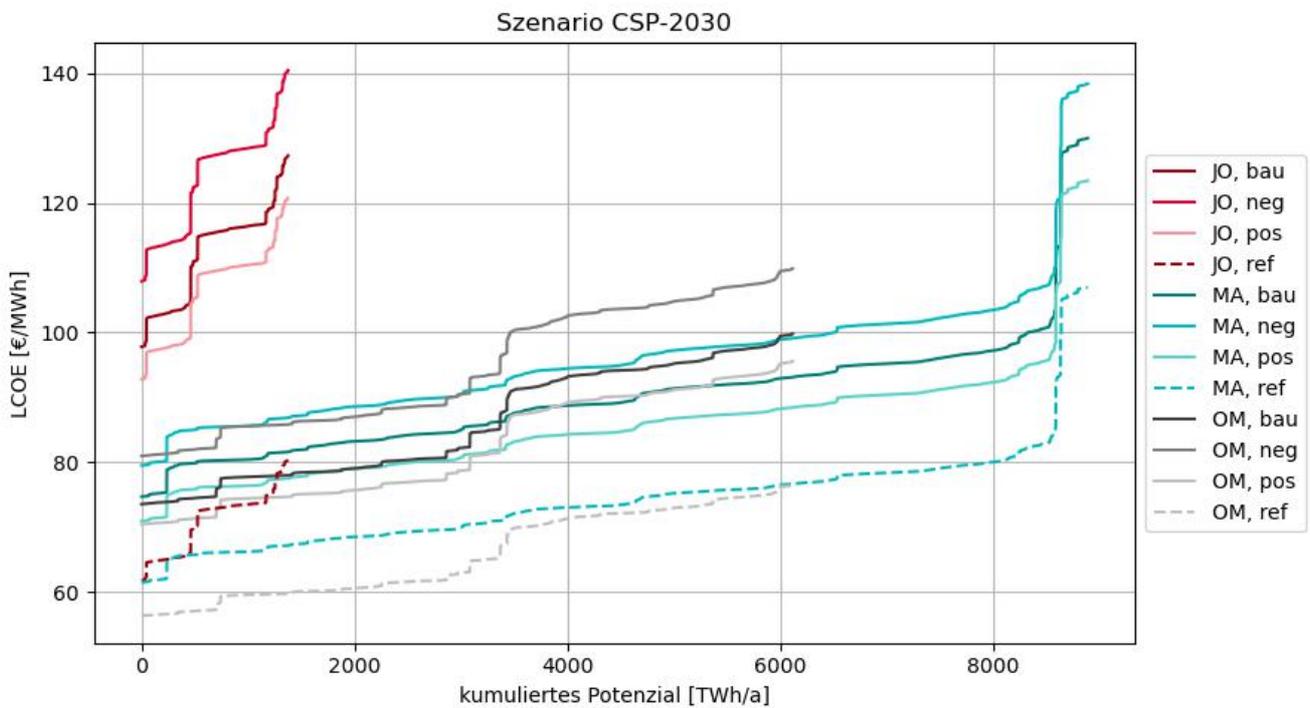


Abb. 4-3 Kosten-Potenzial-Kurven CSP-Strom 2030 für unterschiedliche Szenarien

Quelle: Braun et al. (2022) (Teilbericht 10)

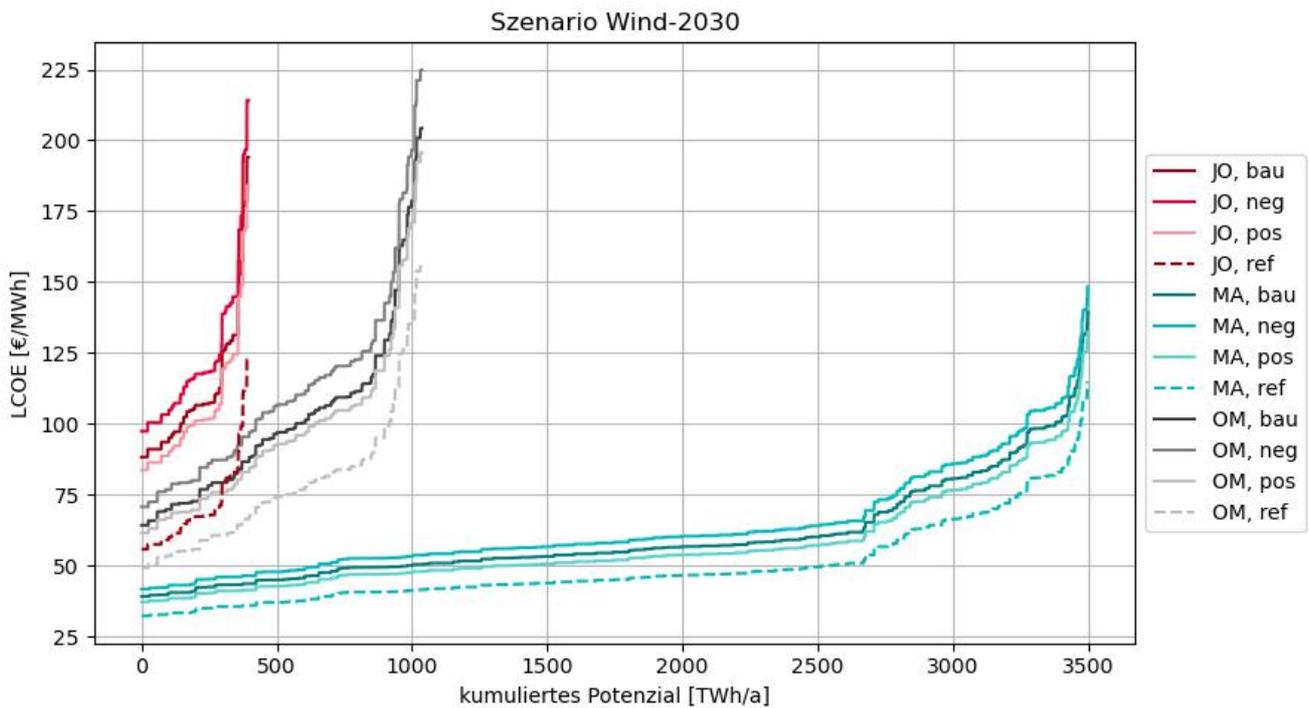


Abb. 4-4 Kosten-Potenzial-Kurven Windstrom 2030 für unterschiedliche Szenarien

Quelle: Braun et al. (2022) (Teilbericht 10)

Die Gestehungskosten für Strom aus PV, CSP und Wind sind ein wichtiger Kostenfaktor für die Erzeugung von grünem Wasserstoff und synthetischen Folgeprodukten. Nachfolgend werden aufbauend auf den Stromgestehungskosten die Gestehungskosten für synthetische Kraftstoffe über die Fischer-Tropsch-Route dargestellt (Abb. 4-5 und Abb. 4-6). Die KPs für den FT-Kraftstoff zeigen wie auch die KPs für die erneuerbare Stromerzeugung geringe Kostenunterschiede bei einheitlichen WACCs und größere Differenzen bei Berücksichtigung der länderspezifischer Risikokosten. Wie für die Erzeugung von erneuerbarem Strom werden auch für die Erzeugung von synthetischen Kraftstoffen mit Wasserstoff als Zwischenprodukt deutliche Kostenreduzierungen bis 2050 erwartet (vgl. Anhang 8.2).

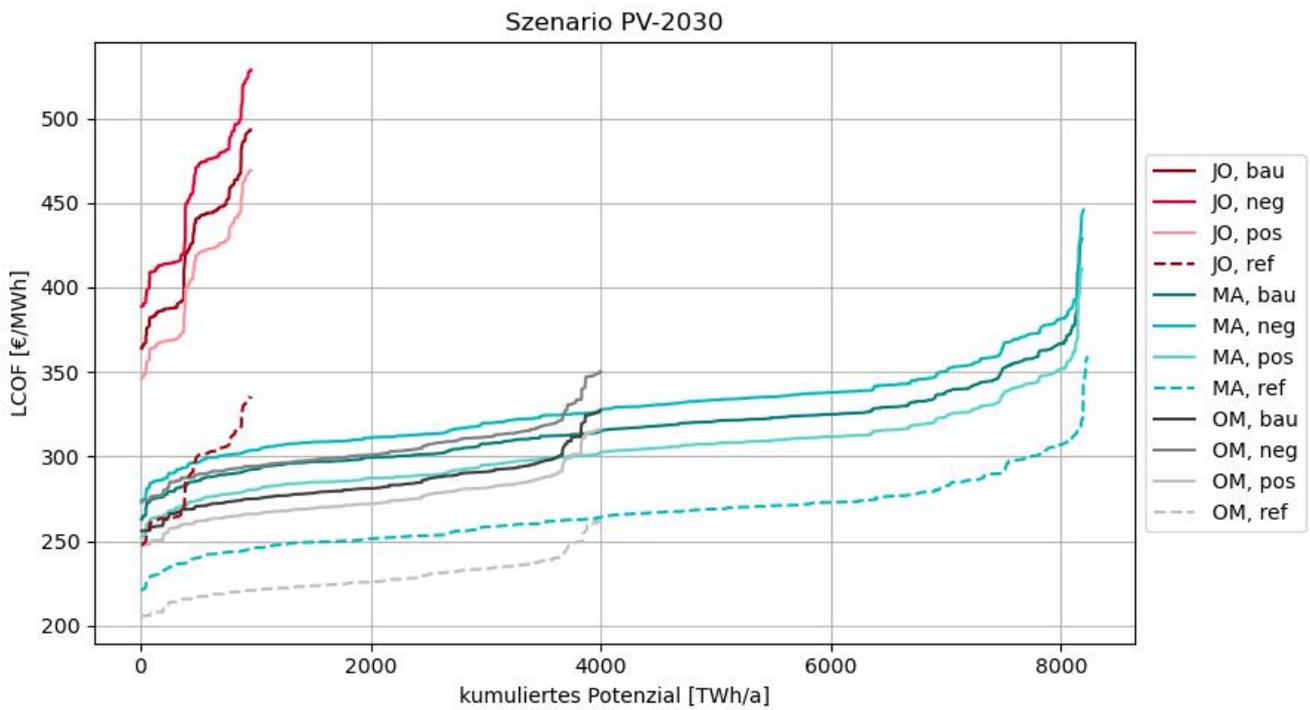


Abb. 4-5 Kosten-Potenzial-Kurven FT-Kraftstoff aus PV-Strom 2030 für unterschiedliche Szenarien

Quelle: Braun et al. (2022) (Teilbericht 10)

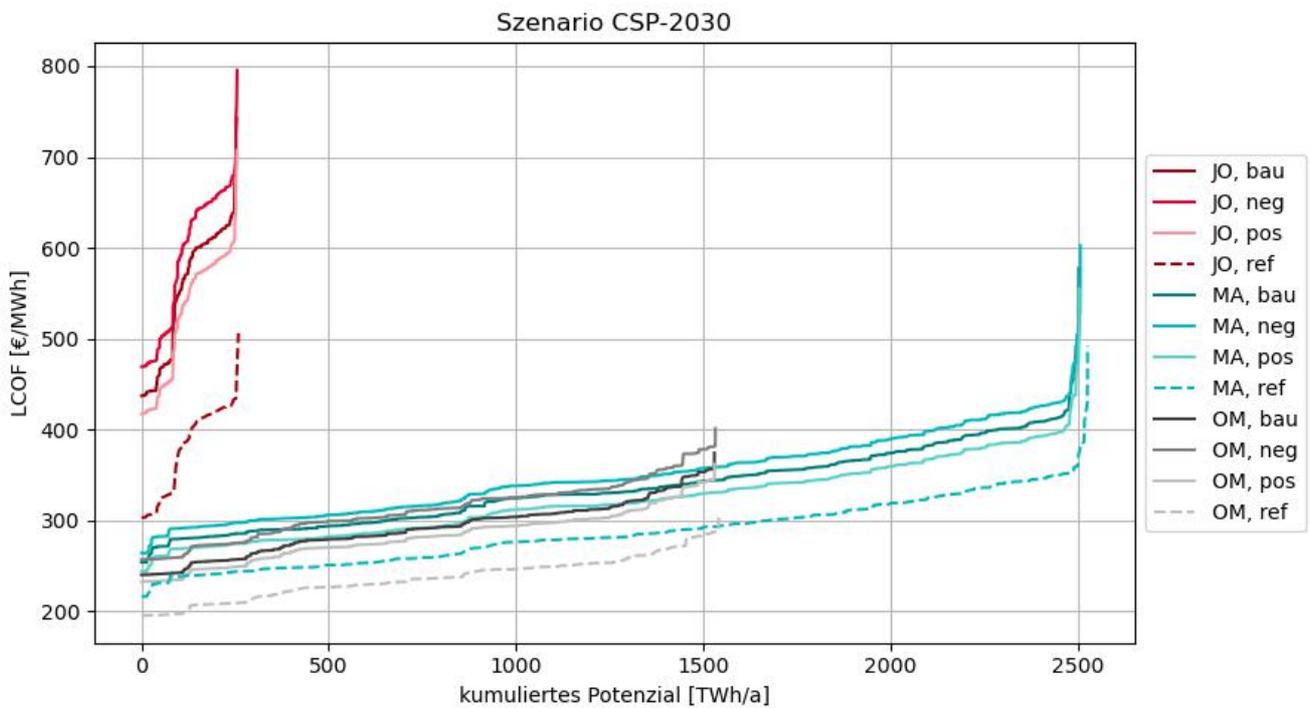


Abb. 4-6 Kosten-Potenzial-Kurven FT-Kraftstoff aus CSP-Strom 2030 für unterschiedliche Szenarien

Quelle: Braun et al. (2022) (Teilbericht 10)

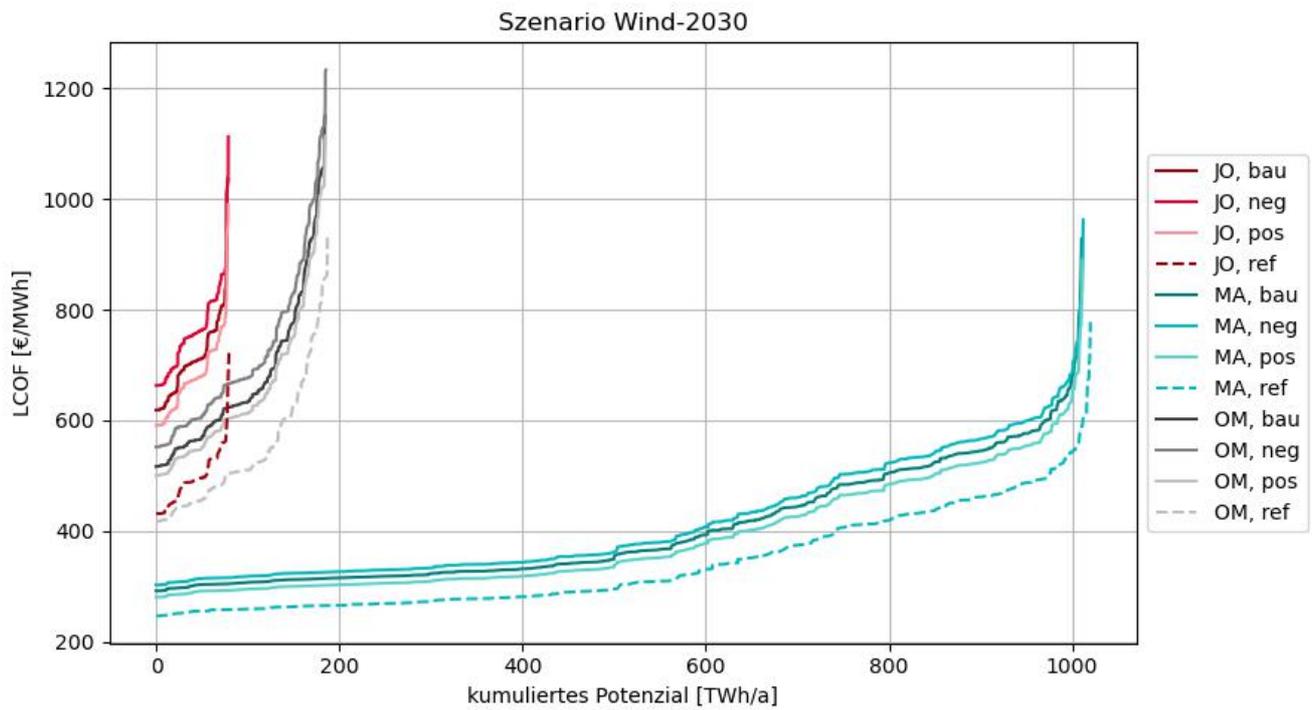


Abb. 4-7 Kosten-Potenzial-Kurven FT-Kraftstoff aus Windstrom 2030 für unterschiedliche Szenarien

Quelle: Braun et al. (2022) (Teilbericht 10)

5 Exportvoraussetzungen

Dieses Kapitel beschreibt infrastrukturelle und industrielle Strukturen mit Relevanz für die Entwicklung von Wertschöpfungsketten für den Export von grünem Wasserstoff und synthetischen Folgeprodukte aus Jordanien, Marokko und Oman.

5.1 Infrastrukturen

Zunächst werden die Ergebnisse der Infrastrukturanalyse in den drei ausgewählten Ländern dargestellt. Besonderes Augenmerk liegt dabei auf den Infrastrukturen des Stromsektors, Öl- und Gasinfrastrukturen mit dem Potenzial zur Umnutzung, Verladesystemen wie Häfen, Terminals und Ladeinfrastruktur sowie Speicheroptionen- und -potenzialen. Zudem wird aufgezeigt, wo infrastrukturelle Ausbaubedarfe bestehen, um einen Exportsektor für grünen Wasserstoff bzw. synthetischen Folgeprodukte zu entwickeln.

5.1.1 Stromnetz und Übertragungsleitungen

Der Ausbau der Stromübertragungsleitungen ist in den letzten Jahren in allen drei Ländern stark vorangeschritten, insbesondere die 400-kV-Netze sind ausgebaut worden. Dadurch werden die Stromnetze leistungsfähiger und auch flexibler, was besonders für den Ausbau der erneuerbaren Energien eine wichtige Voraussetzung ist.

Das jordanische Übertragungsnetz besteht aus 400-kV und 230-kV-Leitungen, wohingegen das marokkanische Übertragungsnetz 400-kV und 225-kV-Leitungen aufweist und im Oman 400-kV-, 220-kV- und 132-kV-Leitungen betrieben werden. Neben dem Netzausbau wurde ebenfalls in allen drei Ländern eine große Anzahl an Umspannwerken neu errichtet, um den Strom von neu in Betrieb genommenen Solar- und Windenergieanlagen ins Netz einzuspeisen. Insgesamt konzentriert sich der Ausbau der Stromnetze auf Gebiete mit hohen Potenzialen für erneuerbare Energien. Der Oman hat vor allem mit dem Bau von 400-kV-Leitungen an der Wüstengrenze begonnen, wo hohe PV-Potenziale bestehen. Der marokkanische Ausbauplan 2019 bis 2023 sieht vor, Strom aus dem Abdel-Moumen-Pumpspeicherkraftwerk (350 MW), aus den Windenergieanlagen Midelt, Jbel Lahdid, Boujdour und Tiskrad (850 MW), aus dem (geplanten) Solarkomplex Midelt (800 MW) und aus weiteren erneuerbaren Energieanlagen in den südlichen Regionen (1.200 MW) leichter in das Netz zu integrieren. Dafür plant ONEE eine Investition von 800 Mio. € und überprüft in diesem Zusammenhang auch die Möglichkeit, direkte Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragungsleitungen (HGÜ) von den erneuerbaren Energieanlagen in den südlichen Regionen zu den Industriegebieten in Agadir, Casablanca und anderen Großstädten zu bauen.

Alle Länder verfügen zudem über Stromnetzverbindungen zu den Nachbarstaaten. *Jordanien* verfügt über funktionierende Stromverbundnetze mit Ägypten (550 MW), Syrien (800 MW) und Palästina (20 MW). Außerdem plant Jordanien Stromverbundprojekte mit Saudi-Arabien, die 2022 abgeschlossen werden und in Betrieb gehen sollen, und eine Stromverbundleitung mit dem Irak steht auch in Diskussion. Das Stromübertragungsnetz *Marokkos* ist mit Spanien mit einer Austauschkapazität von 1.400 MW über zwei 400-kV-Leitungen verbunden. Weitere Verbindungen mit Spanien mit 700 MW bzw. 1.000 MW Leistung und eine Verbindung zu Mauretanien

befinden sich derzeit in der Entwicklung. Mit Algerien hat Marokko mehrere Verbindungsleitungen, davon eine mit einer Austauschkapazität von 1.500 MW über zwei 225-kV-Leitungen und zwei 400-kV-Leitungen. Der *Oman* ist über die Mahada-Netzstation der VAE mit den Stromnetzen der Golfkooperation (Bahrain, Saudi-Arabien, Kuwait, VAE und Qatar) verbunden.

Die Verantwortlichkeiten für die Stromübertragung liegen in *Jordanien* beim nationalen Stromversorger NEPCO. Das regionale Verteilernetz wird nach Region gegliedert und jeweils von regionalen Stromversorgungsunternehmen EDCO (Stromversorgungsunternehmen), JEPCO (Jordanisches Stromversorgungsunternehmen, IDCO (Irbid Stromversorgungsunternehmen) betrieben. In *Marokko* betreibt ONEE-BE (Stromzweig des staatlichen marokkanischen Strom- und Wasserversorgers) das Netz. Das marokkanische Stromübertragungssystem besteht aus einem großen Übertragungs- und Verbundnetz und einem regionalen Verteilernetz. Der *omanische* Übertragungsnetzbetreiber ist das Omanische Stromübertragungsunternehmen (OETC), das sich zu 51 % im Besitz der Nama Holding und zu 49 % im Besitz der Staatlichen Netzgesellschaft Chinas (SGCC) befindet. Die Eigentumsverhältnisse beim Übertragungsnetzbetreiber im Oman haben sich erst vor kurzem geändert, als das Finanzministerium seine Anteile an der Nama Holding an die Omanische Investitionsbehörde (OIA) abgetreten hat. Die vier Stromverteilungsunternehmen des Landes sind MEDC (Muscat Stromverteilungsunternehmen), MJEC (Majan Stromverteilungsunternehmen), MZEC (Mazoon Stromverteilungsunternehmen) und DPC (Dhofar Stromverteilungsunternehmen).

Während alle drei Länder ihre Übertragungsnetze bereits ausbauen, um auch größere Mengen an erneuerbaren Energien in das Stromsystem zu integrieren und erneuerbaren Strom aus den Produktionsgebieten zu den Verbrauchszentren zu transportieren, muss für einen zusätzlichen großskaligen Ausbau der erneuerbaren Energieproduktion zur Erzeugung von grünem Wasserstoff und synthetischen Folgeprodukten davon ausgegangen werden, dass die Stromübertragungskapazitäten noch wesentlich stärker und schneller ausgebaut und gegebenenfalls separate Leitungen geschaffen werden müssen.

So hat das *jordanische* Übertragungsnetz beispielsweise bereits heute Schwierigkeiten, den steigenden Anteil erneuerbarer Energien zu bewältigen, weshalb die großen Netzanschlussprojekte bis zur Durchführung einer Netzstudie ausgesetzt wurden. Laut jordanischer Expert*innen ist es daher notwendig, ein zusätzliches Hochspannungsstromübertragungsnetz zu etablieren, um insbesondere die Gebiete mit hohem Solarpotenzial (Osten und Zentrum Jordaniens) mit Gebieten zu verbinden, die für die Produktion von grünem Wasserstoff und synthetischen Kraftstoffen in Frage kommen, wie beispielsweise Amman, Maan und Aqaba. Vor diesem Hintergrund könnte es auch empfehlenswert sein, vermehrt netzunabhängige Großprojekte für die Erzeugungen von grünem Wasserstoff zu entwickeln. Während in *Marokko* bereits ein umfangreiches Entwicklungsprogramm für das Übertragungsnetz durchgeführt wird, das auch die Modernisierung der Verbundnetze mit den Nachbarländern einschließt, muss auch dort weiter massiv in Hoch- und Höchstspannungsleitungen (400 kV, 225 kV und 60 kV) investiert werden, um den Strom für die Umsetzung der ambitionierten grünen Wasserstoffexportziele an potenziellen Produktionsstandorten an der Küste bereitzustellen. So könnte Marokko beispielsweise auch HGÜ-

Leitungen von den Regionen mit viel Windressourcen zu denjenigen Regionen ausbauen, die ein hohes Potenzial für die Entwicklung von grünen Wasserstoff-Hubs haben. Andererseits sollten Elektrolyseure und Meerwasserentsalzungsanlagen so nah wie möglich an erneuerbaren Energieprojekten geplant werden, um Kosten für die Stromübertragungsleitungen zu senken und Stromverluste aufgrund sehr langer Übertragungswege zu vermeiden. Zudem sollte der Privatsektor in den Bau und den Betrieb von Übertragungsleitungen einbezogen werden, um den Ausbau entsprechend zu finanzieren.

5.1.2 Öl- und Gasinfrastruktur mit Potenzial zur Umnutzung

Die bestehende Öl- und Gasinfrastruktur kann unter bestimmten Voraussetzungen und technischen Anpassungen potenziell auch für den Transport von grünem Wasserstoff und synthetischen Folgeprodukten genutzt werden. Laut Expert*innen eines Gasversorgungsunternehmens belaufen sich die Investitionen für die Umrüstung der Gaspipelines zu Wasserstoffpipelines auf etwa 15 % der erforderlichen Investitionen für den Bau neuer Pipelines.

Jordanien besitzt ein Gasfeld, das im Nordosten an den Irak grenzt. Das Risha-Gasfeld verfügt über eine geschätzte Reserve von 6,2 Mrd. m³ und versorgt durch die Risha-Gaspipeline ein 120 MW Gaskraftwerk. Schätzungen gehen davon aus, dass etwa 5 bis 8 % des täglichen Erdgasbedarfs Jordaniens aus diesem Gasfeld gedeckt werden. Daneben verfügt Jordanien über eine Reihe von Gasleitungen. Abb. 5-1 zeigt die Arabische Gasleitung von Aqaba bis in den Norden zum Reha-Kraftwerk, die mit ägyptischem Gas aus der El Arish-Gaspipeline (Kapazität von 10 Mrd. m³) gespeist wird, und die Noble Energy-Gaspipeline, die Gas aus dem israelischen Leviathan-Feld nach Jordanien transportiert und vertraglich bis 8,49 Mio. m³ Gas pro Tag liefert (Ghazal, 2018)).

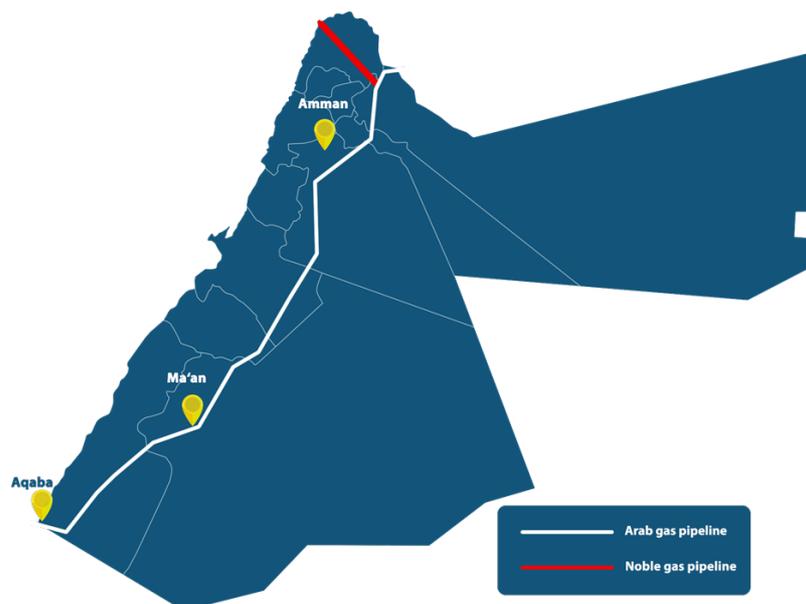


Abb. 5-1 Gasleitungen in Jordanien

Quelle: Jamea et al. (2021)

Die Gasnachfrage Jordaniens resultiert ausschließlich aus der Stromerzeugung. Nur eine minimale Gasmenge, ca. 113.000 m³ pro Tag wird von der Industrie verbraucht. Langfristig könnte der Gasbedarf Jordaniens jedoch steigen, da das Königreich den Bau eines Verteilungsnetzes für die Versorgung der Haushalte mit Gas plant.

Marokko hat aktuell vier Gasleitungen in Betrieb:

- die Euro-Maghreb Pipeline, ein System von Hochdruckgasleitungen, die Erdgas von dem Hassi R'Mel in Algerien nach Spanien und Portugal transportiert und über eine Kapazität von 12,4 Mrd. m³ Gas pro Jahr verfügt (2022 aktuell aufgrund politischer Spannung nicht in Betrieb);
- die Mohammedia-Gaspipeline mit 75 km Länge, die dem Transport von Flüssigerdgas (LNG) dient, um die Industrie zu versorgen; eine Gaspipeline,
- die die Gasfelder rund um Essaouira mit den OCP-Bergwerken in Youssoufia verbindet;
- und die Pipeline Gharb ONHYM, die das in der Region Gharb geförderte Erdgas zu den Industrieunternehmen in Kenitra transportiert.

Der Ausbau der letztgenannten Pipeline steht zurzeit in Diskussion, um neue Fabriken zu versorgen, u. a. die neue Peugeot-Autofabrik.

Eine Ölpipeline verbindet die Öltraffinerie in Sidi Kacem mit dem Hafen von Mohammedia in der Region um Casablanca und ist 187 km lang. Eine Rohrleitung für Phosphatschlämme verbindet die Stadt Koribgha mit der Industriepattform Jorf Lasfar an der Atlantikküste, die eine jährliche Kapazität von 38 Mio. Tonnen Phosphatzellstoff umfasst.

Neben den existierenden sind weitere Leitungen geplant. Zu den geplanten Gaspipelines gehört Sound Energy Tendrara, die mit der Euro-Maghreb Pipe verbunden werden soll. Dabei sollen Gasreserven im Gebiet von Tendara in Ostmarokko in die Pipeline Euro-Maghreb eingespeist werden. Eine weitere Gaspipeline ist zwischen den Regionen Tanger im Norden und Casablanca und später Agadir geplant, für die ONHYM derzeit Machbarkeitsstudien durchführt. Diese Pipeline soll die Industriegebiete von Soualem, Safi, Grand El Jadida und Grand Agadir mit den Gasinfrastrukturen in Kenitra, Mohammedia, Casablanca und Berrechid verbinden (MEME, 2020). Eine Absichtserklärung diesbezüglich wurde von Marokko und Nigeria 2016 unterzeichnet. Die Pipeline würde durch die Elfenbeinküste, Senegal und Mauretanien führen und soll den Gashandel und -transport zwischen Marokko und den westafrikanischen Ländern erleichtern (Industries du Maroc, 2021). Zudem plant die marokkanische Regierung die Entwicklung eines LNG-Hafens in der Nähe der Industriegebiete in Jorf Lasfar, Casablanca, Mohammedia und Kenitra. In diesem Zusammenhang ist auch eine weitere Gaspipeline geplant, welche die genannten Industriegebiete verbinden und an die bestehende Euro-Maghreb-Gaspipeline angeschlossen werden soll.

Für den Transport von Phosphatschlämmen plant Marokko eine weitere Rohrleitung von Gantour bis zum Hafen nach Safi mit einer jährlichen Kapazität von 13 Mio. Tonnen (OCP, 2015).

Oman verfügt über keine internationalen Ölpipelines, so dass alle Exporte per Schiff erfolgen müssen. Mina Al Fahal ist seit den 1970er Jahren das wichtigste Exportterminal. Zudem hat das Musandam Gas Plant Terminal 2016 in begrenztem Umfang mit dem Export von Rohöl begonnen. Der 70 km südlich des Hafens von Duqm gelegene Ras Markaz Crude Oil Park befindet sich derzeit noch in der Entwicklungsphase. Die Muscat-Sohar-Multiprodukt-Pipeline (MSPP) mit einer Länge von 280 km und Kosten in Höhe von 336 Mio. USD wurde 2018 fertiggestellt und kann mehr als die Hälfte der produzierten veredelten Mineralölprodukte transportieren. Die MSPP verbindet die Raffinerien Mina Al Fahal und Sohar Orpic mit der Lager- und Vertriebseinrichtung Al Jefnain (Abb. 5-2).

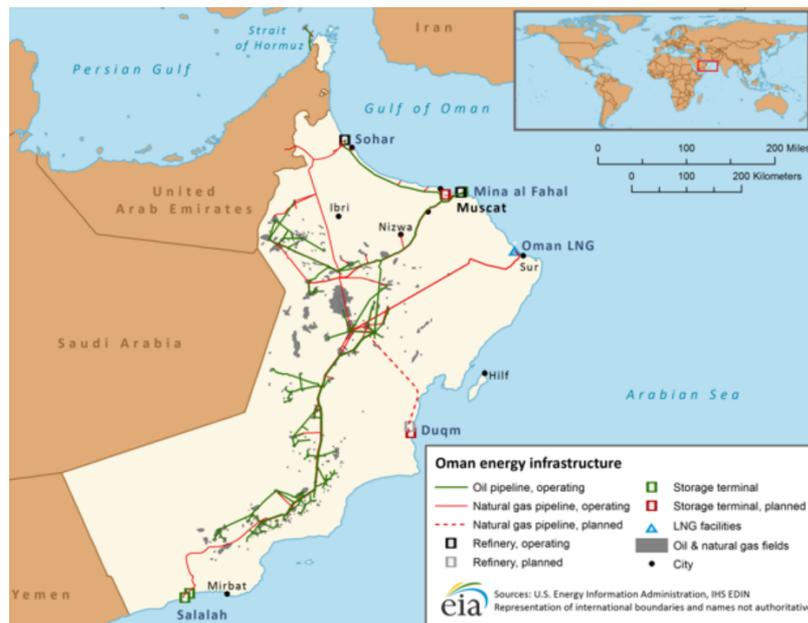


Abb. 5-2 Öl- und Gasleitungen im Oman

Quelle: EIA (2019)

Der Oman verfügt zudem über eine LNG-Anlage für den Export in Qalhat, die aus drei Einheiten besteht und eine Kapazität von 10,4 Mio. Tonnen pro Jahr hat. Sie befindet sich im gemeinsamen Besitz der omanischen Regierung (65 %), Shell, Union Fenosa Gas, Mitsubishi und anderen kleineren Aktionären. Oman LNG verfügt über drei langfristige Verträge, die 2025 auslaufen, und sucht aktuell nach Käufern für Verträge nach 2025. Für den Import von iranischem Gas ist eine Unterwasserpipeline mit einer Kapazität von 10 Mrd. m³ pro Jahr geplant. Die 260 km lange Pipeline soll von Kuhmobarak im Iran zum Hafen von Sohar und weiter in den VAE verlaufen. Im Rahmen von Expert*inneninterviews in MENA-Fuels erklärten Vertreter*innen aus der Energy Renewal Einheit der Konzerns PDO, dass im Oman bis zu 400 km Gaspipelines auf die Beimischung von mit Wasserstoff gemischtem Erdgas umgestellt oder vollständig wasserstofftauglich gemacht werden könnten. Derzeit wird die Möglichkeit der Umstellung auf Gasgemische aus technischer Sicht untersucht, sowohl für die Pipelines als auch für die Endverbraucher (Kraftwerke), wobei eine phasenweise Beimischung (3 %, 5 %, 10 %, 20 %) von Wasserstoff erfolgen soll.

Für die weitere Entwicklung und die Umstellung auf Wasserstoff ist in den drei analysierten Ländern neben der potenziellen Umnutzung der bestehenden Infrastrukturen auch die langfristige Entwicklung von Wasserstoffpipelines in Betracht zu ziehen. In Jordanien scheint eine Verbindung vom Hafen in Aqaba zu den Industriestandorten Maan und Amman, die sich ebenfalls als Produktionsstandorte für grünen Wasserstoff anbieten, interessant zu sein. Generell bietet sich die Realisierung von Wasserstoffzentren (Hubs) mit entsprechenden Rohrleitungsverbindungen in allen drei Ländern an.

5.1.3 Verladeinfrastruktur (Häfen, Terminals, Ladeinfrastruktur)

Für den Export von grünem Wasserstoff und synthetischen Folgeprodukten sind Verladeinfrastrukturen von zentraler Bedeutung. *Jordanien* verfügt nur über einen Seehafen „Aqaba“ am Roten Meer, der in mehrere Terminals für Öl- und LPG- (Flüssiggas), LNG-, Phosphat-, Industrie- und Frachtcontainer unterteilt ist. Das Aqaba Öl- und LPG-Terminal wurde im Oktober 2018 in Betrieb genommen, um die Lagerung und den Umschlag von Benzin, Diesel und Flüssiggas zu gewährleisten. Mit seiner aktuellen Kapazität in Kombination mit dem Südterminal von Aqaba kann die aktuelle und künftige Nachfrage nach Erdölprodukten in Jordanien gedeckt werden. Nach Angaben eines Vertreters der petrochemischen Industrie wird Rohöl hauptsächlich aus Saudi-Arabien und in geringen Mengen aus dem Irak importiert. Das Terminal für Rohphosphat hat eine Umschlagskapazität von 4 bis 6 Mio. Tonnen pro Jahr (ADC, 2021). Im Industrieterminal werden Flüssigkeiten wie Ammoniak, Heizöl, Schwefel, Phosphorsäure, Kali und Düngemittel umgeschlagen. Das Sheikh Sabah Al Ahmed LNG-Terminal besteht aus einer schwimmenden Speichereinheit (FSU) und einer Regasifizierungsanlage an Land mit einer Gesamtkapazität von 170.000 m³. Das LNG-Terminal wurde 2015 in Betrieb genommen und ist an die jordanische Gaspipeline angeschlossen. Das Terminal ermöglicht Jordanien den Kauf von LNG, z. B. aus Katar oder den VAE, aber auch die Wiederausfuhr von regasifiziertem LNG nach Ägypten über die Arab Gas Pipeline (Henderson, 2015). NEPCO importiert LNG vom internationalen Markt, indem es internationale Ausschreibungen durchführt. Das über dieser Plattform importierte Gas trägt ca. 87 % zur Stromerzeugung in Jordanien bei.

Im Vergleich zu Jordanien verfügt *Marokko* mit einer über 3.000 km langen Küste über eine Reihe von Häfen, die als wichtige Umschlagsplätze für Rohstoffe und Handel fungieren. An der Mittelmeerküste gibt es den zurzeit in Betrieb befindlichen Hafen Tanger Med und den im Bau befindenden Hafen Nador West Med, der 2022 in Betrieb gehen soll. An der Atlantikküste liegt der Hafen von Kenitra, der die Region um Rabat und Fes bedient und im Jahr 2030 2,5 Mio. LPG und 2,5 Mio. raffinierte Kohlenwasserstoffe umschlagen soll. Weiter südlich liegt der Hafen von Casablanca mit einer multifunktionalen Rolle im internationalen Handel und einem Phosphorterminal. Der Hafen von Mohammedia liegt vor Casablanca und besitzt ein Ölterminal. Der Hafen von Jorf Lasfar ist ein Bergbauhafen und hat infrastrukturelle Kapazitäten für Düngemittel, Schwefel, Ammoniak und Ölprodukte. Der Hafen von Safi liegt in der gleichnamigen Stadt und gehört ebenfalls zu den wichtigen Umschlagshäfen. Weiter südlich befindet sich der Hafen von Agadir, der den Import und Export

von verschiedenen Produkten wie z. B. landwirtschaftliche Lebensmittel, Mineralien, Öle usw. abwickelt.

Omans Seeverkehrsinfrastruktur ist ebenfalls sehr gut entwickelt. Zudem kann die strategische günstige Lage Omans in geografischer Nähe zu Europa, Asien und Afrika in Zukunft für den Export von grünem Wasserstoff oder synthetischen Folgeprodukten vorteilhaft sein. Da Oman nicht an der Meerenge von Hormuz liegt, in der es regelmäßig zu Piratenangriffen auf Schiffe kommt, sind die Versicherungskosten für Schiffstransporte niedriger, was sich in Zukunft auch positiv auf die Transportkosten für grüne Kraftstoffe auf Wasserstoffbasis auswirken kann.

Insgesamt verfügt Oman über fünf Seehäfen: Sohar (im Norden), zwischen Dubai und Muscat; Duqm (im Zentrum), der derzeit ausgebaut wird; Salalah (im Süden), der als Umschlagplatz und Brücke nach Ostasien dient; Port Sultan Qaboos, im Golf von Oman am Tor zum Arabischen Golf gelegen; und Port von Khasab. Der im Gouvernement Dhofar am Arabischen Meer gelegene Hafen von Salalah ist ein wichtiger Umschlagplatz und ein Tor zum Nahen Osten, zum indischen Subkontinent und nach Ostafrika. In Salalah hat die Oman Oil Company kürzlich ein Abkommen zur Errichtung eines mittelgroßen Terminals abgeschlossen. Am Hafen von Sohar wird ebenfalls an einem neuen Terminal sowie an der Erweiterung des South Oil Terminal gearbeitet. Der Hafen von Duqm, der noch in der Fertigstellung ist, umfasst eine 2.000 km² großen Sonderwirtschaftszone (SEZ), innerhalb derer sich Cluster für Raffinerien und Petrochemie, Leicht- und Schwerindustrie sowie Mineralienverarbeitung ansiedeln sollen. Die Industriehafenstadt Duqm soll zudem zum größten Container- und Frachtumschlagplatz der Welt mit einer Kapazität von 3,5 Mio. TEU¹ werden, mit einer Direktverbindung nach China und Indien. Auch ein schienengestütztes Güter- und Personenverkehrsnetz ist für das Industriegebiet geplant. Ebenfalls sind in Duqm bereits erste Entwicklungen von großtechnischen Produktionsanlagen für grünen Wasserstoff und grünen Ammoniak geplant.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass theoretisch in allen drei Ländern Öl-, Gas-, LNG- oder Ammoniakverladeinfrastrukturen bestehen, die zumindest theoretisch auch auf grünen Wasserstoff und synthetische Folgeprodukte umgerüstet werden könnten. Die technische Machbarkeit muss aber natürlich immer für den Einzelfall geprüft werden. Zusätzlich müssen für den großskaligen Export von grünem Wasserstoff oder synthetischen Folgeprodukten aber voraussichtlich in allen Ländern die vorhandenen Verladeinfrastrukturen ausgebaut und angepasst werden, um langfristig entsprechende Produkte in großen Mengen umschlagen zu können.

5.1.4 Speicherinfrastruktur und –potenziale

Ein ähnliches Bild wie für die Verladeinfrastrukturen lässt sich auch für die Speicherinfrastruktur und -potenziale zeichnen. In allen drei Ländern existieren Speicherkapazitäten für fossile Rohstoffe, allerdings müssten diese weiterausgebaut werden, damit der Export von grünem Wasserstoff und synthetischen Kraftstoffen konstant gewährleistet werden kann.

¹ 1 TEU = Zwanzig-Fuß Standardcontainer

In *Jordanien* befindet sich das größte Reservoir für Erdölprodukte in Amman mit einer Gesamtlagerkapazität von 439.000 m³. In Aqaba betreibt die Firma Noble Energy eine schwimmende Speicher- und Wiederverdampfungsanlage. Die Einheit, die aus einem LNG-Schiff besteht, verfügt über ein Gasspeicher- und Regasifizierungssystem, das eine Speicherkapazität von 160.000 m³ hat. Da der Leasingvertrag dieser Anlage bald ausläuft, wird sie durch das neue LNG-Terminal ersetzt werden. Zudem verfügt Jordanien über gute Erfahrungen und bedeutende Kapazitäten bei der Lagerung von Ammoniak und petrochemischen Produkten. Außerdem verfügt das Land über Salzkavernen in der Nähe von Amman und Aqaba, die bereits für die Lagerung von Erdgas genutzt werden. Es muss allerdings geprüft werden, ob die vorhandenen Salzkavernen für die Speicherung von grünem Wasserstoff oder anderen grünen Gasen ebenfalls in Frage kommen.

In *Marokko* konzentrieren sich die Lagerkapazitäten für Brennstoffe auf drei Häfen mit einer Gesamtkapazität von 1.165.970 m³. Auf den Hafen von Mohammedia, den wichtigsten Ölhafen des Landes, entfallen mehr als 37,4 % dieser Kapazitäten. Auf die Häfen Jorf Lasfar und Tanger Med entfallen 23 % bzw. 14,1 %. Mit den bestehenden Gas- und Ölspeichern kann Marokko seinen Bedarf für einige Monate decken. Diese Infrastrukturen könnten für die Lagerung von grünem Wasserstoff in gasförmiger oder flüssiger Form und synthetischen Brennstoffen umgerüstet werden. Gleichzeitig verwaltet die OCP-Gruppe am Hafen von Jorf Lasfar Lagertanks für Ammoniak. Einem Vertreter des Ausrüstungsministeriums zufolge wird auch der neue Hafen in Safi über Ammoniak-Lagertanks verfügen. Zudem wird die Entwicklung und der Bau einer schwimmenden LNG-Speicher- und Wiederverdampfungsanlage diskutiert (MEME, 2021). Dieses Projekt soll den marokkanischen Bedarf von 1,1 Mrd. m³ Gas, davon 0,6 Mrd. m³ für die Industrie (2025), 1,7 Mrd. m³, davon 0,7 Mrd. m³ für die Industrie (2030) und 3 Mrd. m³, davon 1,4 Mrd. m³ für die Industrie (2040), decken. An welchem Standort dieses Projekt umgesetzt werden soll, ist noch nicht entschieden, in Frage kommen Nador West Med an der Mittelmeerküste, Kenitra im Norden der Atlantikküste, Jorf Lasfar oder Mohammedia. Die Anlage soll an ein Gaspipelinnetz angeschlossen werden. Marokko verfügt wie Jordanien ebenfalls über Salzkavernen. Laut Expert*innen gibt es drei Regionen mit hohem Potenzial für die Speicherung von grünem Wasserstoff in Salzkavernen: die Region Safi-Essaouira, die Region Mohammedia Benslimane und die Region Tanger. Die Eignung dieser Lagerstätten für grüne Gase muss jedoch noch untersucht werden.

Im *Oman* befinden sich ebenfalls mögliche Speicherstätten. Dazu zählt zum Beispiel das in der Nähe von Muscat gelegene Öllager Al Jefnain, das ein Zentrum für die Lagerung und den Vertrieb von Erdölprodukten mit einer Kapazität von mehr als 170.000 m³ ist. Aktuell wird ebenfalls der Bau von acht Tanks zur Lagerung von Rohöl durch die Tank Terminal Company geplant. Diese Tanks sollen an einer neuen Raffinerie in der Nähe von der Stadt Duqm am Arabischen Meer liegen. Eine Umstellung auf eine Wasserstoffspeicherung sollte nach Auskunft von Expert*innen theoretisch möglich sein. Insgesamt schätzen Expert*innen eine Umrüstung der Raffinerie- und Logistikinfrastuktur auf synthetische Folgeprodukte als umsetzbar ein, angesichts der rückläufigen Ölproduktion. Allerdings wird betont, dass der endgültige Verwendungszweck von grünem Wasserstoff bestimmen wird, wie er transportiert und schließlich gespeichert wird.

Insgesamt verfügen somit alle Länder über potenzielle Speicheroptionen. In Jordanien konzentrieren sich diese um den Hafen von Aqaba, der strategisch eine wichtige Rolle für die mögliche Entwicklung eines Wasserstoffexportsektors spielen könnte. Entsprechend bietet es sich an, hier die Umsetzung von Infrastrukturmaßnahmen zu prüfen. Auch Marokko verfügt über eine gute Infrastruktur an den Seehäfen, für den Transport sowie mögliche Speicherorte für grünen Wasserstoff und synthetische Folgeprodukte. Das Gleiche gilt für den Oman, der als Öl- und Erdgasproduzent über sehr umfangreiche Speicherinfrastrukturen verfügt. Letztlich wird die Infrastrukturentwicklung aber stark vom zu exportierenden Produkt abhängen.

5.2 Industriestrukturen

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Analyse bestehender und geplanter Industriestrukturen mit Relevanz für den Aufbau eines Exportsektors für grünen Wasserstoff und synthetische Folgeprodukte in den drei ausgewählten Ländern zusammengefasst. Die analysierten Industriestrukturen umfassen Industriezonen und -parks, chemische Industrie, Raffinerien und die erneuerbare Energieindustrie.

5.2.1 Allgemeine Situation

Insgesamt spielt der Industriesektor in allen drei untersuchten Ländern gesamtwirtschaftlich eine wichtige Rolle. Während die Industrie im Oman mehr als 50 % zum Bruttoinlandsprodukt (BIP) beiträgt, liegt der Anteil in Jordanien und Marokko bei rund einem Viertel (GTAI, 2022a). In allen drei Ländern ist daneben insbesondere der Dienstleistungssektor von Bedeutung für die Gesamtwirtschaft.

Jordanien verfügt beispielsweise über einen sehr dynamischen und auch innovativen Privatsektor (FES, 2011), der von einem unternehmensfreundlichen Umfeld, einem starken Bankensektor sowie hochqualifizierten Arbeitskräften profitiert. Da die lokale Nachfrage im Vergleich zu Nachbarländern wie Ägypten und Saudi-Arabien begrenzt ist, konzentriert sich Jordanien in vielen Bereichen auf den Export. Hier hat das Land Sektoren mit hoher Wertschöpfung entwickelt, wie z. B. Pharmazie, Information und Technologie sowie Ingenieursdienstleistungen. Im Industriesektor verfügt Jordanien über eine wettbewerbsfähige chemische Industrie, die sich auf die Herstellung von Düngemitteln konzentriert. Insgesamt erwirtschaftet der Industriesektor jährlich Exporteinnahmen im Wert von bis zu 9 Mrd. USD, beschäftigt rund 245.000 Arbeitnehmer*innen (21 % der jordanischen Gesamtbeschäftigten) und zählt 18.000 Industrieunternehmen. Die jordanische Regierung plant im Rahmen der Entwicklungsstrategie Jordanien 2025 den direkten Beitrag der Industrie zum BIP bis 2025 auf 27,4 % zu erhöhen. Außerdem will das Land seine hochqualifizierten Arbeitskräfte und Humanressourcen nutzen, um den Export von Industrieerzeugnissen zu steigern.

Marokko hat ebenfalls einen starken Industriesektor, mit Unternehmen, die über Fähigkeiten und Kapazitäten in den Bereichen Baumaterialien, Beton, Zement, Stahl und Tiefbauleistungen verfügen, die auch für den Aufbau von Basisinfrastrukturen für erneuerbare Energien und grüne Wasserstoffprojekte relevant sind. Ebenso können die vorhandenen elektrochemischen, elektromechanischen und metallurgischen Industriebetriebe zur Entwicklung des marokkanischen Wasserstoffsektors beitragen. Zudem gibt es Niederlassungen von internationalen Firmen, die sogenannte

EPC-Dienstleistungen (Engineering, Procurement and Construction) anbieten und für die Planung, Herstellung und Errichtung von Flüssigwasserstoffkesseln, Elektrolyseanlagen, Umwandlung von grünem Wasserstoff und Installationen involviert werden können. Für die Durchführung von Machbarkeitsstudien und die Planung von erneuerbaren Energie- und Meerwasserentsalzungsanlagen existieren mehrere lokale sowie marokkanische Niederlassungen internationaler Beratungs- und Ingenieurbüros mit einschlägigem Fachwissen und technischen Erfahrungen. Nach Angaben des „grünen Wasserstoff-Clusters“ in Marokko haben zudem auch die in Marokko aktiven Erdölgesellschaften Kapazitäten, um Vertriebsstrukturen für grünen Wasserstoff und Folgeprodukte zu entwickeln.

Auch *Oman* verfügt über bedeutende Industriestrukturen, die im Vergleich zu den anderen beiden Ländern noch wesentlich relevanter für die Entwicklung eines grünen Wasserstoffsektors sein können. So stellen chemische und raffinierte petrochemische Produkte bereits heute einen bedeutenden Teil der Industrieproduktion Omans dar, dazu gehören beispielweise Düngemittel, Farben und Reinigungsmittel. Das wichtigste Exportprodukt bleibt aber weiterhin Rohöl. Daneben wird auch Erdgas in Form von LNG aus dem Oman exportiert. Der Großteil der omanischen LNG-Exporte geht nach Japan und Südkorea. Es ist davon auszugehen, dass die Öl- und Gasindustrie auch in Zukunft weiterwachsen wird. Daneben sind aber auch andere Industriezweige wie Stahl, Zement, Metall und Bergbau, Chromit, Papier und Keramik im Oman von Bedeutung. Außerdem besitzt Oman auch Vorkommen nichtmetallischer Mineralien wie Gips, Kalkstein, Gabbro, Marmor, Kaolin, Quarz, Ton, Basalt, Pottasche und Dolomit, die exportiert werden können. Zudem ist das Ziel der Regierung, die Wettbewerbsfähigkeit von weiteren Exportprodukten (u. a. Stahl, Aluminium) zu verbessern und die "grüne" industrielle Fertigung im Einklang mit der Fertigungsstrategie 2040 auszubauen. Insgesamt hat sich Oman in seiner Vision 2040 das langfristige Ziel gesetzt, seine Wirtschaft stärker zu diversifizieren.

5.2.2 Industriezonen und -parks

Zur Förderung der Ansiedlung von Industrieunternehmen werden in vielen Ländern sogenannte Industriezonen oder -parks geschaffen, um unternehmerische Einzelaktivitäten zu bündeln und dadurch Synergien für die Unternehmen und die zuständigen Verwaltungseinheiten zu schaffen. Als Anreize für Unternehmen, sich in diesen Gebieten anzusiedeln, werden zudem teilweise Infrastrukturen bereitgestellt oder finanzielle Anreize, wie beispielsweise Steuervorteile, angeboten. Auch für die Entwicklung von grünen Wasserstoffprojekten können diese Art von Industriezonen oder -parks eine Rolle spielen.

Die *jordanische* Regierung hat bereits mehrere Industriezonen und -plattformen für die Ansiedlung von Industriebetrieben, Anlagen und Produktionsstätten geschaffen. Diese Plattformen verfügen über eine gute Infrastruktur und bieten gute Bedingungen für Investitionen in das verarbeitende Gewerbe. Das südliche Industriegebiet befindet sich an der Grenze zu Saudi-Arabien und ist an den Hafen Aqaba angebunden. Die hier angesiedelten Industrien sind fast ausschließlich in der Erzeugung von Düngemitteln tätig. Die in Aqaba gelegene Sonderwirtschaftszone ist ein internationaler Dreh- und Angelpunkt für regionale und internationale Märkte. Der Industriekomplex Aqaba (AIIE) befindet sich in dieser SEZ und bietet eine Plattform für

Produktion, Logistik und Lagerung. AIIE ist ein Standort für Metallbau, Baumaterialien, erneuerbare Energien und Energieeffizienzsysteme, Lebensmittel- und Getränkeverarbeitung, Logistik und Dienstleistungen, Kunststoffprodukte und LED-Technologien. Neben der Solarenergieanlage in Maan befindet sich die „Maan Development Zone“ (Maan Entwicklungszone) mit einem 250 ha großen Industriepark. Im Industriepark befinden sich Leicht-, Mittel- und Schwerindustrien und Betriebe der Bau-, Elektro- und Chemieindustrie siedeln sich hier ebenfalls an. Das Abdullah II Ibn Al-Hussein Industrial Estate befindet sich südöstlich von der Hauptstadt Amman, hier sind mehr als 400 mittlere und kleine Industrieunternehmen angesiedelt. Im Nordosten liegt der Hallabat Industriepark, der mit den Nachbarländern Syrien, Saudi-Arabien und dem Irak vernetzt ist. Die „Mafraq Development Zone“ (Mafraq Entwicklungszone) liegt etwa 60 km nordöstlich von Amman am Knotenpunkt des Autobahnnetzes, das Jordanien, Syrien, Irak und Saudi-Arabien verbindet. Schließlich befindet sich das Industriegebiet Al Muwaqar nahe Amman, das ebenfalls durch die internationale Fernstraße an den Irak und Saudi-Arabien angebunden ist. Die Plattform ist mit hochmoderner Infrastruktur ausgestattet und Dienstleistungsbetriebe im Bereich Elektronik, Lebensmittel- und Getränkeindustrie, Elektroindustrie, Metall und Chemie haben sich hier angesiedelt.

Auch in *Marokko* bestehen verschiedene Industriezonen und -parks. Die marokkanischen Plattformen der chemischen Industrie befinden sich in Jorf Lasfar, Safi und Mohammedia. In Nador wird derzeit eine weitere Industriezone geplant. Der Industriepark Jorf Lasfar liegt unmittelbar in Hafennähe und ist auch gut an das Autobahn- und Schienennetz angebunden. Diese Industriezone dient vornehmlich zur Lagerung von Phosphorrohstoffen, Gips und Ammoniak und ist an Meerwasserentsalzungsanlagen, das Stromübertragungsnetz sowie Wind- und Solarenergiekraftwerke angeschlossen. Im Industriekomplex Safi ist OCP mit drei Einheiten tätig: Maroc Chemie, Maroc Phosphore 1 und Maroc Phosphore 2. In diesen Anlagen werden Schwefel- und Phosphorsäure sowie Düngemittel hergestellt. Die Industriezone von Mohammedia ist mit verschiedenen Gas- und Ölpipelines verbunden und hat selbst ein Ölterminal, zudem sind dort mehrere Industriezweige, die Wasserstoff verbrauchen (Stahl, Metallurgie, Ölraffinerie, Glas, Automobil, Elektronik), angesiedelt. Die geplante Industriepattform in Nador West Med befindet sich an der Mittelmeerküste im Nordosten und wird bei Fertigstellung 1.500 ha groß sein. Die Regionen Oriental, Draa Tafilalt, Taza, Midelt sowie die Gebirgsregionen im Rif und Atlas könnten diese Industriezone mit Wind- und Solarenergie versorgen.

Im *Oman* gibt es vier wichtige Standorte für die petrochemische Industrie, die sich aber teilweise noch in Bau befinden. Alle diese Industriekomplexe befinden sich an der Küste und sind über den Schiffsverkehr gut angebunden. Auf der Plattform Sohar, im Norden Omans, plant OQ zwei Industriekomplexe, den Liwa Plastics Industries Complex und das Sohar Refinery Improvement Projekt. Etwas weiter südlich von Muscat und noch an der Nordküste gelegen entsteht in der Industriezone Sur eine Harnstoffanlage und ein Raffineriekomplex. In der SEZ von Duqm, das im Zentrum an der Küste Omans liegt, entsteht der Industriehafen Duqm. Hier sind verschiedene Projekte geplant. Unter anderem entstehen petrochemische Anlagen (mit Streamcrackern), Methanolanlagen, Essigsäure- und Sebacinsäureanlagen, Natriumcarbonat- und Schwefelproduktionsstätten. Die Fertigstellung dieser Anlagen ist bis 2024

geplant. Außerdem sind, wie schon in Kapitel 2.2 geschildert, am Industriehafen Duqm verschiedene Wasserstoffprojekte geplant, u. a. der HYPOR[®] Duqm mit einer geplanten Elektrolyseleistung von 500 MW.

In allen drei Ländern bestehen somit bereits Industriezonen und -parks, die sich teilweise auch für die Ansiedlung von Unternehmen im Bereich grüner Wasserstoff eignen bzw. wo im Fall von Duqm im Oman auch schon erste grüne Wasserstoffprojekte ansiedeln. Neben der Ansiedlung in bereits bestehenden Industriezonen wäre es aber auch denkbar, neue Innovationszentren und -parks aufzubauen, zum Beispiel um die Entwicklung und Herstellung von Elektrolyseuren im eigenen Land zu unterstützen. Dafür eignen sich Partnerschaften mit internationalen Unternehmen sowie F&E-Zentren und Universitäten, um Wissen entlang der Wasserstoffwertschöpfungskette aufzubauen. In Marokko existiert beispielsweise der „Green Energy Park“ als Teil einer Test- und Forschungsplattform für Solarenergie am Standort Ben Guerir, der von der Forschungseinrichtung IRESEN in Partnerschaft mit der Polytechnischen Universität Mohammed entwickelt wurde. IRESEN plant in naher Zukunft, weitere Forschungsplattformen aufzubauen, u. a. den „Green Hydrogen & Applications Park“ (Green H₂A), der eine wichtige Rolle bei der industriellen Entwicklung der grünen Wasserstoffbranche und ihrer Anwendungen in Marokko spielen soll.

5.2.3 Chemische Industrie

Allgemeine Situation

Die chemische Industrie ist bereits heute ein wichtiger Wasserstoffverbraucher und -produzent. Im Zuge der Anstrengungen zur Dekarbonisierung wird die Rolle der chemischen Industrie sowohl bei der Nutzung als auch bei der Produktion von grünen Wasserstoffderivaten weiter zunehmen. Entsprechend sind bestehende Erfahrungen und Kompetenzen im Bereich der Chemieindustrie auch relevant für den Aufbau eines Exportsektors für grünen Wasserstoff und speziell für synthetische Folgeprodukte.

Jordanien ist ein wichtiger Produzent und Lieferant von Brom, Phosphatgestein und Düngemitteln auf Phosphatbasis sowie Kali. Die chemische Industrie in Jordanien wird hauptsächlich von vier Sektoren dominiert: Ö raffinerieprodukte, anorganische Chemikalien (hauptsächlich Grundchemikalien), organische Chemikalien und Düngemittel. Die Aktivitäten der chemischen Industrie konzentrieren sich auf Sonderzonen bzw. in der Nähe von Aqaba, Amman und Irbid. Der Umsatz der chemischen Industrie belief sich im Jahr 2018 auf 5,5 Mrd. USD und beschäftigte 2016 rund 14.800 Personen. Mit Exporteinnahmen von rund 2 Mrd. USD trug dieser Sektor 2018 zu 25,8 % der Gesamtexporte bei.

Die chemische Industrie in *Marokko* zählt etwa 2.500 Unternehmen (26 % der Industrieunternehmen des Landes), mit OCP SA als führende Industriegruppe. Insgesamt erwirtschaftete die chemische Industrie in Marokko 2018 einen Umsatz von 10,1 Mrd. USD und tätigte Investitionen in Höhe von 773 Mio. USD. Die Regierung hat sich zum Ziel gesetzt, die Entwicklung dieses Sektors weiter zu konsolidieren und hat eine Partnerschaft mit OCP unterzeichnet, um Synergien in den Phosphatwertschöpfungsketten zu schaffen. Außerdem unterzeichnete die Regierung

Partnerschaften mit dem Chemieverband, um die Chemieindustrie weiterzuentwickeln (Industries du Maroc, 2018).

Die Kapazitäten der *omanischen* petrochemischen Industrie sind in den letzten fünf Jahren geringfügig gestiegen. Laut dem Golfverband für Petrochemie und Chemikalien (GPCA) lagen die Produktionskapazitäten der omanischen petrochemischen Industrie 2018 bei 10,9 Mio. Tonnen, bis 2027 sollen die Kapazitäten allerdings auf 22 Mio. Tonnen verdoppelt werden (Espey, 2020). Bereits heute ist die Petrochemie eine der wichtigsten Industriesparten mit einem Anteil von 50 % am verarbeitenden Gewerbe im Oman in 2020 (Espey, 2021a). Insgesamt machen die Industrie und der Bergbau zusammen 45,5 % des BIPs 2019 aus (GTAI, 2022b).

Ammoniak

Ein wichtiger Rohstoff in der Chemieindustrie ist Ammoniak, die am zweithäufigsten produzierte synthetische Chemikalie der Welt. Ammoniak ist ein wichtiger Rohstoff für die Herstellung von Phosphatdüngern in allen drei untersuchten Ländern.

Jordanien importiert seit 2014 Ammoniak für die neue etablierte Düngemittelproduktion. Vor 2014 exportierte Jordanien hauptsächlich Phosphat als Rohstoff. Die Unternehmen, die Düngemittel herstellen, diskutieren bisher noch nicht öffentlich über die Verwendung von grünem Ammoniak, doch mehreren Vertreter*innen des Industriesektors zufolge wird die Produktion von grünem Ammoniak begrüßt, sobald sie wirtschaftlich attraktiv ist. Zu den Düngemittelproduzenten zählen in Jordanien Nippon, die Phosphatminengesellschaft, First Chemical Industries, Jordan Arab for Chemical Industries und KEMAPCO Arab Fertilizers & Chemicals Industries Ltd. Neben Düngemittel produzieren einige dieser Unternehmen auch Phosphatsäure, Phosphat, Aluminiumfluorid, Diammoniumphosphat, Schwefelsäure, Sulfat-Kali, Salzsäure und Kaliumnitrate.

Die *marokkanische* OCP-Gruppe importiert ebenfalls Ammoniak und verwendet es für die Herstellung von Düngemitteln (L'Economiste, 2017). Der Bedarf stieg von 0,8 Mio. Tonnen im Jahr 2013 auf 1,8 Mio. Tonnen im Jahr 2018. Die Gruppe betreibt ein Ammoniakimportterminal am Hafen von Jorf Lasfar sowie Lagerhallen mit einer Umschlagskapazität von 6 Mio. Tonnen pro Jahr. OCP importiert derzeit den Großteil seines Ammoniakbedarfs aus Russland und der Ukraine. Außerdem baut die Gruppe in Nigeria eine eigene Ammoniakfabrik mit einer Produktionskapazität von 0,75 Mio. Tonnen pro Jahr auf (Telquel, 2019). OCP hat sich dazu verpflichtet, langfristig grünen Ammoniak zu verwenden. Ein Pilotprojekt soll dazu in Kürze starten und später auf eine Jahresproduktion von 0,6 Mio. Tonnen ausgeweitet werden (OCP 2019b).

Im *Oman* wird hingegen bereits heute Ammoniak produziert. Die Ammoniakproduktion macht zusammen mit der Methanolproduktion den größten Teil der industriellen Nutzung von Wasserstoff im Oman aus. Derzeit sind zwei Düngemittelfabriken in Betrieb: Sohar International Ureal & Chemical Industries LLC (SIUCI) mit einer Ammoniakproduktionskapazität von 2.000 Tonnen pro Tag und einer Harnstoffanlage mit 3.500 (2 x 1.750) Tonnen pro Tag, und Oman India Fertiliser Company SAOC (OMIFCO) mit einer Kapazität von 3.500 (2 x 1.750) Tonnen Ammoniak pro Tag und 5.060 (2 x 2.530) Tonnen granuliertem Harnstoff pro Tag.

Wasserstoff

Auch heute schon wird Wasserstoff aus fossilen Quellen in der Chemie- und Stahlindustrie genutzt. Neben dem potentiellen Export von grünem Wasserstoff oder synthetischen Folgeprodukten kann in diesen Sektoren in Zukunft auch eine Nachfrage nach grünem Wasserstoff in den Ländern selber entstehen, z. B. bei der Umstellung der Primärstahlerzeugung auf wasserstoffbasierte Direktreduktionsverfahren mit Elektrolichtbogenöfen.

Heute wird Wasserstoff, nach Angaben eines Experten aus dem Industriegassektor, in *Jordanien* von drei Unternehmen vertreiben. Die Nachfrage nach Wasserstoff ist aber begrenzt und kommt vor allem aus dem Forschungs- und Entwicklungsbereich. Das Industriegasunternehmen RUM stellt keinen Wasserstoff in seinen Fabriken in Jordanien her, sondern importiert Wasserstoffflaschen, die dann wiederum an Abnehmer in der Erdölraffinerie, dem Wetteramt und verschiedenen Laboren weiterverkauft werden. Das Petrochemische Unternehmen Intermediate Petrochemical Industries Ltd. nutzt Wasserstoff und produziert u. a. für den lokalen Markt Produkte wie Polyvinylchloridverbindungen, ungesättigte Polyesterharze, organische Peroxide, organische Lösungsmittel, Harnstoff- und Phenolformaldehydharze und Weichmacher, während das sich das Chemieunternehmen National Chlorine Industries Ltd. auf Chlor, Ätznatron, Salzsäure und Hypochlorit fokussiert. National Chlorine Industries Ltd. verwendet hierzu Wasserstoff als Brennstoff für die Wärme- und Dampferzeugung. Die Stahlproduktion ist ein weiterer Nachfrager von Wasserstoff in Jordanien. Unternehmen wie National Steel, Jordan Steel Group, Techno Steel Pipes and Tubes Factory und Gulf Steel Industries sind im Königreich aktiv. Zum Beispiel produziert Techno Steel Pipes and Tubes Factory jährlich 120.000 Tonnen Stahlrohre, die an den lokalen, aber auch irakischen oder Golf-Markt gehen.

In *Marokko* gibt es laut dem Industrie- und Handelsministerium sechs Unternehmen, die Industriegase herstellen und vermarkten. Die zwei führenden Unternehmen sind Maghreb Oxygène und Air Liquide Maroc. Die anderen Unternehmen sind Flo-sit, Axair, Oxynord und Mroxyco (Maghreb Oxygène, 2017). Außerdem produzieren SNEP und COELMA (Marokkanisches Chemieunternehmen) Wasserstoff als Nebenprodukt bei der Herstellung von Chlor, Bleichmittel und Natriumcarbonat. SNEP verwendet den Wasserstoff intern für seine industriellen Prozesse, während COELMA den produzierten Wasserstoff an Air Liquide Maroc verkauft. Maghreb Oxygène produziert in Marokko verschiedene Industriegase, darunter auch Wasserstoff. Das Unternehmen liefert Gase an die Industrie, die Lebensmittelindustrie, den Forschungs- und Entwicklungssektor und das Gesundheitswesen. Das Unternehmen verfügt über zwei Fabriken in der Nähe von Casablanca, mit einer Gesamtjahreskapazität von 800.000 m³ Wasserstoff. Der Wasserstoff wird u. a. mit einem Elektrolyseur mit einer Kapazität von 500 kWe geliefert und von John Cockerill erzeugt. Nach Angaben des Geschäftsführers von Maghreb Oxygène (Maghreb Oxygène 2017) ist der lokale Markt für Wasserstoff in Marokko jedoch begrenzt. Die derzeitigen Anwendungen sind in Ölraffinerien, Betrieben der Metallurgie, in der Lebensmittelverarbeitung und in der Elektronikindustrie sowie bei der Kühlung von Kraftwerken. Weiterer Wasserstoffbedarf besteht auch in der Halbleiterindustrie, in der Wasserstoff eingesetzt wird, um eine Oxidation von Halbleitern zu vermeiden. Air Liquide

Maroc betreibt zudem eine Wasserstoffproduktionsanlage für Maghreb Steel, dem führenden Stahlproduzenten mit zwei Fabriken in der Umgebung von Casablanca. Die jährliche Produktionskapazität beläuft sich auf 0,5 Mio. m³ Wasserstoff pro Jahr.

In *Oman* wird Wasserstoff hauptsächlich in der chemischen Industrie verwendet. Insgesamt werden jährlich etwa 1,09 Millionen Tonnen grauer Wasserstoff benötigt, der als Ausgangsstoff für die Herstellung von Methanol (50 %) und Ammoniak (45 %) sowie in Ölraffinerien (5 %) verwendet wird (Ferrostaal, 2021). Eine weitere Nachfrage nach Wasserstoff besteht in der Stahlproduktion im Oman. Der Stahlsektor im Oman wächst, in den letzten Jahren hat die omanische Regierung erhebliche Investitionen in den heimischen Stahlsektor getätigt und 5 Mrd. USD für Entwicklungsprojekte bereitgestellt, um das Land zum führenden Stahlproduzenten des GCCs zu machen. In den Industriegebieten von Sohar und Raysut sollen zwei Stahlwerke gebaut werden. Entsprechend steigt auch die Nachfrage nach Wasserstoff in der Stahlproduktion. OQ – Omans globaler integrierter Energiekonzern – sieht nach eigenen Angaben auch zukünftig Potenzial für Investitionen in die grüne Stahlproduktion (Prabhu, 2021), wenn ausreichend Strom aus erneuerbaren Energien zur Verfügung steht.

Methanol

Methanol ist ein Schlüsselprodukt in der chemischen Industrie und weltweit ist die Produktion von Methanol einer der größten Wasserstoffverbraucher im Industriesektor. *Oman* ist einer der weltweit größten Exporteure von Methanol, das aus fossilen Brennstoffen gewonnen wird. Die Methanolanlage in der Industriezone von Sohar produziert 3.000 Tonnen Methanol täglich. Die von OQ betriebene Salalah Methanolanlage, die über eigene Stromerzeugungs-, Meerwasserentsalzungs- und Abwasseraufbereitungskapazitäten verfügt, produziert 3.000 Tonnen Methanol pro Jahr (Espey, 2021b). Ferrostaal hat zudem in der Industriezone von Sohar an der Küste Omans, 250 km nördlich von Muscat, eine weitere Methanolanlage mit einer Tageskapazität von 3.000 Tonnen (1,05 Mio. Tonnen pro Jahr) gebaut. Daneben gibt es vorhandene und geplante Methanol-to-Olefins (MtO) Anlagen (z. B. von OQ). Es gibt bereits erste Diskussionen im Oman über die Umstellung auf bzw. die zukünftige zusätzliche Produktion von grünem Methanol, um die erwartete internationale Nachfrage nach Methanol aus erneuerbaren Energien bedienen zu können. So hat beispielweise die Gulf Petrochemicals and Chemicals Association einen Schwerpunkt auf nachhaltige Entwicklung gesetzt.

In *Jordanien* und *Marokko* wird bisher kein Methanol produziert. Allerdings wird in Marokko die großformatige Produktion von grünem Methanol für den Export nach Europa diskutiert (IRENA, 2021).

5.2.4 Raffinerien

Jordanien verfügt über eine Ölraffinerie, die sich in Zarqa (35 km östlich von Amman) befindet. Ihre Produktionskapazität beträgt 60.000 Barrel pro Tag und eine Erhöhung der Kapazitäten auf 120.000 Barrel pro Tag wird derzeit diskutiert. Die Raffinerie stellt verschiedene Arten von Kraftstoffen und Petrochemikalien her.

Marokko hat zwei Ölraffinerien, die sich in Betrieb befinden, und eine, die derzeit in Planung ist (Abb. 5-3). Die Raffinerie von Samir steht in der Nähe von Mohammedia, wo sie durch ein Netz von Rohrleitungen mit dem Ölterminal am Hafen von Mohammedia, den Lagereinrichtungen und dem ONEE-Kraftwerk verbunden ist. Samir hat eine Produktionskapazität von 6,25 Mio. Tonnen pro Jahr und deckt 64 % des marokkanischen Marktes für raffinierte Produkte ab (47 % für Diesel, 60 % für Heizöl, 70 % für Supertreibstoff und 80 % für Kerosin). Sie verfügt auch über eine Lagerkapazität von schätzungsweise 2 Mio. m³ Erdölzeugnissen (CESE, 2020). Allerdings ist der Betrieb derzeit wegen eines Rechtsstreits zwischen den kreditgebenden Banken, dem Zoll und dem privaten Betreiber eingeschränkt. Die Regierung hält die Anlage instand und bemüht sich um eine Lösung des Rechtsstreits, indem sie einen neuen privaten Betreiber sucht. Nach Angaben eines ehemaligen Managers von Samir verfügt die Raffinerie über eine Wasserstoffproduktionsanlage mit einer Kapazität von 105.000 Nm³/h auf der Grundlage von Dampfreformierung. Die zweite marokkanische Raffinerie Sidi Kacem befindet sich nordöstlich von Rabat. Sie ist mit dem Hafen von Mohammedia über eine Pipeline verbunden. Die Raffinerie hat eine Verarbeitungskapazität von 30.000 Barrel pro Tag und eine Lagerkapazität von 190.000 m³ Erdölzeugnissen. Eine weitere Ölraffinerie soll in Nador West Med entstehen. Dafür hat das marokkanische Unternehmen Mya Energy eine Vereinbarung mit einem russischen Unternehmen unterzeichnet. Die Anlage soll ca. 2 Mrd. € kosten und nach der Anfangsphase über eine Verarbeitungskapazität von etwa 200.000 Barrel pro Tag verfügen (Kasraoui, 2019). Über den Entwicklungsstand dieses Projekts stehen derzeit keine Informationen zur Verfügung.

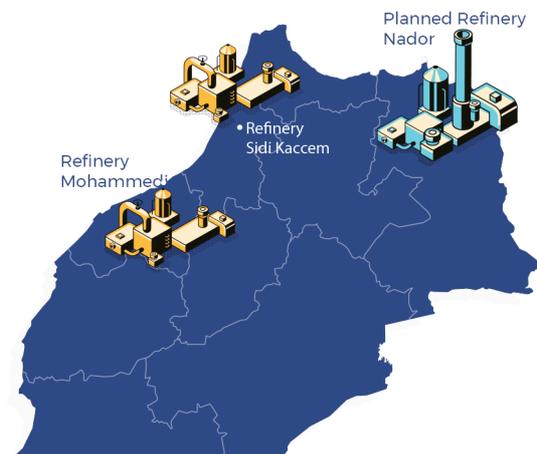


Abb. 5-3 Ölraffinerien in Marokko

Quelle: Jamea (2021)

Der Oman verfügt über zwei Raffinerien, Sohar und Mina al-Fahal, mit einer Gesamtraffineriekapazität von 304.000 Barrel pro Tag. Eine der Anlagen befindet sich in der nördlichen Industriestadt Sohar und wurde 2019 auf eine Kapazität von 198.000 pro Tag erweitert, wobei ein Großteil dieser Produktionssteigerung für die zusätzliche Produktion von Petrochemikalien in der Region verwendet wird. Auf dem

Raffineriegelände, das von OQ betrieben wird, stehen eine Aromatenanlage, ein Steamcracker und nachgeschaltete Polypropylen- und Polyethylenanlagen. Die ältere Anlage Mina al-Fahal mit einer Kapazität von 106.000 pro Tag befindet sich in der Nähe der Hauptstadt Muscat. Geplant ist zudem eine weitere Anlage, das sogenannte Duqm-Raffinerieprojekt mit einer Kapazität von 230.000 pro Tag. Die Anlage soll bei der Fertigstellung mit einer 80 km langen Pipeline, einem Rohöllager und einem Terminal für die Abfertigung von Produkten verbunden werden. Tab. 5-1 listet die vorhandenen Raffinerien in den untersuchten Ländern auf.

Tab. 5-1 Übersicht der Raffinerien in den untersuchten Ländern

Land	Raffinerie	Kapazität	
		Barrel pro Tag	Tonnen Barrel pro Jahr
Jordanien	Zarqa	60.000	12,50 Mio.
Marokko	Samir		
	Sidi Kacem	30.000	6,25 Mio.
Oman	Sohar	198.000	41,25 Mio.
	Mina al-Fahar	106.000	22,08 Mio.

Quelle: Horváth (2021); Jamea (2021); Jamea et al. (2021)

5.2.5 Zementindustrie

Die Zementproduktion ist eine mögliche Kohlenstoffquelle für die Erzeugung synthetischer Kraftstoffe. Pro erzeugter Tonne Zement werden 0,5-0,95 Tonnen CO₂ freigesetzt (IEA, 2021; Plaza et al., 2020). Die tatsächliche CO₂-Bilanz hängt vom Verhältnis von Klinker zu Zement ab.

Jordanien verfügt über fünf Zementwerke: Khaldeya in Al Zarqa, betrieben von Arab Company for White Cement Industry; Qatrana in Al Qatrana, betrieben von Arabian Qatrana Cement Company; Al Mafrq, im Besitz der Cementra Ltd. und Jordan Ltd. Pvt. Shareholding Co.; Rashadiyah, im Besitz der Jordan Cement Factories Company P.S.C.; Manaseer Cement in Al Qatrana, im Besitz der Manaseer Industrial Complex; und Al Muwaqar, im Besitz der Northern Cement Co. (Jordan) (CemNet, 2022). Die jährliche Kapazität der Zementproduktion ist von 4,4 Mio. Tonnen in 2014 auf 5,1 Mio. Tonnen in 2018 gestiegen (Statista, 2021).

Neben dem Phosphatsektor ist auch der Zementsektor ein wichtiger Industriezweig in *Marokko*, der 2017 13,8 Mio. Tonnen Zement produzierte (Terrapon-Pfaff und Amroune, 2018). Die Zementindustrie verzeichnet in den letzten Jahren nach einem Allzeithoch der Produktion im Jahr 2011 volatile Wachstumsraten. Der Zementabsatz stieg beispielsweise im Jahr 2016 an, um 2017 wieder um 2,5 % zurückzugehen. Trotzdem wird erwartet, dass die Branche in den kommenden Jahrzehnten, aufgrund der raschen Urbanisierung und des anhaltenden Infrastrukturausbaus im Land, langfristig wachsen wird. Der Sektor umfasst vier große Unternehmen, von denen sich eines im Besitz des marokkanischen Staates befindet und drei die Tochtergesellschaften ausländischer Unternehmen sind. Der größte Akteur in diesem Sektor ist LafargeHolcim Maroc (ein Zusammenschluss von Lafarge Ciments und Holcim Maroc) mit einer Kapazität von 13,2 Mio. Tonnen pro Jahr. Das zweitgrößte Unternehmen mit einer Produktionskapazität von 5,2 Mio. Tonnen pro Jahr ist Ciments

du Maroc, das zur Heidelberg Cement Group gehört. Ciments d'Atlas ist ein marokkanisches Unternehmen, das Ende 2010 in den Sektor eingestiegen ist und derzeit über eine Produktionskapazität von 3,2 Mio. Tonnen pro Jahr verfügt. Das vierte Unternehmen, Asment de Témara, ist eine Tochtergesellschaft des portugiesischen Unternehmens Cimpor und verfügt über eine Kapazität von 1,2 Mio. Tonnen pro Jahr (ibid.).

Im *Oman* deckt die lokale Produktion derzeit etwa die Hälfte des jährlichen Zementverbrauchs von 9 Mio. Tonnen. Der Branchenzeitung CemWeek zufolge wird der Zementverbrauch Omans bis 2023 voraussichtlich auf rund 11 Mio. Tonnen ansteigen. Der Oman hat fünf Zementwerke mit einer Gesamtkapazität von 11,5 Mio. Tonnen (Espey, 2022): Wadi Saa, im Besitz der Al Madina Cement Company LLC; Rusayl, im Besitz der Oman Cement Company (S.A.O.G); Salalah, im Besitz der Raysut Cement Company (RCC); Sohar Cement, im Besitz der Raysut Cement Company (RCC); und Dhofar Cement, im Besitz der Dhofar Cement Company L.L.C. Außerdem besitzt Oman zwei integrierte Zementfabriken und es befinden sich mehrere neue Anlagen in Entwicklung, darunter das 212 Mio. USD teure integrierte Zementwerk von OCC (Omanischer Zementkonzern) in der SEZ Duqm, das eine tägliche Produktionskapazität von 5.000 Tonnen (1,825 Mio. Tonnen pro Jahr) haben wird. Zudem wurde im August 2019 ein Vertrag über 11,7 Mio. USD für die Erweiterung des Zementwerks in der Hafen- und Freihandelszone von Sohar unterzeichnet.

5.2.6 Erneuerbare Energien-Industrie

Der Ausbau der erneuerbaren Energien ist eine der Hauptvoraussetzungen für den Aufbau eines Exportsektors für grünen Wasserstoff und synthetische Folgeprodukte. Entsprechend spielen auch die Kapazitäten und Expertise der erneuerbaren Energieindustrie in den Ländern eine wichtige Rolle für die Sektorentwicklung.

In *Jordanien* gibt es bereits lokale Kapazitäten zur Herstellung von Solarmodulen. Die Firma Philadelphia betreibt in Amman eine Fabrik zur Herstellung von Solarpanelen und dazugehörige Stahlmontagekonstruktionen. Die Fabrik stellt sowohl mono- als auch multikristalline Module her. Nach Angaben eines Vertreters des Unternehmens hat die Fabrik eine jährliche Produktionskapazität von 500 MW. Philadelphia liefert Module für lokale Projekte, exportiert aber auch Solarpanel in die MENA-Region und in andere Länder weltweit. Die Errichtung einer neuen Produktionsstätte für Solarmodule mit einer anfänglichen jährlichen Produktionskapazität von 36 MW, die in Zukunft auf 50 MW erhöht werden könnte, ist in Maan geplant. Die Regierung hat eine Aufforderung zur Interessensbekundung veröffentlicht, um einen Industriepartner für die Planung, Umsetzung und den Betrieb dieser Anlage auszuwählen. Die umfangreichen Siliziumreserven Jordaniens können zudem einen Wettbewerbsvorteil für den weiteren Ausbau der Produktionskapazität für Solarzellen im Land darstellen.

In *Marokko* ist die erneuerbare Energieindustrie bereits weiter ausgebaut. In den Technologien der Windenergie und Wasserkraft konnten bedeutende Kapazitäten entwickelt werden, die die lokale Industrie in eine Lage versetzt, alle erforderlichen Projektkomponenten mit Ausnahme von Turbinen und Generatoren liefern zu können. Die Integrationsrate der Industrie konnte bis 2021 auf rund 70 % gesteigert

werden, da nun eine bedeutende Anzahl an Rotorblättern, Türmen, elektrischen und elektronischen Komponenten lokal hergestellt werden. Nach Angaben eines Vertreters des nationalen Windenergieentwicklers soll 2022 eine zweite Fabrik zur Herstellung von Rotorblättern entstehen. Im Solarenergiesektor kann die lokale Industrie etwa 40 % der in den CSP-Projekten benötigten Komponenten herstellen, während für Solarmodule eine jährliche Produktionskapazität von 300 bis 400 MW vorhanden ist. Befestigungsstrukturen für Solarprojekte können ebenfalls von lokalen Unternehmen geliefert, montiert und installiert werden. Der lokale Metall- und Stahlsektor ist eine gut etablierte Industrie, die bereits zu Solar-, Wind- und Wasserkraftprojekten beigetragen hat. Materialien wie verzinkter Stahl und Langstahl für die Strukturierung und Beschichtung können lokal geliefert werden. Nach den Rückmeldungen des marokkanischen Verbands wäre es für die lokale Metallindustrie möglich, einen relevanten Anteil des Stahlbedarfs für erneuerbaren Energien-, Meerwasserentsalzungs- und grüne Wasserstoffprojekte zu decken. Die lokale Industrie für Komponenten und Technologien, die für den Bau und Betrieb von Stromübertragungsleitungen verwendet werden, ist ebenfalls gut entwickelt. Mehrere Komponenten wie Masten, Kabel, Isolatoren und Transformatoren können lokal hergestellt werden (mit Ausnahme von Hochspannungskonvertern).

Der *Oman* hat mit Oman Solar System Co. LLC einen umfassenden Dienstleister für Projektentwicklung bis zur Inbetriebnahme sowie Instandhaltung von PV-Systemen. Darüber hinaus gibt es auch Lieferanten wie die Abu Malak Global Enterprise, die auf elektronischen, elektromechanischen und mechanischen Zubehör für Solar-, Wind- und andere erneuerbare Energien spezialisiert sind. Solardampfgeneratoren werden von GlassPoint produziert, ein Unternehmen das Anlagen für die Öl- und Gasindustrie entwirft. Zusammen mit PDO arbeitet die Firma an einem erfolgreichen Pilotprojekt zur solargestützten tertiären Erdölförderung (Solar Enhanced Oil Recovery; AHK, 2019).

6 Diskussion der Ergebnisse im Hinblick auf die Annahmen und Modellanalysen im MENA-Fuels-Projekt

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass sowohl Jordanien als auch Marokko und Oman ein großes Potenzial für die Produktion und den Export von grünem Wasserstoff und synthetischen Folgeprodukten aufweisen. Die Entwicklungen zum Aufbau einer Wasserstoffwirtschaft sind allerdings in den Ländern bisher unterschiedlich weit vorangeschritten. Jordanien steht noch am Anfang, es gibt noch keine konkreten Zielsetzungen und bisher gab es nur wenige Aktivitäten sowohl von politischer Seite als auch von Seiten des Privatsektors. Marokko hingegen hat bereits eine Wasserstoffstrategie mit konkreten Exportzielen veröffentlicht. Auch im Oman befindet sich die Wasserstoffstrategie mit konkreten quantitativen Zielen kurz vor der Veröffentlichung. Zudem gibt es im Oman schon eine größere Anzahl von angekündigten Großprojekten und auch in Marokko sind bereits erste Demonstrationsanlagen in der Planung.

Vor dem Hintergrund der in den Kurzstudien erlangten Erkenntnisse werden im Folgenden einige zentrale Annahmen diskutiert, die im Rahmen der Energiemodellierung (→ *Teilberichte* 6, 7 und 10) getroffen wurden. Anschließend werden zentrale Ergebnisse der Modellierung und der Risikobewertung (→ *Teilbericht* 8) anhand der Kurzstudien validiert.

6.1 Einschätzung von Annahmen der Energiemodellierung

Produktionsstandorte für Wasserstoff und seine Folgeprodukte

Die großmaßstäbliche Entwicklung von Kapazitäten zur Produktion von grünem Wasserstoff und synthetischen Folgeprodukten muss allerdings durch die parallele Entwicklung von Transport- und Speichersystemen begleitet werden, welche die erneuerbaren Energiequellen mit den inländischen und ausländischen Nachfragezentren verbindet. Die effiziente Gestaltung der Infrastruktur wird maßgeblich von der Wahl der Produktionsstandorte abhängen – sei es in industriellen Zentren an der Küste, wo der direkte Export möglich ist, aber der Stromtransport aus dem Landesinneren erforderlich ist, oder in der Nähe der erneuerbaren Energiekapazitäten, die meist weiter im Inland liegen und entsprechenden Transport der Produkte erfordern. In den Kosten-Potenzial-Analysen von MENA-Fuels wurde vereinfacht angenommen, dass die Produktion am nächstgelegenen Hafen stattfindet (sogenannter *Harbor-site-Ansatz*, siehe dazu → *Teilbericht* 10). Dies entspricht weitestgehend auch den aktuellen Diskussionen und Projektplanungen in den analysierten Ländern.

In *Jordanien* gibt es nur einen Hafenstandort Aqaba, in dessen Nähe es auch bereits mehrere Solar- und Windenergieprojekte gibt. Außerdem sind in der Region chemische Industrien, Düngemittelproduktionsanlagen sowie Seehafeninfrastrukturen für den Umschlag von Industrieprodukten wie Ammoniak, Flüssiggas und petrochemische Terminals angesiedelt. Entsprechend stellt Aqaba auch einen potenziellen Hub für die Produktion von grünem Wasserstoff bzw. synthetischen Kraftstoffen dar. Darüber hinaus wäre der Aufbau von zwei weiteren grünen Wasserstoff-Hubs sinnvoll (Abb. 6-1). Der erste könnte im Großraum Amman entstehen, der aber weniger dem Export als der Versorgung der lokalen Industrie in Amman und in den nördlichen

Gebieten Jordaniens dienen würde. Ein weiterer Wasserstoff-Hub könnte in der Nähe der Stadt Maan aufgebaut werden, wo hohe Solarpotenziale bestehen und bereits mehrere Solarenergieprojekte und auch chemische Industrien angesiedelt sind. Dieses Zentrum könnte auf den Export ausgerichtet sein, da die Region Maan relativ nah am Seehafen von Aqaba liegt und durch Pipelines mit dem Hafen verbunden werden könnte.

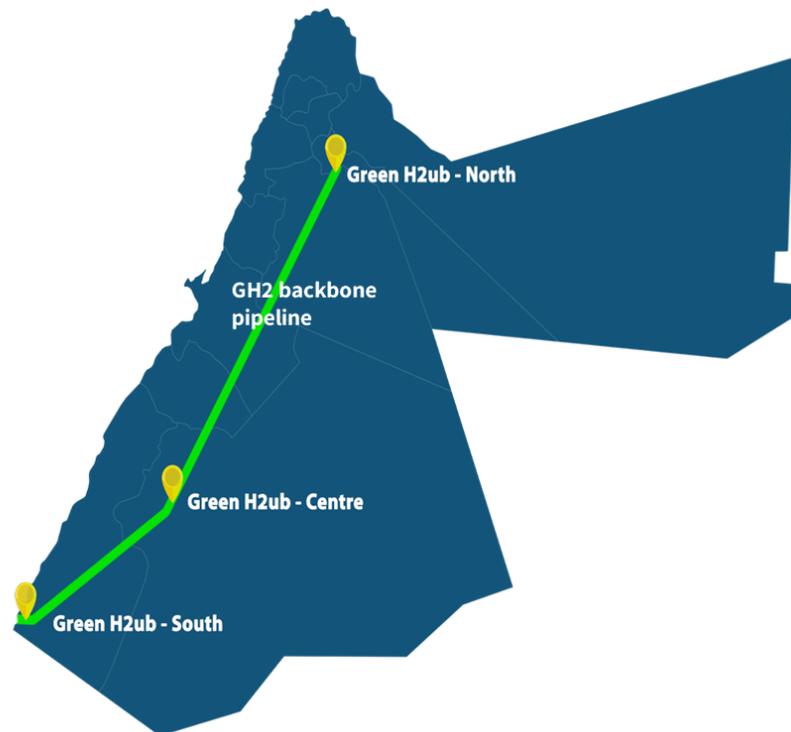


Abb. 6-1 Potenzielle grüne Wasserstoff-Hubs in Jordanien

Quelle: Jamea et al. (2021)

Für *Marokko* wäre ebenfalls der Aufbau der Produktion von grünem Wasserstoff und synthetischen Kraftstoffen entlang der Küste sinnvoll. Marokko verfügt über mehrere Seehäfen, die sich als Standorte anbieten.

Auch *Oman* verfügt über eine gut ausgebaute Seeverkehrsinfrastruktur mit drei Seehäfen und zwei Industrieläfen, die an den globalen Handelsrouten zwischen Europa und Asien liegen und das Potenzial haben, zu wichtigen Knotenpunkten für den Handel von grünem Wasserstoff bzw. synthetischen Folgeprodukten zu werden. Im Hafen von Duqm wird derzeit die größte Sonderwirtschaftszone des Landes eingerichtet, die Raffinerien, Petrochemie, Leicht- und Schwerindustrie sowie Mineralienverarbeitung umfassen soll. Hier gibt es mit dem Projekt HYPOR[®] Duqm auch bereits konkrete Projektplanungen für die Erzeugung von grünem Wasserstoff bzw. grünem Ammoniak. Neben der erwarteten Entwicklung von Hafenstandorten zu Produktionsstandorten für grünen Wasserstoff und synthetische Folgeprodukte wurde im Rahmen von MENA-Fuels-Stakeholderdialogen im Oman von Entscheidungsträgern aber ebenfalls geäußert, dass aufgrund der begrenzten Landverfügbarkeit in Hafennähe ebenfalls die Produktion im Inland in unmittelbarer Nähe der erneuerbaren

Energieerzeugung denkbar wäre. Natürlich müsste dann entsprechend Wasser an diesen Standorten verfügbar gemacht werden.

Insgesamt lässt sich somit festhalten, dass in allen drei Ländern die Produktion in Hafennähe angedacht wird, so wie es in den Kosten-Potenzial-Analysen auch angenommen wird. Darüber hinaus sind aber auch weitere Standorte im Inland denkbar. Die effizienteste und kostengünstigste Alternative muss selbstverständlich immer für den Einzelfall geprüft werden und hängt auch von der verfügbaren Transport- und Speicherinfrastruktur ab. Hier wurde im Rahmen der Kurzstudien in Bezug auf die Infrastrukturvoraussetzungen in allen drei Ländern ein Ausbaubedarf festgestellt. Insbesondere bei den Übertragungskapazitäten im Stromsektor besteht Ausbaubedarf, um die großen zusätzlichen Mengen an erneuerbarem Strom, der für die Wasserstoffherstellung benötigt wird, zu den potenziellen Produktionsstandorten an der Küste zu transportieren.

Bedarf an Wasserentsalzungsanlagen

Im MENA-Fuels-Projekt wurde zudem die Annahme getroffen, den Wasserbedarf für die Erzeugung von grünem Wasserstoff über Wasserentsalzung zu decken, um eine nachhaltige Produktion in den wasserarmen und wassergestressten Ländern der MENA-Region zu ermöglichen. Während in Einzelfällen gegebenenfalls auch auf andere Wasserquellen zurückgegriffen werden kann, wurde diese Annahme im Rahmen der Fallstudienanalyse von den Stakeholdern und Entscheidungsträgern bestätigt. Entsprechend ist es notwendig, die Entsalzungskapazitäten in allen drei Ländern für die Erzeugung von grünem Wasserstoff auszubauen. Im Oman wurde von Entscheidungsträgern empfohlen, dass nicht für jedes grüne Wasserstoffprojekt eigene Wasserentsalzungsanlagen gebaut werden, sondern dass die Wasserentsalzung eventuell besser in größeren, zentralisierten Anlagen stattfinden sollte. Das würde allerdings umfangreiche Abstimmungen sowie weitere Transportleitungen zu den Produktionsstandorten erfordern. In Jordanien könnte die Bereitstellung von entsalztem Wasser zum Engpass werden, da das Land nur über einen sehr schmalen Küstenabschnitt und bisher nur begrenzte Wasserentsalzungskapazitäten verfügt (weitere sind in Planung) und die Bevölkerung bereits heute unter Wasserknappheit leidet. Insgesamt ist nicht auszuschließen, dass es auch bei der Nutzung von entsalztem Wasser für die grüne Wasserstoffproduktion zu Nutzungskonkurrenzen und Konflikten kommen kann. Hier besteht weiterer Forschungsbedarf.

Geeignete Kohlenstoffquellen

Als Kohlenstoffquelle zur Erzeugung synthetischer Kraftstoffe wird im MENA-Fuels-Projekt sowohl der Einsatz von DAC als auch die Nutzung fossilen CO₂ aus Zementwerken angenommen. Der indirekten Gewinnung von CO₂ aus Biomasse wird für die Gesamtentwicklung des synthetischen Kraftstoffsektors in den MENA-Ländern aufgrund der begrenzten Wasserressourcen für den Biomasseanbau dagegen keine Rolle zugemessen. Für die drei analysierten Länder wurde diese Annahme allgemein bestätigt, auch wenn für einzelne Projekte die Nutzung von Biomasse zur Kohlenstoffgewinnung gegebenenfalls eine Möglichkeit darstellen kann.

In *Jordanien* scheint es bisher noch keine Diskussionen um die Bereitstellung von CO₂ für die Erzeugung synthetischer Kraftstoffe zu geben und es bestehen keine Erfahrungen im Bereich CCS und CCU.

Auch in *Marokko* gibt es noch keine CCS- oder CCU-Projekte, aber in den aktualisierten Nationally determined contributions (NDCs) wird auf die CO₂-Speicherung in der Phosphatindustrie als mögliche Technologie verwiesen. Somit bleibt festzuhalten, dass bisher in den Ländern noch keine Infrastrukturen und Erfahrung mit der Nutzung von Kohlenstoffpunktquellen bestehen, auf die für die synthetische Kraftstoffproduktion zurückgegriffen werden könnte.

Für den *Oman* wird erwartet, dass, um die Dekarbonisierungsziele zu erreichen, Nachrüstungen von Kraftwerken sowie von industriellen Prozessen mit CO₂-Abscheidung erfolgen werden. Die tatsächliche Einführung von CCU im Oman scheint bisher jedoch langsam zu verlaufen, da die Kapitalkosten für den Aufbau der Infrastruktur hoch sind.

6.2 Ergebnisse des Energieversorgungsmodells und der Risikobewertung

Die mithilfe des Energieversorgungsmodells modellierten potenziellen Versorgungspfade zwischen der MENA-Region und Europa (detailliert dargestellt in → *Teilbericht 6* und *7*) zeigen, dass *Jordanien* bei einer modellierten Kostenoptimierung nur eine begrenzte Rolle als Exporteur von grünem Wasserstoff und synthetischen Folgeprodukten nach Deutschland spielen würde. Dies liegt unter anderem daran, dass Nachbarländer wie Saudi-Arabien kostengünstigere erneuerbare Energiepotenziale und geringere Kapitalkostenaufschläge aufweisen. Sowohl die Kurzstudie, aber auch die Bewertung der Risiken für die Sektorentwicklung (→ *Teilbericht 8*), zeigen aber, dass *Jordanien* generell gute Ausgangsvoraussetzungen hat. So kommt die Kurzanalyse für Jordanien zu dem Ergebnis, dass das Königreich über gute infrastrukturelle Voraussetzungen für die Initiierung einer grünen Wasserstoffindustrie verfügt. Die vorhandenen erneuerbaren Energieressourcen und die gesammelten Erfahrungen und Fähigkeiten bei der Planung, Umsetzung und dem Betrieb von erneuerbaren Energieprojekten sowie die entwickelte Chemie- und Düngemittelindustrie bieten zudem einen strategisch günstigen Ausgangspunkt für den Aufbau einer grünen Wasserstoffwirtschaft.

Unter Berücksichtigung der regionalen Dynamik in der grünen Wasserstoffentwicklung kann es sich für Jordanien daher anbieten, gezielt Synergien bei der Entwicklung von Wertschöpfungsketten für grünen Wasserstoff mit Hilfe von regionalen und globalen Partnerschaften zu erschließen. So kommt die Länderanalyse zu dem Ergebnis, dass Jordanien von der grünen Wasserstoffentwicklung in Saudi-Arabien, speziell dem NEOM-Projekt profitieren könnte und so auch die Entwicklung von grünen Wasserstoffwertschöpfungsketten in Jordanien vorangebracht werden kann. Eine solche Kooperation könnte auf der Erfahrung Saudi-Arabiens in der Öl- und Gasindustrie und Wasserentsalzung sowie Jordaniens Expertise im Bereich der erneuerbaren Energien und der Düngemittelproduktion aufbauen. Die Region Aqaba, die sich als möglicher Wasserstoff-Hub in Jordanien anbietet, liegt unmittelbar in der Nähe zur Grenze mit Saudi-Arabien. Insbesondere ist daher bereits auch geplant, dass die Region Aqaba mit dem Projekt NEOM kooperiert, wo bereits grüne Wasserstoffpro-

jekte, unter anderem auch die Produktion von grünem Ammoniak für den Export, geplant sind.

Im Gegensatz zu Jordanien sehen die Modellierungsergebnisse für *Marokko* umfangreiche Importe von grünem Wasserstoff bzw. synthetischen Folgeprodukten nach Deutschland vor (→ *Teilberichte* 6 und 7). Dies ist unter anderem auf das günstige Potenzial an erneuerbaren Energien, die kurzen Transportwege aufgrund der geografischen Nähe zu Europa, aber auch auf die im Vergleich zu anderen Ländern niedrigeren angenommenen Risikokapitalkostenaufschläge zurückzuführen. In dieser Hinsicht stehen die Ergebnisse im Einklang mit den Zielen, die in der marokkanischen Wasserstoffstrategie formuliert sind. Diese sieht ebenfalls vor, dass große Mengen von grünem Wasserstoff und synthetischen Kraftstoffen für den Export erzeugt werden sollen. Darüber hinaus besteht in der Düngemittelindustrie in Marokko auch Interesse, langfristig fossile Ammoniakimporte durch einheimisch erzeugtes grünes Ammoniak zu ersetzen. Entsprechend sieht Marokkos grüne Wasserstoffstrategie langfristig auch den Einsatz in verschiedenen Sektoren im eigenen Land vor. Allerdings muss für die Erreichung dieser ambitionierten Wasserstoffziele der erneuerbare Energieausbau im Gigawattmaßstab beschleunigt werden. Dazu plant Marokko den privaten Sektor (sowohl lokale als auch internationale Betreiber) gezielt in die Etablierung von Wertschöpfungsketten für grünen Wasserstoff einzubinden.

In der Risikobewertung für die Entwicklung eines grünen Wasserstoffsektors im *Oman* (→ *Teilbericht* 8) wurden die Voraussetzungen im Vergleich zu vielen anderen MENA-Ländern als besonders günstig bewertet. Diese Einschätzung wird durch die Ergebnisse der Kurzstudie bestätigt. Die *Oman Vision 2040*, die in der Erstellung befindliche Wasserstoffstrategie und der Energiemasterplan 2040 zeigen die politischen Ambitionen Omans im Bereich der erneuerbaren Energien und der grünen Wasserstoffproduktion. Der Oman plant den Export von grünem Wasserstoff bzw. synthetischen Folgeprodukten im großen Stil und hat bereits entsprechende quantitative Ziele definiert. Zudem wurden bereits eine Vielzahl von Großprojekten angekündigt bzw. befinden sich bereits in der Planung. Viele dieser Projekte werden von der Privatwirtschaft in Zusammenarbeit mit omanischen Unternehmen, die sich zumindest teilweise in staatlichem Besitz befinden, initiiert. Die nationale Wasserstoff-Allianz „Hy-Fly“ soll sicherstellen, dass die Interessen der verschiedenen Stakeholder bei der Entwicklung der Wasserstoffwirtschaft koordiniert werden. Im Oman scheinen zumindest zum jetzigen Zeitpunkt fehlende Regulierungen kein Hindernis für die Planung von Großprojekten zu sein. Ob dies auch in der Umsetzungsphase so bleibt, ist abzuwarten. In der durchgeführten Bewertung zu den Risiken für die Sektorentwicklung in den MENA-Ländern wurden klare Regulierungen zumindest als wichtige Voraussetzung angenommen. Neben den Exportzielen sieht Oman ebenfalls Potenzial zur heimischen Nutzung von grünem Wasserstoff und synthetischen Folgeprodukten, um die nationale Wirtschaft zu dekarbonisieren.

Insgesamt zeigen die durchgeführten Analysen, dass zum einen die Verbesserung der Rahmenbedingungen für erneuerbare Energien und synthetische Kraftstoffe in den Ländern und zum anderen die Bereitstellung von kostengünstigen Finanzierungsmöglichkeiten eine wichtige Rolle für den Aufbau eines Exportsektors für synthetische Kraftstoffe spielen. Importierende Länder wie Deutschland können hierzu

potenziell einen Beitrag leisten, indem sie einerseits die Exportländer bei der Schaffung günstiger Rahmenbedingungen unterstützen und beraten und andererseits Finanzierungsinstrumente entwickeln, wie dies teilweise bereits der Fall ist. Die Anstrengungen in dieser Richtung müssen jedoch deutlich ausgeweitet werden, um eine schnelle Umsetzung zu ermöglichen und den enormen Finanzierungsbedarf nicht nur für einzelne Pilotprojekte, sondern für ganze Sektoren zu sichern.

6.3 Schlussfolgerung und weiterer Forschungsbedarf

Die Ergebnisse der Kurzstudien unterstreichen zudem, dass für die zeitnahe Entwicklung eines Exportsektors für grünen Wasserstoff und synthetische Folgeprodukte umfangreiche Investitionen und Technologietransfers notwendig sind. Strategische Allianzen, wie Deutschland sie zum Beispiel im Rahmen der Energiepartnerschaften entwickelt, können dabei eine entscheidende Rolle spielen. Jordanien, Marokko und Oman verfügen zudem bereits über eine gut entwickelte chemische Industrie, deren Erfahrungen den Aufbau einer lokalen Wasserstoffindustrie unterstützen können. Dies würde in Marokko mit der ersten Säule des Fahrplans für grünen Wasserstoff in Einklang stehen.

Während die durchgeführten Kurzstudien einen ersten Überblick über vorhandene Infra- und Industriestrukturen in den drei untersuchten Ländern Jordanien, Marokko und Oman geben, besteht jedoch noch umfangreicher weiterer Forschungsbedarf. Zum einen müssen die technischen Voraussetzungen für die Nutzung der vorhandenen Infrastrukturen detailliert geprüft werden. Zum anderen sollten aber auch Szenarien für die Wasserstoffsektorentwicklung in den einzelnen Ländern modelliert und anhand dieser Szenarien der konkrete Infrastrukturbedarf quantifiziert werden. Auch Analysen zur Verfügbarkeit von Expertise und Fachpersonal für die Sektorentwicklung sind notwendig, um entsprechend Ausbildungs- und Studienprogramme zu entwickeln, damit in Zukunft ausreichend Fachkräfte für die Entwicklung einer Wasserstoffwirtschaft zur Verfügung stehen. Darüber hinaus sollten auch Optionen zur regionalen Zusammenarbeit in der MENA-Region analysiert werden, um so Synergien zu erschließen. Auf lokaler Ebene sind weitere Studien zur Akzeptanz von grünen Wasserstoffprojekten notwendig. Dafür ist es sinnvoll, umfassendere Methoden und Instrumente zu entwickeln, die die Auswirkungen von Projekten mit grünem Wasserstoff auf lokaler Instanz bewerten und evaluieren können. Ebenso müssen geeignete Finanzierungsmechanismen für Projekte entwickelt werden.

Ein wichtiger Beitrag hierfür kann auch die Einbindung von lokalen Banken in die Finanzierung der grünen Wasserstoffwertschöpfungskette spielen. Hier sollten Fortbildungen sowohl für erneuerbare Energien als auch für grüne Wasserstoffwertschöpfung speziell für Bankmitarbeiter*innen folgen. Insgesamt ist abzusehen, dass die bilaterale und multilaterale Zusammenarbeit eine Schlüsselrolle bei der Entwicklung der Exportindustrie für grünen Wasserstoff in Jordanien, Marokko und Oman spielen muss, um Angebot und Nachfrage zusammenzubringen.

7 Literaturverzeichnis

Zitierte Literatur

- ADC (2021). National Real Estate Co. Jordan (NREC Jordan).
https://www.adc.jo/project_details.aspx?pro_id=1087
- AHK (2018). Oman PV-Lösungen und CSP - Zielmarktanalyse 2018 mit Profilen der Marktakteure. Deutsch-Emiratische Industrie- und Handelskammer.
https://www.german-energy-solutions.de/GES/Redaktion/DE/Publikationen/Marktanalysen/2018/zma_oman_2018_pv-loesungen-csp.pdf?__blob=publicationFile&v=4
- AHK (2019). Oman—Photovoltaik- und Windenergie inklusive Wasserstoffwirtschaft—Zielmarktanalyse 2020 mit Profilen der Marktakteure.
https://www.german-energy-solutions.de/GES/Redaktion/DE/Publikationen/Marktanalysen/2020/zma-oman-pv-und-wind-2020.pdf?__blob=publicationFile&v=4
- Braun, J., Kern, J., Scholz, Y., Hu, W., Moser, M., Schillings, C., Simon, S. (2022). Technische und risikobewertete Kosten-Potenzial-Analyse der MENA-Region. Teilbericht 10 an das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK). Wuppertal Institut, DLR, IZES.
- CemNet (2022). Cement Plant Location Information. The Global Cement Report.
<https://www.cemnet.com/global-cement-report/>
- CESE (2020). Accélérer la transition énergétique pour installer le Maroc dans la croissance verte. <http://www.cese.ma/media/2020/11/Av-transitionEnergetique-f-1.pdf>
- Charabi, Y. (2013). Projection of Future Changes in Rainfall and Temperature Patterns in Oman. *Journal of Earth Science & Climatic Change*, 4(5).
<https://doi.org/10.4172/2157-7617.1000154>
- Choukri, K., Naddami, A., Hayani, S. (2017). Renewable energy in emergent countries: Lessons from energy transition in Morocco. *Energy, Sustainability and Society*, 7(1), 7–25. <https://doi.org/10.1186/s13705-017-0131-2>
- EIA (2019). Background Reference: Oman. Energy Information Administration (EIA).
https://www.eia.gov/international/content/analysis/countries_long/Oman/background.htm
- Enerdata (2021). Country Report Oman. <https://www.enerdata.net/estore/country-profiles/oman.html>
- Espey, R. (2020). Omans Petrochemie mit Wachstumsschub | Branchenbericht | Oman | Kunststoff, -produkte.
<https://www.gtai.de/de/trade/oman/branchen/omans-petrochemie-mit-wachstumsschub-214074>

- Espey, R. (2021a). Diversifizierung der Wirtschaft soll vorangetrieben werden | SWOT-Analyse | Oman.
<https://www.gtai.de/de/trade/oman/wirtschaftsumfeld/diversifizierung-der-wirtschaft-soll-vorangetrieben-werden-545646>
- Espey, R. (2021b). Oman baut Petrochemiesektor weiter aus | Branchen | Oman | Petrochemie. <https://www.gtai.de/de/trade/oman/branchen/oman-baut-petrochemiesektor-weiter-aus-730112>
- Espey, R. (2022). Auswirkungen auf internationale Lieferketten | Wirtschaftsumfeld | Oman | Lieferketten.
<https://www.gtai.de/de/trade/oman/specials/auswirkungen-auf-internationale-lieferketten-237348>
- Ferrostaal (2021). Industrial Services | Ferrostaal Group.
<https://www.ferrostaal.com>
- FES (2011). The future of Jordan's qualified Industrial zones (QIZs). Friedrich-Ebert Stiftung. <https://library.fes.de/pdf-files/bueros/amman/10677.pdf>
- Ghazal, M. (2018). Israeli gas to Jordan expected in 2020—Official. Jordan Times.
<http://jordantimes.com/news/local/israeli-gas-jordan-expected-2020-%E2%80%94official>
- GoO (2021). Oman Vision 2040. Government of Oman.
https://isfu.gov.om/2040/Vision_Documents_En.pdf
- GTAI (2022a). Wirtschaftsdaten kompakt—Marokko. Germany Trade & Invest.
<https://www.gtai.de/de/trade/morocco/wirtschaftsumfeld/wirtschaftsdaten-kompakt-marokko-156710>
- GTAI (2022b). Wirtschaftsdaten kompakt—Oman. Germany Trade & Invest.
<https://www.gtai.de/de/trade/oman/wirtschaftsumfeld/wirtschaftsdaten-kompakt-oman-156886>
- Guennoun, Y. (2020). Maghreb Oxygène, 2 décennies au service du marché de l'Hydrogène. WEBINAIRE SUR L'HYDROGÈNE VERT.
https://www.fedenerg.ma/wp-content/uploads/2020/06/2020-06-26_GUENNOUN_Presentation_MO_final_Webinaire.pdf
- Henderson, S. (2015). Jordan's Energy Supply Options: The Prospect of Gas Imports from Israel (Foreign and Security Policy Paper Series 2015). The German Marshall Fund of the United States (GMF).
<https://www.washingtoninstitute.org/policy-analysis/jordans-energy-supply-options-prospect-gas-imports-israel>
- Horváth. (2021). MENA-Fuels country study Oman. Report prepared by Horváth & Partners Middle East GmbH in cooperation with Deutsch-Emiratischen Industrie- und Handelskammer for Wuppertal Institute as part of the MENA-Fuels project. [Unpublished].

- Hssaisoune, M., Bouchaou, L., Sifeddine, A., Bouimetarhan, I., Chehbouni, A. (2020). Moroccan Groundwater Resources and Evolution with Global Climate Changes. *Geosciences*, 10(2), Art. 2.
<https://doi.org/10.3390/geosciences10020081>
- IEA (2021). Cement – Analysis. IEA. <https://www.iea.org/reports/cement>
- Ikken, B. (2021). La filière d'hydrogène vert au Maroc.
- Industries du Maroc (2018). Chimie et parachimie: Un secteur en passe de se réaliser. <https://industries.ma/chimie-et-parachimie-un-secteur-en-passe-de-se-realiser/>
- Industries du Maroc (2021). Maroc-Nigeria: Le gazoduc bientôt une réalité. <https://industries.ma/maroc-nigeria-le-gazoduc-bientot-une-realite/>
- IRENA (2020). Green Hydrogen Cost Reduction: Scaling up Electrolysers to Meet the 1.5°C Climate Goal. International Renewable Energy Agency.
- IRENA (2021). Innovation Outlook: Renewable Methanol.
[/publications/2021/Jan/Innovation-Outlook-Renewable-Methanol](https://publications/2021/Jan/Innovation-Outlook-Renewable-Methanol)
- IRESN (2020). Green Transition and Power-to-X in Morocco: Vision & socio-economic impacts. African Hydrogen Partnership, Addis Ababa.
- Jamea, E. M. (2021). MENA-Fuels country study Morocco. Report prepared by MENA Renewables and Sustainability Institute (MENARES) for Wuppertal Institute as part of the MENA-Fuels project. [Unpublished].
- Jamea, E. M., AlSalaymeh, A., Al Baik, R., Tweissi, S. (2021). MENA-Fuels country study Jordan. Report prepared by MENA Renewables and Sustainability Institute (MENARES) for Wuppertal Institute as part of the MENA-Fuels project. [Unpublished].
- JPCM (2021). Jordan Phosphate Mines Company.
http://www.jpmc.com.jo/EN/Pages/About_the_Company
- Kasraoui, S. (2019). Morocco Secures Deal with Russian Development Bank to Build Oil Refinery. <https://Www.Morocoworldnews.Com/>.
<https://www.morocoworldnews.com/2019/10/285222/morocco-deal-russia-veb-mya-energy-oil-refinery>
- Kotagama, H., Zekri, S., Al Harthi, R., Boughanmi, H. (2017). Demand function estimate for residential water in Oman. *International Journal of Water Resources Development*, 33(6), 907–916.
<https://doi.org/10.1080/07900627.2016.1238342>
- L'Economiste (2017). Le „Navigator Jorf“ entre en piste.
<https://www.leconomiste.com/flash-infos/ocp-recoit-son-navire-gazier-navigator-jorf>
- Leidreiter, A., Boselli, F. (2015). 100% Renewable Energy: Boosting Development in Morocco. World Future Council. <https://www.worldfuturecouncil.org/de/100-renewable-energy-boosting-development-morocco/>

- Maghreb Oxygène (2017). Mise à jour du dossier d'information relative à l'exercice 2016.
https://www.ammc.ma/sites/default/files/NI_MAJ_MOX%202016%20.pdf
- MEM (2020). ELECTRICITE. <https://www.mem.gov.ma/Pages/secteur.aspx?e=1>
- MEME (2020). Feuille de route du gaz naturel au Maroc: Levier pour la transition énergétique, la compétitivité, l'efficacité et la décarbonisation de l'économie 2021-2050.
https://www.mem.gov.ma/Lists/Lst_rapports/Attachments/27/Feuille%20de%20route%20du%20gaz%20naturel%20au%20Maroc%20.pdf
- MEME (2021). Green Hydrogen Roadmap. Ministry of Energy, Mining, and Environment, Government of Morocco.
https://www.mem.gov.ma/Lists/Lst_rapports/Attachments/36/Feuille%20de%20route%20de%20hydrogène%20vert.pdf
- MEMR (2018). MEMR Anual Report 2018. Ministry of Energy and Mineral Resources.
- MEMR (2020). Energy Sector Strategy for the years (2020-2030).
https://www.memr.gov.jo/EBV4.0/Root_Storage/AR/EB_Info_Page/Strategy2020.pdf
- MTEDD (2021). Hydrogène vert vecteur de transition énergétique et de croissance durable. <https://www.mem.gov.ma/Pages/actualite.aspx?act=278>
- MTEDD (2022). ÉNERGIES RENOUVELABLES.
<https://www.mem.gov.ma/Pages/secteur.aspx?e=2>
- MWI (2015). Jordan Water Sector Facts & Figures.
https://www.mwi.gov.jo/ebv4.0/root_storage/ar/eb_list_page/%D9%82%D8%B7%D8%A7%D8%B9_%D8%A7%D9%84%D9%85%D9%8A%D8%A7%D9%87_%D8%AD%D9%82%D8%A7%D8%A6%D9%82_%D9%88%D8%A7%D8%B1%D9%82%D8%A7%D9%85_-2015.pdf
- OCP (2015). Rapport d'activités.
<https://ocpsiteprodsa.blob.core.windows.net/media/2021-01/RA%20OCP%202015%20VF.pdf>
- OCP (2019a). Sustainability report 2019.
https://corpo.ocpgroup.ma/sites/default/files/2020-09/Rapport_2020_EN_.pdf
- OCP (2019b). Sustainable solutions: OCP and Fraunhofer create a lab dedicated to Africa. <https://www.ocpgroup.ma/news/sustainable-solutions-ocp-and-fraunhofer-create-lab-dedicated-africa>
- Plaza, M. G., Martínez, S., Rubiera, F. (2020). CO₂ Capture, Use, and Storage in the Cement Industry: State of the Art and Expectations. *Energies*, 13(21), Art. 21.
<https://doi.org/10.3390/en13215692>
- Prabhu, C. (2021). OQ Group eyes green steel, green cement projects. *Oman Observer*.

<https://www.omanobserver.om/article/1102593/business/energy/oq-group-eyes-green-steel-green-cement-projects>

Statista (2021). Jordan: Cement production volume. Statista.

<https://www.statista.com/statistics/1262989/jordan-cement-production-volume/>

Tarawneh, Q., Kadioğlu, M. (2003). An analysis of precipitation climatology in Jordan. *Theoretical and Applied Climatology*, 74(1), 123–136.

<https://doi.org/10.1007/s00704-002-0705-5>

Telquel (2019). OCP: une usine d’ammoniac à 1,3 milliard de dollars au Nigeria.

https://telquel.ma/2019/11/15/ocp-une-usine-dammoniac-de-13-milliard-de-dollars-au-nigeria_1657747

Terrapon-Pfaff, J., Amroune, S. (2018). Implementation of Nationally Determined Contributions—Morocco Country Report. Umweltbundesamt.

https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2018-11-30_climate-change_30-2018_country-report-morocco.pdf

The World Bank (2010). Water—Overview.

http://web.worldbank.org/archive/website01414/WEB/0__MEN-2.HTM

Water Fanack (2021). Water Infrastructure. Fanack Water.

<https://water.fanack.com/jordan/water-infrastructure/>

World Bank Group, ESMAP, Vortex, DTU. (2022). Global Wind Atlas.

<https://globalwindatlas.info>

Worldometers (2022). Morocco Water Use, Resources and Precipitation—

Worldometer. <https://www.worldometers.info/water/morocco-water/>

Teilberichte

- Acosta-Fernández, J., Viebahn, P., Hanke, T., Block, S. (2023). Gesamtwirtschaftliche Effekte von Investitionen zur Versorgung Deutschlands mit Wasserstoff und synthetischen Energieträgern aus der MENA-Region. MENA-Fuels: Teilbericht 13 des Wuppertal Instituts an das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK).
- Braun, J., Kern, J., Scholz, Y., Hu, W., Moser, M., Schillings, C., Simon, S., Ersoy, S. R., Terrapon-Pfaff, J. (2022). Technische und risikobewertete Kosten-Potenzial-Analyse der MENA-Region. MENA-Fuels: Teilbericht 10 des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) und des Wuppertal Instituts an das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK).
- Doré, L., Krüger, C., Janßen, T. (2022). Weitere Szenarioanalysen: Berücksichtigung von Investitionsrisiken und Sensitivitäten der Basisszenarien. MENA-Fuels: Teilbericht 7 des Wuppertal Instituts an das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK).
- Ersoy, S. R., Terrapon-Pfaff, J., Viebahn, P., Pregger, T., Braun, J. (2022). Synthese der Kurzstudien für Jordanien, Marokko und Oman. MENA-Fuels: Teilbericht 11 des Wuppertal Instituts und des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) an das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK).
- Horst, J., Klann, U. (2022). MENA-Fuels—Analyse eines globalen Marktes für Wasserstoff und synthetische Energieträger hinsichtlich künftiger Handelsbeziehungen. MENA-Fuels: Teilbericht 12 des Instituts für ZukunftsEnergie- und Stoffstromsysteme (IZES) an das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK).
- Jülich, A., Zelt, O. (2022). Ökobilanzen für synthetisches Kerosin—Vergleich von Produktionsrouten in MENA und Deutschland. MENA-Fuels: Teilbericht 2 des Wuppertal Instituts an das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK).
- Krüger, C., Doré, L. (2022). Nachfrageszenarien – Storylines und Herleitung der Entwicklung der Nachfrage nach Synfuels und Grundstoffen. MENA-Fuels: Teilbericht 5 des Wuppertal Instituts an das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK).
- Krüger, C., Doré, L., Janßen, T. (2022). Basisszenarien – Ergebnisse und Infrastrukturauswertung. MENA-Fuels: Teilbericht 6 des Wuppertal Instituts an das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK).
- Pregger, T. (2022). Szenarien zur Eigenbedarfsanalyse für die MENA-Länder. MENA-Fuels: Teilbericht 9 des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) an das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK).
- Saurat, M., Doré, L., Janßen, T., Kiefer, S., Krüger, C., Nebel, A. (2022). Beschreibung des Energieversorgungsmodells WISEE-ESM-I. MENA-Fuels: Teilbericht 4 des Wuppertal Instituts an das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK).

- Terrapon-Pfaff, J., Prantner, M., Ersoy, S. R. (2022). Risikobewertung und Risikokostenanalyse der MENA-Region. MENA-Fuels: Teilbericht 8 des Wuppertal Instituts an das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK).
- Viebahn, P., Kern, J., Horst, J., Rosenstiel, A., Terrapon-Pfaff, J., Doré, L., Krüger, C., Zelt, O., Pregger, T., Braun, J., Klann, U. (2022a). Synthese und Handlungsoptionen – Ergebnisbericht des Projekts MENA-Fuels. Teilbericht 14 des Wuppertal Instituts, des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) und des Instituts für ZukunftsEnergie- und Stoffstromsysteme (IZES) an das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK).
- Viebahn, P., Kern, J., Horst, J., Rosenstiel, A., Terrapon-Pfaff, J., Doré, L., Krüger, C., Zelt, O., Pregger, T., Braun, J., Klann, U. (2022b). Synthesis and courses of action. Report on results of the MENA-Fuels project. Sub-report 14 to the Federal Ministry for Economic Affairs and Climate Action (BMWK). Wuppertal Institut, German Aerospace Center (DLR), Institut für ZukunftsEnergie- und Stoffstromsysteme (Institute for Future Energy and Material Flow Systems, IZES).
- Viebahn, P., Kern, J., Horst, J., Rosenstiel, A., Terrapon-Pfaff, L., Doré, L., Krüger, C., Zelt, O., Pregger, T., Braun, J., Klann, U. (2022c) : synthèse et pistes d'action. Rapport sur les résultats du projet MENA-Fuels. Sous-rapport 14 au ministère fédéral de l'Économie et de la Protection du climat (BMWK). Wuppertal Institut, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), Institut für ZukunftsEnergie- und Stoffstromsysteme (IZES).
- Zelt, O., Kobiela, G., Ortiz, W., Scholz, A., Monnerie, N., Rosenstiel, A., Viebahn, P. (2020). Multikriterielle Bewertung von Bereitstellungstechnologien synthetischer Kraftstoffe. MENA-Fuels: Teilbericht 3 des Wuppertal Instituts und des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) an das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK).
- Zelt, O., Scholz, A., Viebahn, P. (2021). Auswahl der zu bewertenden synthetischen Kraftstoffe und ihrer Bereitstellungstechnologien. MENA-Fuels: Teilbericht 1 des Wuppertal Instituts an das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK).

8 Anhang

8.1 Technische Kosten-Potenzial-Analysen für erneuerbaren Strom 2050

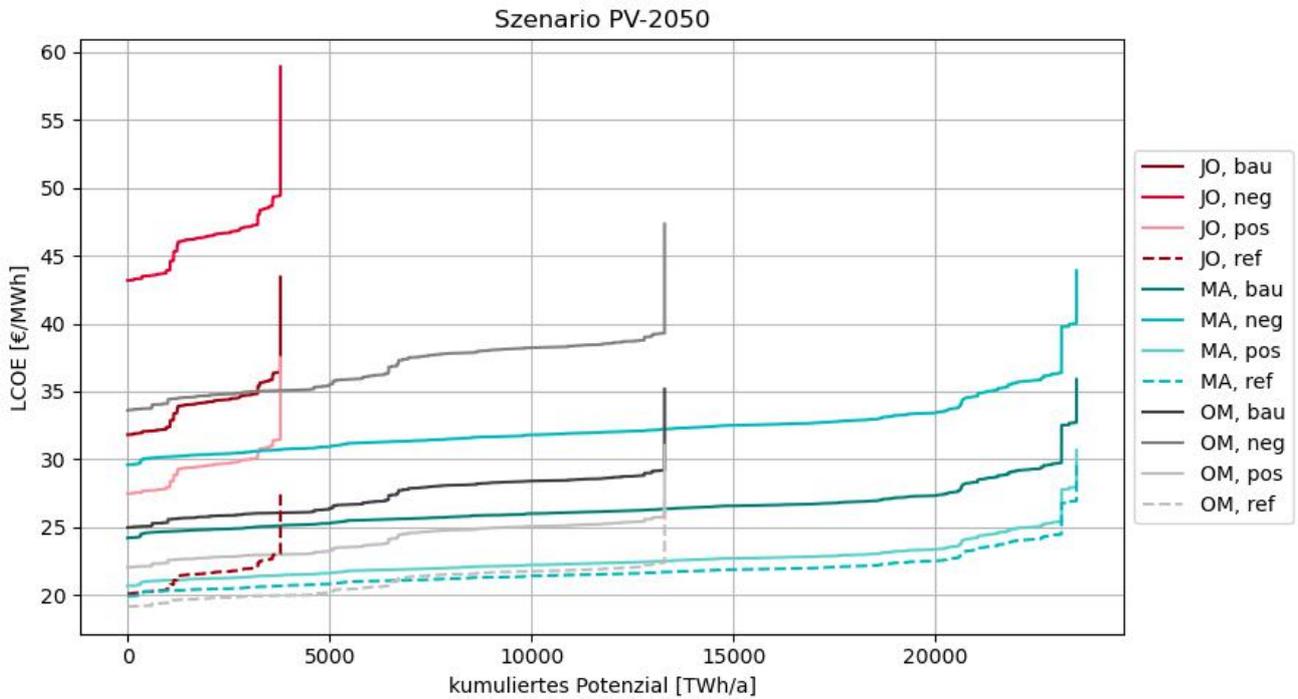


Abb. 8-1 Kosten-Potenzial-Kurven PV-Strom 2050 für unterschiedliche Szenarien

Quelle: Braun et al. (2022) (Teilbericht 10)

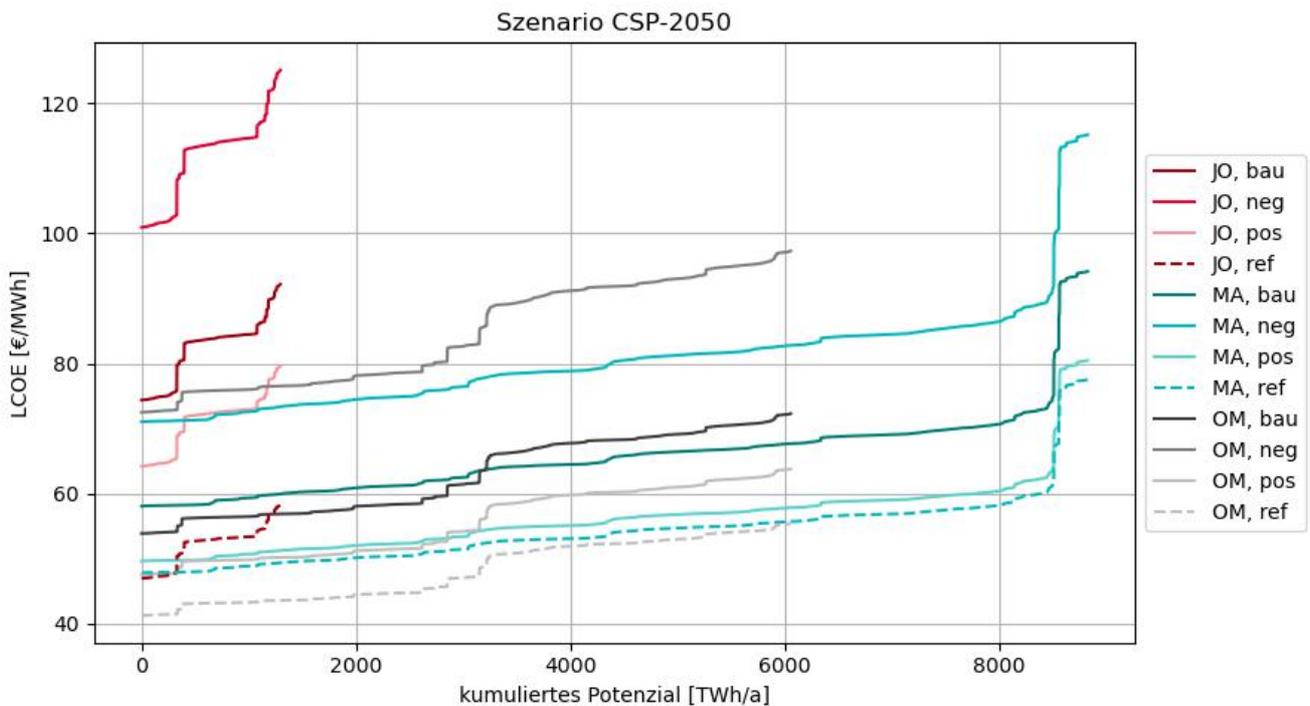


Abb. 8-2 Kosten-Potenzial-Kurven CSP-Strom 2050 für unterschiedliche Szenarien

Quelle: Braun et al. (2022) (Teilbericht 10)

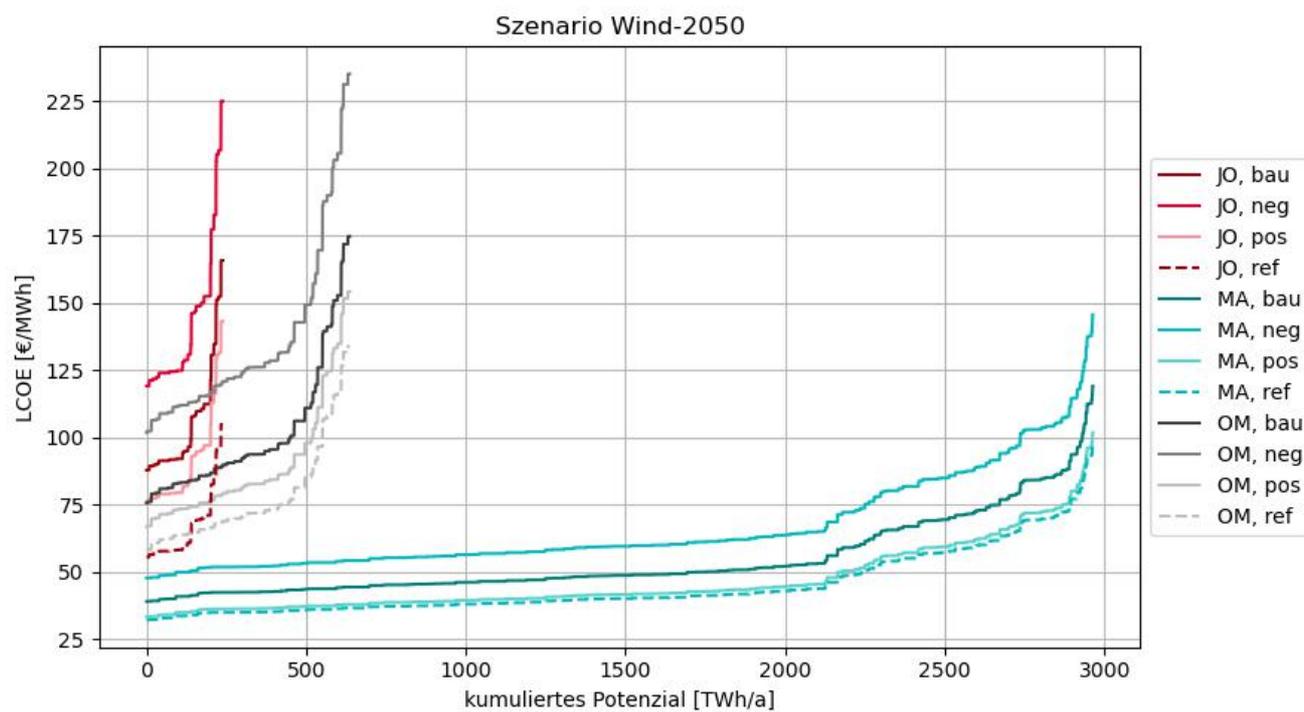


Abb. 8-3 Kosten-Potenzial-Kurven Windstrom 2050 für unterschiedliche Szenarien

Quelle: Braun et al. (2022) (Teilbericht 10)

8.2 Technische Kosten-Potenzial-Analysen für Fischer-Tropsch-Kraftstoffe 2050

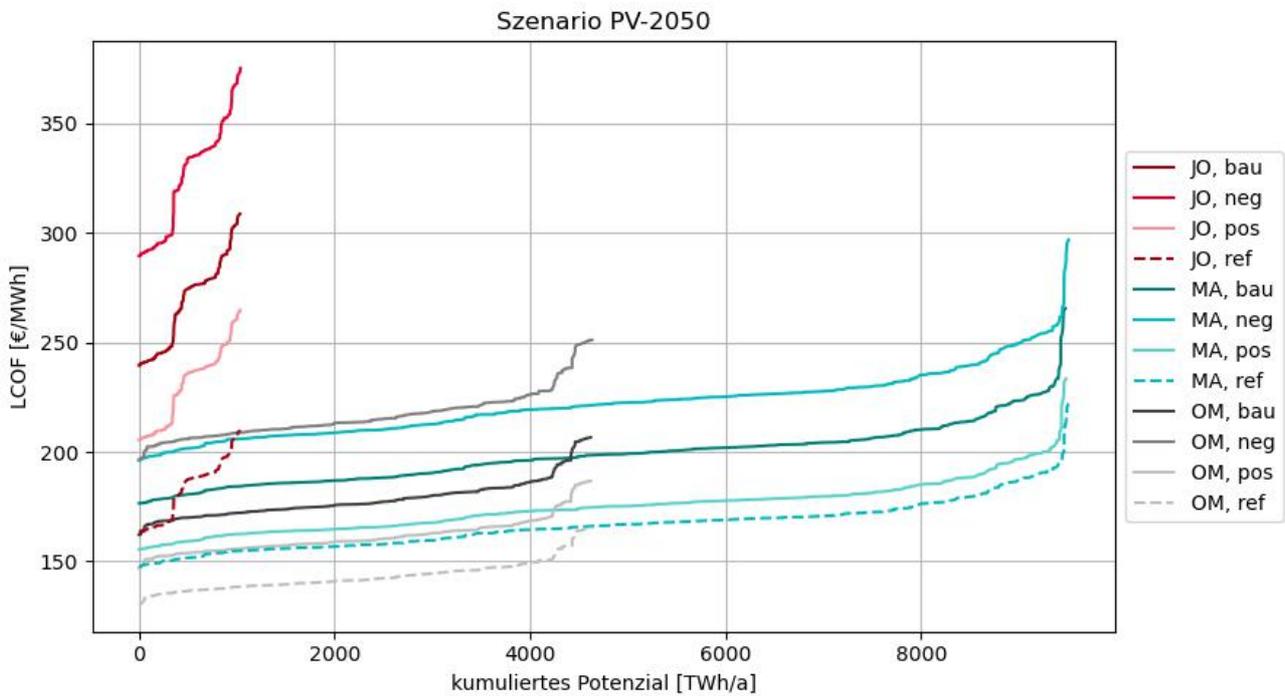


Abb. 8-4 Kosten-Potenzial-Kurven FT-Kraftstoff aus PV-Strom 2050 für unterschiedliche Szenarien

Quelle: Braun et al. (2022) (Teilbericht 10)

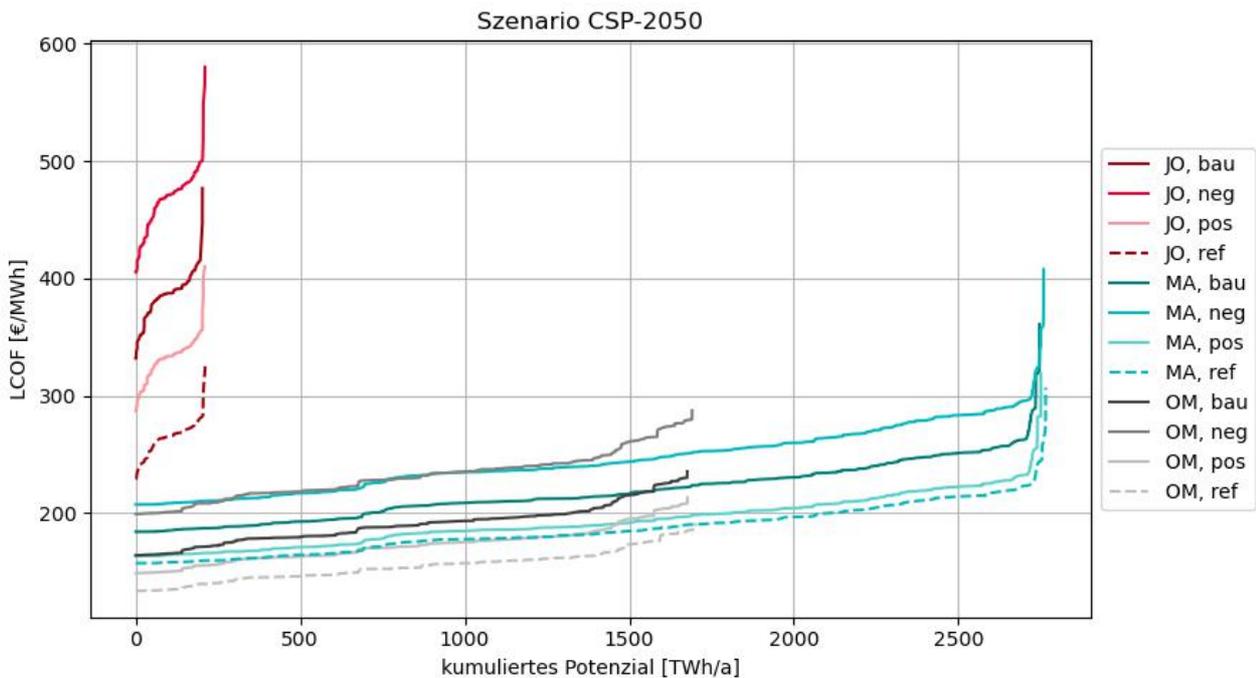


Abb. 8-5 Kosten-Potenzial-Kurven FT-Kraftstoff aus CSP-Strom 2050 für unterschiedliche Szenarien

Quelle: Braun et al. (2022) (Teilbericht 10)

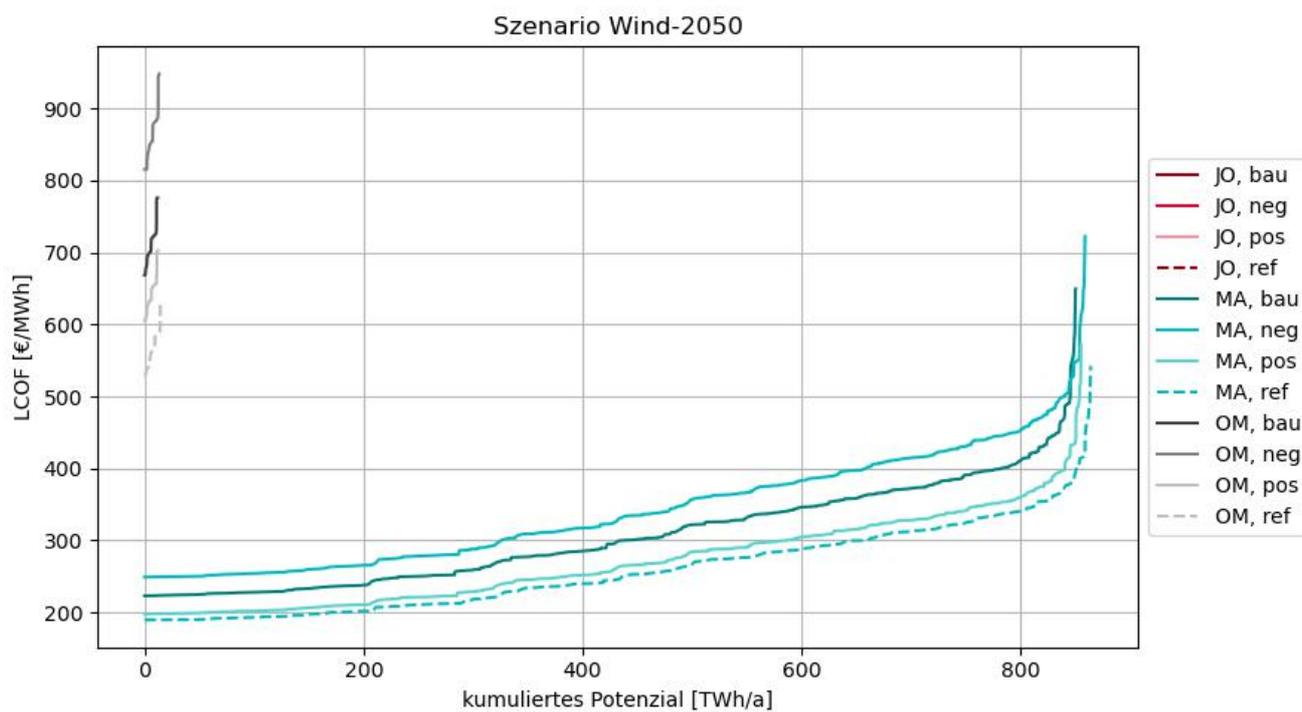


Abb. 8-6 Kosten-Potenzial-Kurven FT-Kraftstoff aus Windstrom 2050 für unterschiedliche Szenarien

Quelle: Braun et al. (2022) (Teilbericht 10)

Überblick über die Teilberichte in MENA-Fuels

Alle Teilberichte können über die folgende Website heruntergeladen werden:

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/

