



# Deutsch-Jordanischer Wasser-Wasserstoff- Dialog

Zusammenhänge zwischen der Ressource Wasser  
und der Wasserstoffproduktion und -nutzung

## **Impressum**

### **Herausgeberin**

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

### **Autor:innen**

Thomas Adisorn  
[thomas.adisorn@wupperinst.org](mailto:thomas.adisorn@wupperinst.org)  
Maike Venjakob  
[maike.venjakob@wupperinst.org](mailto:maike.venjakob@wupperinst.org)  
Julia Pössinger  
[julia.poessinger@wupperinst.org](mailto:julia.poessinger@wupperinst.org)

### **Gestaltung**

Melters Werbeagentur GmbH  
Karlstraße 88  
D-40210 Düsseldorf  
[www.melters-werbeagentur.com](http://www.melters-werbeagentur.com)

### **Stand**

Februar 2023

### **Bildquellen**

getty images  
Adobe Stock

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit  
und Verbraucherschutz

[www.exportinitiative-umweltschutz.de](http://www.exportinitiative-umweltschutz.de)

# Inhaltsverzeichnis

<b>1   Einleitung</b>	<b>5</b>
<b>2   Das Projekt GJWHD – German-Jordanian Water-Hydrogen-Dialogue</b>	<b>6</b>
<b>3   Konzeptentwicklung des Wasser- Wasserstoff-Nexus mit Fokus Deutschland</b>	<b>9</b>
3.1 Zentrale Herstellungsverfahren und Nutzungsmöglichkeiten von Wasserstoff	9
3.2 Wasserstoff in der deutschen Wasser- und Abwasserversorgung	12
3.3 Rahmenbedingungen in Deutschland	15
3.4 Wasser-Wasserstoff-Nexus	18
<b>4   Perspektiven einer jordanischen Wasserstoffwirtschaft</b>	<b>19</b>
4.1 Chancen und Herausforderungen für Wasserstoff in Jordanien	19
4.2 Beiträge einer Wasserstoffwirtschaft für Jordanien	26
4.3 Ausblick auf Wasserstoffimportkriterien	30
<b>5   Zusammenschau und Ausblick</b>	<b>30</b>
<b>6   Verzeichnisse und Quellen</b>	<b>32</b>
6.1 Literaturverzeichnis	32
6.2 Abbildungsverzeichnis	33
6.3 Verzeichnis von Abkürzungen, Einheiten und Symbolen	34



# 1 | Einleitung

Die vorliegende Broschüre ist Teil des vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV) geförderten Deutsch-Jordanischen Wasser-Wasserstoff-Dialog (engl. German-Jordanian Water-Hydrogen-Dialogue, GJWHD). Neben den durchgeführten Workshops soll gerade diese Broschüre dazu dienen, Wissen zum Themenkomplex an solche Stakeholder zu vermitteln, die sich insbesondere mit Wasser-bezogenen Fragen für eine zukünftige Wasserstoffwirtschaft auseinandersetzen.

Den unmittelbaren Handlungskontext des Vorhabens bildet das Interesse Jordaniens an einer Wasserstoffwirtschaft vor dem Hintergrund sehr begrenzter Wasserressourcen. Da insbesondere für die Elektrolyse – als zentrales Verfahren für die globale Wasserstoffwirtschaft – Wasser ( $H_2O$ ) benötigt wird, kann eine zukünftige Wasserstoffwirtschaft im Land dazu führen, dass sich Konflikte um die Ressource verschärfen. Entsprechend besteht bereits heute Handlungsbedarf und weitsichtiges Engagement.

Ziel des Projekts ist es, Wissen zu den Zusammenhängen zwischen der Ressource Wasser und der Wasserstoffproduktion und -nutzung auszutauschen, wobei die landesspezifischen Bedingungen in Jordanien und Deutschland hierbei eine wichtige Rolle einnehmen. In diesem Zusammenhang wurde der Blick insbesondere auf die dezentrale Wasserstoffwirtschaft gerichtet, die auch Wasserstoffanwendungen vor Ort erlaubt.

Für den Austausch wurden zwei Workshops in Wuppertal (Deutschland) und Amman (Jordanien) durchgeführt. Um das Thema aus möglichst unterschiedlichen Perspektiven zu beleuchten, bestanden die Delegationen aus Jordanien und Deutschland sowie die Referent\*innen aus unterschiedlichen Stakeholdergruppen (u. a. Privatwirtschaft vs. öffentlicher Sektor vs. Wissenschaft; (Ab-)Wasser- vs. Energiewirtschaft). Zur inhaltlichen Gestaltung des Workshops wurde ein Konzept entwickelt, das im Folgenden als Wasser-Wasserstoff-Nexus bezeichnet wird.

Auch wenn mit Jordanien und Deutschland der Fokus zunächst auf zwei ausgewählten Ländern lag, so sind verschiedene Aspekte und Inhalte dieser Broschüre übertragbar.

Für das kritische Feedback durch das BMUV und die tatkräftige Unterstützung der Nationalen Organisation für Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie (NOW) während der gesamten Projektlaufzeit möchten wir uns bedanken. Ferner gilt unser ganz ausdrücklicher Dank allen Delegationsteilnehmer\*innen und Referent\*innen in Deutschland und Jordanien für die anregenden Inputs und offenen Diskussionen. Sie haben sich die Zeit genommen und das Projekt mit Leben gefüllt.

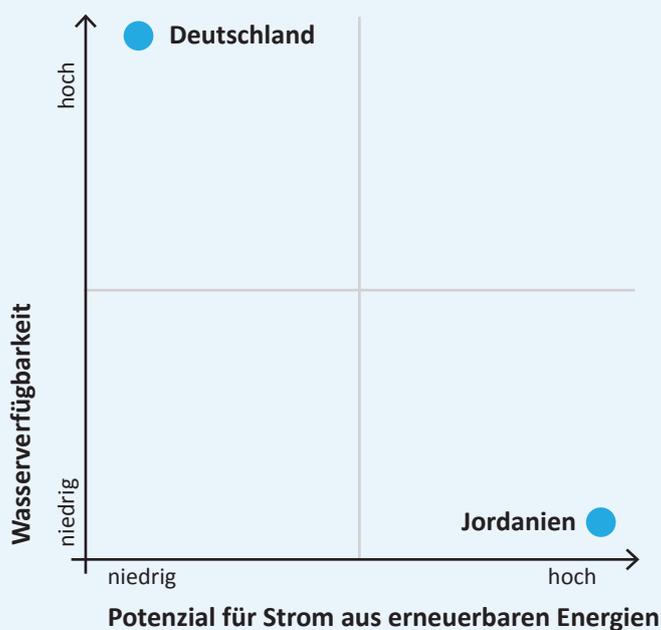
## 2 | Das Projekt GJWHD – German-Jordanian Water-Hydrogen-Dialogue

Jordanien und Deutschland verfügen über sehr unterschiedliche Voraussetzungen für die Produktion und Nutzung von grünem Wasserstoff. Dies betrifft nicht nur u. a. das Investitionsklima (Weltbank, 2021), sondern auch die Ausstattung mit natürlichen Ressourcen. In diesem Zusammenhang ist insbesondere die Verfügbarkeit von erneuerbarem Strom und Wasser gerade für die Herstellung von grünem Elektrolysewasserstoff von zentraler Bedeutung. Denn ein Elektrolyseur kann nur mit Grünstrom auf nachhaltige Weise betrieben werden, um Wasser ( $H_2O$ ) in (grünen) Wasserstoff ( $H_2$ ) und Sauerstoff ( $O_2$ ) zu zerlegen. Obwohl es genauso notwendig ist, steht die nachhaltige Versorgung von Elektrolyseuren mit Wasser weniger im Vordergrund. Da die Elektrolyse für den globalen Wasserstoffmarkt eine zentrale Rolle spielen wird (IEA, 2022b), ist dieses Verfahren auch im Vergleich zu alternativen Prozessen der Wasserstoffproduktion für alle Länder von Bedeutung,

die eine Wasserstoffproduktion in Zukunft in Erwägung ziehen. Entsprechend ist die aktuelle und zukünftige Ressourcenausstattung für die Elektrolyse mit Blick auf Strom und Wasser zu berücksichtigen.

Entsprechend der **Abbildung 1** bestehen sowohl in Jordanien als auch in Deutschland Restriktionen für die Herstellung grünen Wasserstoffs. Ebendiese Unterschiede werden im Projekt genutzt, um bestehende Diskussionen rund um das Thema Wasserstoff zu ergänzen und den Austausch zwischen jordanischen und deutschen Stakeholdern zu befördern mit dem Ziel, ein Verständnis für die spezifischen Bedingungen in den jeweiligen Ländern zu schaffen.

Während die politische und wissenschaftliche Debatte zur Wasserstoffproduktion häufig Energie- bzw. Stromseitig vorangetrieben wird, ist es ein wichtiges Anliegen



**Abbildung 1**

Die verschiedenen Ausgangslagen in Deutschland und Jordanien als Hintergrund des Projekts (eigene Darstellung)

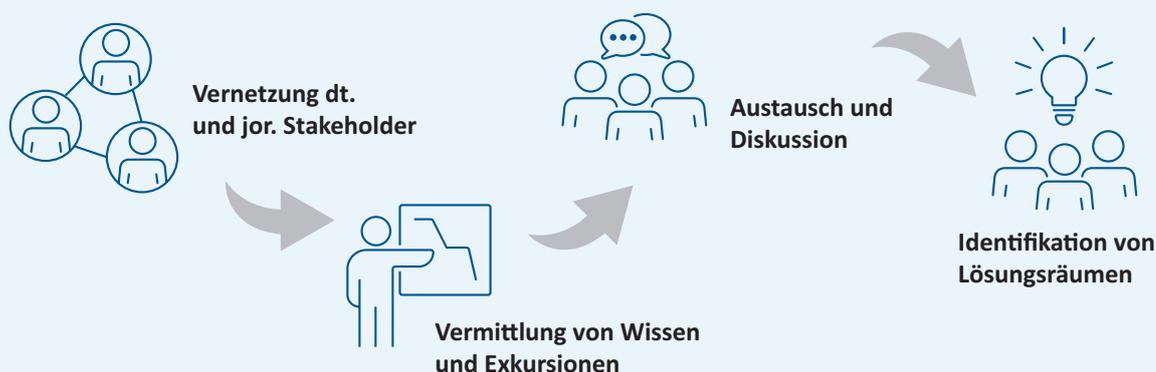
des Projekts, genau diese einseitige Perspektive um einen wichtigen Blickwinkel zu ergänzen. Auch wenn Strom gerade für die Elektrolyse weiterhin eine zentrale Rolle einnimmt, versucht das Projekt das Thema Wasserstoff auch aus Perspektive der Ressource Wasser zu erarbeiten.

Daneben ergänzt das Projekt die Debatte um einen weiteren Aspekt. Denn während Jordanien und andere MENA-Länder<sup>1</sup> als wichtige Wasserstoffexporteure für Deutschland und Europa immer wieder diskutiert werden, richtet das Projekt sein Augenmerk auf die dezentrale Produktion und Nutzung von Wasserstoff. Hier liegen in Deutschland bereits viele spannende und erfolgreiche Projektergebnisse vor, die für andere Ländern Lösungskorridore darstellen können. Selbst wenn auch dezentrale Wasserstoffstrukturen mit Herausforderungen verknüpft sind, so können sich auch enorme Chan-

cen ergeben (z. B. langfristige Speicherung von Strom, lokale Minderung von Emissionen). Der Austausch von länderspezifischem Wissen, das für den (Aus-)Bau einer Wasserstoffwirtschaft relevant ist, ist das übergeordnete Ziel im Vorhaben.

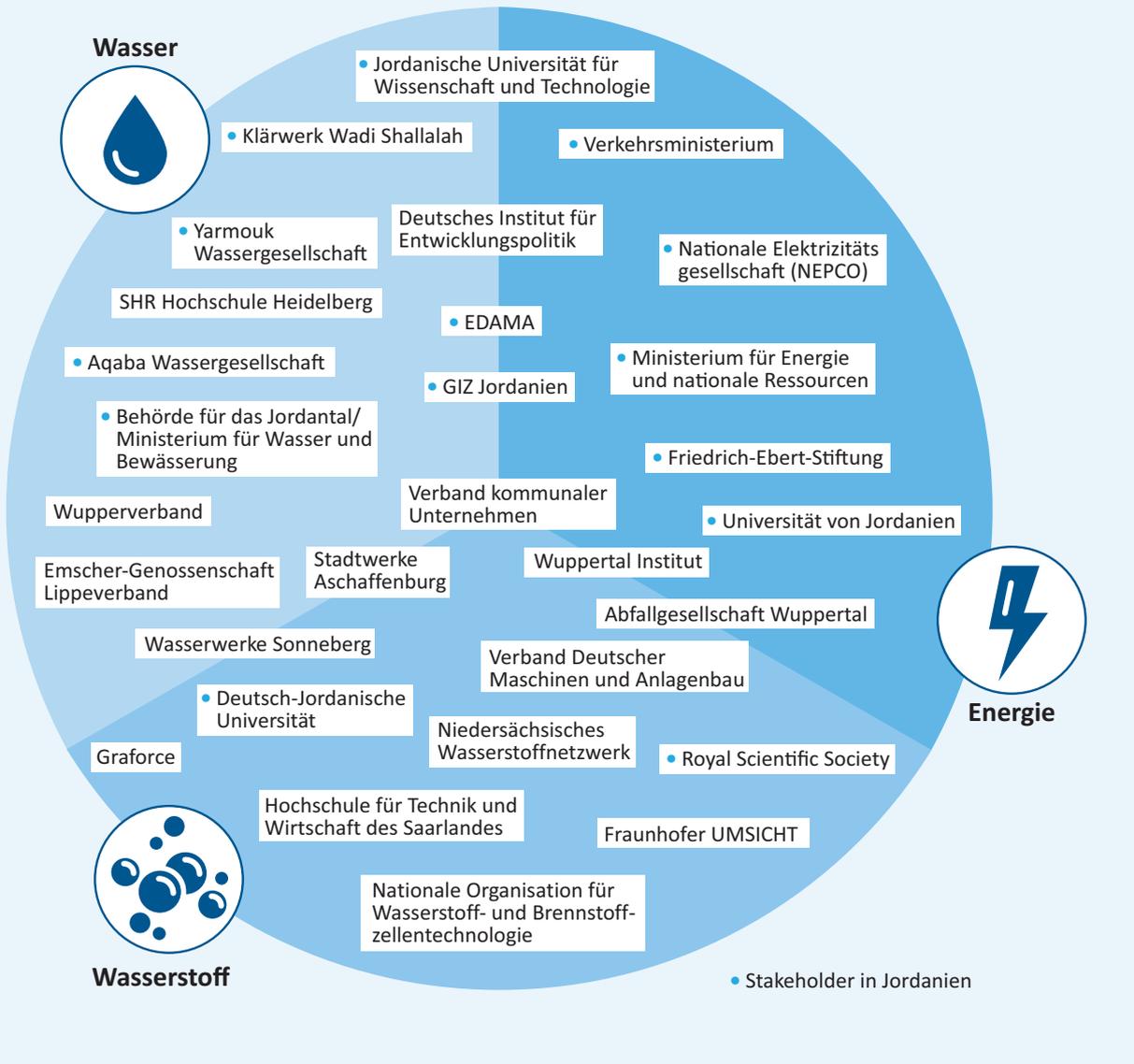
Für diesen Austausch wurden im Rahmen des Projekts zwei Workshops im Herbst 2022 in Wuppertal (Deutschland) und Amman (Jordanien) organisiert und umgesetzt. Zur inhaltlichen Gestaltung des Austauschs wurde bestehendes Wissen rund um die Zusammenhänge zwischen der Ressource Wasser und der Wasserstoffproduktion (kurz: Wasser-Wasserstoff-Nexus) basierend auf einer Literaturrecherche zusammengetragen. Dieser Wasser-Wasserstoff-Nexus wurde thematisch aus verschiedenen Perspektiven beleuchtet und diskutiert.

## German-Jordan Water-Hydrogen-Dialogue



**Abbildung 2**  
Schematischer Handlungsansatz im Projekt (eigene Darstellung)

<sup>1</sup> MENA steht für „Middle East und North Africa“.



**Abbildung 3**  
Eingebundene Institutionen in den Projektworkshops in Wuppertal (Deutschland) und Amman (Jordanien) (eigene Darstellung)

Durch die Umsetzung der Workshops konnten die Ergebnisse der Literaturrecherche zum Wasser-Wasserstoff-Nexus substantiell ergänzt werden. Zur Vor- und Nachbereitung der Workshops wurden sogenannte Factsheets erstellt, die als eigenständige Dokumente

entwickelt wurden. Die folgenden beiden Kapitel enthalten ebendiese Factsheets und kombinieren in der vorliegenden Broschüre die Ergebnisse der Literaturliteraturauswertung mit den Erkenntnissen aus den Workshops.

# 3 | Konzeptentwicklung des Wasser-Wasserstoff-Nexus mit Fokus Deutschland

Im Folgenden wird das Konzept des Wasser-Wasserstoff-Nexus hergeleitet (Kapitel 3.1 bis 3.3) und abschließend dargestellt (Kapitel 3.4).

## 3.1 Zentrale Herstellungsverfahren und Nutzungsmöglichkeiten von Wasserstoff

### FACTSHEET 1:

Zentrale Verfahren für die Herstellung von Wasserstoff

#### Aktuelle Situation

Für die Erzeugung von grünem Wasserstoff stehen Elektrolyseur-Technologien im Mittelpunkt der politischen Debatten, da sie die Aufspaltung von Wasser in Wasserstoff und Sauerstoff ermöglichen. Elektrolyseure werden mit Strom betrieben. Kommt der Strom aus dem Netz, das in Deutschland noch auf fossile Brennstoffe setzt, gilt Wasserstoff als gelb. Für grünen Wasserstoff müssen die Elektrolyseure mit (zusätzlichem) erneuerbarem Strom betrieben werden. Es gibt drei zentrale Elektrolyseur-Technologien, die sich in technologischer Reife, Kosten und anderen Merkmalen unterscheiden (AEL, PEMEL, HTEL).

Wasserstoff kann auch aus Erdgas durch Dampfreformierung oder Pyrolyse hergestellt werden. Die Reformierung von Erdgas geht jedoch mit CO<sub>2</sub>-Emissionen einher. Wird es in die Atmosphäre freigesetzt, ist der Wasserstoff grau. Wird an die Dampfreformierungsanlage eine Kohlenstoffabscheidungsanlage angeschlossen und das CO<sub>2</sub> anschließend unterirdisch gelagert, so ist der Wasserstoff blau. Bei der Pyrolyse von Erdgas entsteht Kohlenstoff in fester Form als Nebenprodukt von türkisfarbenem Wasserstoff (MWIDE 2020).

Für die Integration von fluktuierendem erneuerbarem Strom bietet die PEMEL eine große Zukunft, da diese Art von Elektrolyseuren aufgrund ihrer kurzen Anlaufzeiten am flexibelsten ist. Im Gegensatz dazu hat die Hochtemperaturelektrolyse (HTEL) sehr lange Anlaufzeiten, aber da es mit Hochtemperaturwärme arbeitet, kann es Abwärme aus industriellen Prozessen integrieren. Die alkalische Elektrolyse (AEL) hat heute die beste Gesamtleistung, insbesondere wenn die erneuerbaren Energien in den jeweiligen Ländern weniger volatil sind.

Wasserstoff kann auch zu anderen Produkten verarbeitet werden, wofür weitere Syntheseverfahren erforderlich sind. Die Fischer-Tropsch-Synthese ermöglicht bspw. die Herstellung von synthetischem Kerosin und Diesel. Für solche erneuerbaren Kraftstoffe wird jedoch CO<sub>2</sub> benötigt, das aus der direkten Luftabscheidung, aus Biomasse oder aus Industrieanlagen stammen kann. Für andere Syntheseprodukte wie Ammoniak wird Stickstoff benötigt, der im Allgemeinen aus der Umgebungsluft stammt (Ausfelder & Dura, 2019).

Es ist erwähnenswert, dass es auch technologische Möglichkeiten für Biomasse gibt, um Teil der Wasserstoffwirtschaft zu werden (FVEE, 2021). Für Abfallrückstände wie bspw. Klärschlamm gibt es thermo-

chemische Ansätze wie Vergasung, Reformierung, Methanpyrolyse oder hydrothermale Umwandlung. Die politische Agenda scheint sich jedoch auf PtX zu konzentrieren.

### Ausblick

Die Kosten für Elektrolyseure werden voraussichtlich erheblich sinken. Deutschland ist bestrebt, die heimische Wasserstoffproduktion zu steigern. So zielt die Nationale Wasserstoffstrategie darauf ab, bis 2030 5 GW Elektrolysekapazität zu installieren (Bundesregierung, 2020). Mit den Wahlen Ende 2021 wurde das Ziel verdoppelt. Im Gegensatz zum politischen Fokus auf Elektrolyseure wird in Deutschland weniger über bio-basierten Wasserstoff diskutiert. Angesichts des in der Szenariomodellierung erwarteten erheblichen Bedarfs an Wasserstoff wird Deutschland auch auf Importe von Wasserstoff und wasserstoffbasierten Produkten angewiesen sein (Wuppertal Institut & Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung Econ, 2020).

### Aspekte im Nexus

Insbesondere die Wasserstoffherzeugung durch Elektrolyse, aber auch andere Technologiepfade benötigen Wasser. So liegt der Mindestbedarf für die Erzeugung von 1 Kilogramm Wasserstoff bei 8,92 Litern vollentmineralisiertem Wasser (Beswick et al., 2021). Um diese Menge an hochreinem Wasser zu erhalten, werden zwischen 15 und 30 Liter aus öffentlicher Versorgung benötigt (Energy Sector Management Assistance Program, 2020). Auch Hilfstechnologien können einen Wasserbedarf für den Betrieb haben; für Solar-PV wird zwischen 0,01 m<sup>3</sup>/MWh bis hin zu 0,1 m<sup>3</sup>/MWh für die Reinigung der Module benötigt (Zelt et al., 2021). Rosa Wasserstoff auf Basis von Atomstrom verbraucht etwa 270 kg Kühlwasser pro kg Wasserstoff (Hydrogen Council, 2021). Insbesondere bei einem Import von Wasserstoff aus ariden Regionen ist darauf zu achten, inwiefern sich die Produktion vor Ort auf die lokale Wasserwirtschaft auswirkt.

## FACTSHEET 2: Wasserstoffnutzungsmöglichkeiten

### Aktuelle Situation

Grüner Wasserstoff kann in verschiedenen Sektoren eine zentrale Rolle bei der Realisierung von Emissions-einsparungen spielen. Ein zentraler Nachteil von Wasserstoff und anderen Power-to-X-Produkten (PtX) sind jedoch Effizienzverluste. So wird der Umwandlungswirkungsgrad bei der Herstellung von Wasserstoff durch Elektrolyse heute auf etwa 61 % und in Zukunft auf 70 % geschätzt (Oeko-Institut, 2019), auch abhängig von der verwendeten Elektrolyseurtechnologie. Bei PtX-Produkten sind die Umwandlungsverluste noch höher. Dennoch gibt es einige Beispiele in Deutschland, die schwer zu elektrifizieren sind und die daher Wasserstoff als

Dekarbonisierungspfad gewählt haben. Der größte Teil des in Deutschland produzierten Wasserstoffs basiert heute auf Erdgas und wird im Chemiesektor und in Raffinerien eingesetzt (DIHK, 2020).

Generell gilt die energieintensive Industrie als wichtiger Motor für die Wasserstoffnachfrage in Deutschland. Zum Beispiel können Stahlhersteller Wasserstoff nutzen, indem sie von der konventionellen Stahlproduktion, die weitgehend auf Kohle/Koks basiert, auf die innovative Direktreduktionstechnologie umsteigen. Grüner Wasserstoff würde erhebliche CO<sub>2</sub>-Einsparungen bei der Stahlproduktion ermöglichen (Agora Energiewende & Wuppertal Institut, 2019).

Im Mobilitätssektor ist die direkte Elektrifizierung die wichtigste Option, die für Personenkraftwagen realisiert wird. Für andere Bereiche wie Schwerlastverkehr, mobile Maschinen, Schifffahrt und Luftfahrt werden Wasserstoff oder PtX-Produkte jedoch als besser geeignet oder sogar alternativlos angesehen (Nationaler Wasserstoffrat, 2021). In der deutschen Stadt Wuppertal zum Beispiel werden öffentliche Busse mit Wasserstoff und Brennstoffzellen betrieben, auch wegen der (bergigen) Topographie. Neben Wuppertal wird auch in der Stadt Duisburg ein Müllsammelfahrzeug mit Wasserstoff-Brennstoffzellen betrieben. Aktuell scheinen diese und andere Wasserstoffanwendungen nicht ohne zusätzliche Fördermittel wirtschaftlich zu sein.

Wasserstoff kann auch in begrenztem Umfang ins Erdgasnetz beigemischt werden, um so insbesondere Wärmebedarfen nachzukommen. Bei einer Weiterverarbeitung zu Methan bestehen keine Beimischungsgrenzen. Mit Blick auf die Verwendung von bei beigemischt Wasserstoff oder synthetischem Methan sind jedoch auch Alternativen zu berücksichtigen, die mit geringen Wirkungsgradverlusten einhergehen. Auch die Rückverstromung von Wasserstoff in umgerüsteten Gaskraftwerken wird aktuell diskutiert und erprobt.

## Ausblick

---

Für das Jahr 2030 wird in den Szenarien mit einem Wasserstoffbedarf in Deutschland zwischen 18 und 66 TWh gerechnet, für das Jahr 2045 soll der Bedarf auf zwischen 237 und fast 500 TWh steigen. Auch wenn die neue Regierungskoalition die Ausbauziele für Elektrolyseure angehoben hat, wird ein erheblicher Bedarf an Importen von (grünem) Wasserstoff bestehen. Auch wenn es mehrere Barrieren gibt, die mit grünem Wasserstoff verbunden sind, gehören die Produktionskosten zu den zentralen Hindernissen (Tholen et al., 2021). Vor der Erdgaskrise infolge des russischen Einmarsches in der Ukraine gingen Experten davon aus, dass grauer Wasserstoff eine billige Option bleiben wird. Es wird entscheidend sein, die Preisentwicklung zu verbessern und andere Hindernisse bei der Wasserstoffproduktion und -nutzung zu beseitigen.

## Aspekte im Nexus

---

Stadtwerke und kommunale Wasserwirtschaftsunternehmen erproben in verschiedenen Pilotprojekten unter welchen technischen Bedingungen Wasserstoff erzeugt und in welchen unterschiedlichen Einsatzfeldern es genutzt werden kann (Stock, 2022). Bei der Verbrennung von Wasserstoff entsteht Wasser (und Wärme). Die Literatur zur Rückführung des Wassers zur Wasserstoffproduktion ist begrenzt. Finden Wasserstoffproduktion und -nutzung nicht am selben Ort statt, ergibt sich für diese Kreislaufführung eine Herausforderung.

## 3.2 Wasserstoff in der deutschen Wasser- und Abwasserversorgung

### FACTSHEET 3:

Strukturen, Betrieb und  
Verfahren im Abwassersektor

#### Aktuelle Situation

Die Abwasserreinigung ist in Deutschland weitestgehend eine öffentliche Aufgabe, die von den Kommunen wahrgenommen wird. Es gibt 7.000 kommunale Abwasserbetriebe und damit eine kleinteilige Organisationsstruktur. Kläranlagen verbrauchen 20 % des Strombedarfs im kommunalen Bereich und damit deutlich mehr als andere kommunale Einrichtungen wie Schulen, Krankenhäuser oder Verwaltungsgebäude. Dieser 20-%ige Anteil beläuft sich in Deutschland auf insgesamt rund 4.400 GWh Strom pro Jahr. Angesichts steigender Energiepreise und des großen Handlungsbedarfs im Bereich des Klima- und Umweltschutzes wird die Rolle der Kläranlagen in diesem Zusammenhang zunehmend diskutiert. Die Frage, inwieweit nicht nur das technische, sondern auch das wirtschaftliche Potenzial für den Einsatz innovativer Technologien auf Kläranlagen vorhanden ist, hängt unter anderem von der Größe der jeweiligen Anlage ab.

Kläranlagen werden in fünf Größenklassen eingeteilt, die von unter 1.000 Einwohnerwerten (Größenklasse 1) bis über 100.000 Einwohnerwerten (Größenklasse 5) reichen. Etwa ein Drittel der Betriebskosten einer Kläranlage besteht aus Energiekosten. Eine Möglichkeit, diese zu senken, besteht darin, den in der Kläranlage anfallenden Klärschlamm zu vergären und das entstehende Faulgas in einem Blockheizkraftwerk (BHKW) vor Ort zu verstromen. Das verwendete Gas wird als CO<sub>2</sub>-neutral eingestuft und trägt dazu bei, nicht nur den Strom-, sondern auch den Wärmebedarf der Kläranlage zu decken.

Eine weitere Einsparmöglichkeit betrifft den Betrieb der Belebungsbecken, die je nach Größe der Kläranlage

etwa 50 % der Stromkosten ausmachen – in manchen Fällen sogar bis zu 80 %. Den Belebungsbecken wird Luft zugeführt, wodurch eine erhöhte Sauerstoffzufuhr für die Mikroorganismen im Becken gewährleistet wird. Die Installation von effizienten, gut dimensionierten Turbogebläsen amortisiert sich innerhalb weniger Jahre und ist gängige Praxis. Darüber hinaus kann durch den Einsatz von reinem Sauerstoff der Bedarf an Druckluft reduziert oder ganz kompensiert werden.

Auch mit der solarthermischen Klärschlamm-trocknung können Emissionen vermieden werden. Die Kläranlage in Bottrop ist eine der größten in Europa. Am Standort wird Klärschlamm mit einem Volumen von 4 Millionen Einwohnerwerten behandelt. Vor der Umstellung wurde der Klärschlamm mit Stein- und Braunkohle angereichert, um den notwendigen Heizwert für eine autarke Verbrennung zu gewährleisten. Mit dem Bau der weltweit größten solarthermischen Klärschlamm-trocknungsanlage kann nun auf Steinkohle und Braunkohle verzichtet werden. Das spart rund 70.000 Tonnen CO<sub>2</sub> pro Jahr. Elektrische Wenderoboter sorgen für eine ständige Umwälzung des Klärschlammes. Reicht die Sonneneinstrahlung nicht aus, wird die Wärme aus der Anlage selbst oder aus einem Blockheizkraftwerk geliefert.

#### Ausblick

Aufgrund des demografischen Wandels wird die deutsche Bevölkerung von derzeit etwa 83,7 Millionen Einwohnern auf 67 bis 73 Millionen Einwohner im Jahr 2060 zurückgehen. Dieser Rückgang führt zu geringeren Abwassermengen. Zu erwartende längere Trockenperioden werden zusätzlich zu vorübergehend niedrigen Abflüssen führen. Ablagerungen im Abwas-

sersystem können zu Korrosion, Geruchsbildung und einer verstärkten Ausbreitung von Ungeziefer führen. Anpassungen sind notwendig. Dies betrifft auch die zunehmenden Starkregenereignisse, die z.B. den Bau von Zwischenspeichern, aber auch die Entsiegelung von Flächen erfordern. Schließlich ist im Hinblick auf den demographischen Wandel in den kommenden Jahrzehnten mit einem steigenden Arzneimittelverbrauch zu rechnen, der die Anforderungen an die Abwasserreinigung erhöht.

### Aspekte im Nexus

Die dezentralen Strukturen des Abwassersektors bilden eine Voraussetzung für die dezentrale Wasserstoffwirtschaft. Sauerstoff als Nebenprodukt der Elektrolyse

kann für die biologische Reinigung oder die Ozonierung eingesetzt werden. An Standorten mit Klärschlammfäulung und BHKW-Nutzung bietet die Methanolproduktion Vorteile. Methanol kann mit Wasserstoff aus der Elektrolyse und abgespaltenem CO<sub>2</sub> aus den Abgasen des BHKW hergestellt werden, wodurch verschiedene Technologien synergetisch kombiniert werden. Das Methanol kann in der Kläranlage als Zusatzstoff für die Denitrifikation in der Belebtschlammstufe verwendet werden (Europäisches Patentamt, 2006). Alternative Verwendungsmöglichkeiten sind die chemische Industrie oder die Verwendung als Kraftstoff.

## FACTSHEET 4:

### Wasserstofftechnologien in der deutschen Wasser- und Abwasserversorgung

#### Aktuelle Situation

Kläranlagen werden als Möglichkeit für die dezentrale Wasserstoffherzeugung in Deutschland angesehen. Kläranlagen können Sauerstoff, der bei der Elektrolyse als Nebenprodukt anfällt, zur Abwasserbehandlung nutzen, entweder durch reinen Sauerstoff im Belebungsbecken oder durch Ozon zur Entfernung hartnäckiger Spurenstoffe. Außerdem kann die Prozesswärme der Elektrolyse zur Faulgasproduktion beitragen. Der Wasserstoff selbst kann entweder für die Stromerzeugung vor Ort, zur Beimischung ins Erdgasnetz oder für Mobilitätszwecke verwendet werden.

Einige wenige Wasserstoffprojekte, meist im Forschungs- und Entwicklungsstadium, sind auf Kläranlagen realisiert worden. Bereits 2002 / 03 wurde auf der Kläranlage Barth ein PEMEL zusammen mit einer PV-Anlage zum Betrieb des Elektrolyseurs installiert.

Während der Wasserstoff in einem Brennstoffzellenbus verwendet wurde, wurde der Sauerstoff in der Kläranlage zur Wasseraufbereitung genutzt. Durch den Zuwachs an Kunden, darunter zwei Campingplätze, erhöhte sich die Abwasserbelastung, die ein Eingreifen erforderte. Solche Belastungsspitzen wurden durch die Einspeisung von zusätzlichem Sauerstoff aus dem PEMEL bewältigt (Jentsch & Büttner, 2019). Im Projekt LocalHy wurde auf dem Gelände einer in Betrieb befindlichen Kläranlage in Sonneberg eine kleine Versuchskläranlage zusammen mit einem PEMEL errichtet. Auch hier lag der Fokus auf der Nutzung von Sauerstoff zur Abwasserreinigung in der biologischen Reinigungsstufe, die einen sehr hohen Stromverbrauch (~55 %) aufweist. Aufgrund geringer Kosten für den konventionellen Luftsauerstoff lag eine Schlussfolgerung darin, dass Elektrolyseursauerstoff zum Zeitpunkt des Projekts die Kosten für den grünen Wasserstoff nicht substantiell senken kann. Unter bestimmten Bedingungen kann der reine Sauerstoff für Klärwerke eine interessante Option darstellen.

In der Stadt Wuppertal wurde ein Elektrolyseur in einer Müllverbrennungsanlage installiert. Während der Wasserstoff einen Teil der Busflotte der Stadt versorgt, bleibt der Sauerstoff ungenutzt. Zwischen dem Betreiber der Müllverbrennungsanlage und dem örtlichen Abwasserentsorger wurden Gespräche darüber aufgenommen, wie der Sauerstoff aus dem Elektrolyseur für die Abwasserreinigung genutzt werden kann. Eine Sauerstoffpipeline zwischen den beiden Standorten stößt auf finanzielle Hindernisse.

Der Wupperverband, ein Betreiber von Klärwerken im bergischen Land, untersuchte in Forschungsprojekten die Rolle von Wasserstoff als Flexibilitätsoption und Elektrolysesauerstoff für die Ozonierung. Für die Ozonierung muss der Reinsauerstoff getrocknet und Rest-Wasserstoff entfernt werden.

Hochreiner Wasserstoff für mobile und stationäre Brennstoffzellen wurde in einer Testanlage bei der Kläranlage der Emscher-Genossenschaft in Dinslaken realisiert. Hierbei wurde Klärgas aufbereitet. In einem weiteren Projekt wurde (wasserstoffbasiertes) Methanol in Dinslaken erzeugt. Während Biogas in deutschen Kläranlagen häufig in Kraft-Wärme-Kopplung genutzt wird, um sowohl Strom als auch Wärme für relevante Prozesse zu liefern, wandelten die Forscher das Biogas aus der Kläranlage durch Methanolsynthese um. Sie gingen insbesondere davon aus, dass es wirtschaftlich sinnvoll sein kann, in Zeiten mit Stromüberschuss im Netz und geringem Wärmebedarf, vor allem im Sommer, einen leichten speicher- und transportierbaren Energieträger zu erzeugen (Klein, 2022).

Die Forscher des Sludge2P-Projekts haben sich zum Ziel gesetzt, ein neuartiges Verfahrenskonzept zu entwickeln, um Phosphat zurückzugewinnen und bei dem ein Produktgas und ein verwertbarer Dünger erzeugt werden. Bei dem Verfahren soll Wasserstoff aus dem Produktgas abgetrennt werden. Das verbleibende Restgas wird zur Beheizung des Schmelzreaktors verwendet. Das deutsche Unternehmen GRAFORCE kann für die Wasserstoffproduktion am Klärwerk zwei Technologien anbieten, um aus dem Klärschlamm und aus dem Biogas Wasserstoff zu produzieren (Opitz, 2022). Die Stadtwerke Aschaffenburg nutzen bisher grauen Wasserstoff für die Denitrifikation von oberflächen-nahem Grund-

wasser. Nitrat wird durch die (Intensiv-)Landwirtschaft über den Boden bis in das Wasser transportiert. Durch den Wasserstoff wird das Trinkwasser aufbereitet. Zukünftig soll grüner Wasserstoff hierfür genutzt werden (Gerlach, 2022).

## Ausblick

---

Die Wasserstoffherzeugung durch Elektrolyse in Kläranlagen wird derzeit nicht als wirtschaftlicher Fall betrachtet. So wird davon ausgegangen, dass die Kosten für die Wasserstoffherzeugung in Kläranlagen bei über 7 EUR/kg H<sub>2</sub> liegen (Niederste-Hollenberg et al., o. J.). Durch den Einsatz von Sauerstoff in der Abwasserbehandlung können die Wasserstoffproduktionskosten gesenkt werden, doch scheint politische Unterstützung erforderlich. Für die Kosten der Wasserstoffherzeugung aus Klärschlamm (durch Pyrolyse oder Vergasung) liegen keine belastbaren Daten vor. Die lokale oder dezentrale Wasserstoffherzeugung wird im politischen Rahmen der deutschen Bundesregierung kaum berücksichtigt.

## Aspekte im Nexus

---

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die Wasser- und Abwasserwirtschaft verschiedene Ressourcen bereitstellen, um Wasserstoff zu produzieren. Hierzu zählen neben Frischwasser und entsalztem Meerwasser auch gereinigtes Abwasser, Klärschlamm, Zentratwasser und Biogas. Auch Nutzungsmöglichkeiten bestehen, wobei dies von den eingesetzten Wasserstoffproduktionsverfahren und den damit verbundenen (erwünschten) Nebenprodukten abhängt. Klärwerke können theoretisch alle aus der Elektrolyse entstehenden Produkte sinnvoll nutzen, wobei die Wirtschaftlichkeit noch nicht gegeben ist. Entsprechende Preissignale aus dem Stromsystem können den Einsatz von Elektrolyseuren (oder anderen Verfahren) als Flexibilitätsoption attraktiver machen.

### 3.3 Rahmenbedingungen in Deutschland

#### FACTSHEET 5:

##### Rahmenbedingungen für Wasserstoff

#### Aktuelle Situation

In den Plänen der Bundesregierung zur erfolgreichen Umsetzung der Energiewende und zur Erreichung der Klimaschutzziele spielt Wasserstoff eine Schlüsselrolle. Der Fokus liegt dabei auf grünem Wasserstoff. Ziel ist es, mit diesem grünen Wasserstoff die CO<sub>2</sub>-Emissionen insbesondere in Industrie und Verkehr deutlich zu reduzieren. Neben den klimapolitischen Aspekten wird den Technologien des grünen Wasserstoffs ein großes Potenzial an Arbeitsplätzen und neuen Märkten zugeschrieben. Ziel für Deutschland ist es daher, seine weltweite Vorreiterrolle in der Wasserstofftechnologie auszubauen bzw. zu erhalten. Bereits heute werden in Deutschland etwa 55 TWh bis 60 TWh Wasserstoff produziert und verbraucht, wobei es sich überwiegend um grauen Wasserstoff aus Erdgas und nur zu etwa 5 % um grünen Wasserstoff handelt.

Als ersten konkreten Schritt hat die Bundesregierung im Jahr 2020 ihre Nationale Wasserstoffstrategie veröffentlicht. Sie definiert die Schritte, die notwendig sind, um zur Erreichung der Klimaziele beizutragen, neue Wertschöpfungsketten für die deutsche Wirtschaft zu schaffen und die internationale energiepolitische Zusammenarbeit weiter auszubauen.

#### Ausblick

Die EU plant die Importabhängigkeit von Russland deutlich zu reduzieren. Dies soll im Rahmen des „Repower EU“ auch durch die verstärkte Nutzung von Wasserstoff erfolgen (Kantz, 2022). Deutschland muss bis 2030 ehrgeizige Klimaschutzziele erreichen, die ohne einen ambitionierten Ausbau der Wasserstoffwirtschaft nicht zu schaffen sind. Laut dem von der Bundesregierung

berufenen Wasserstoffrat (als unabhängiges, überparteiliches Beratungsgremium) sind einige zentrale energiepolitische Voraussetzungen für eine funktionierende Wasserstoffwirtschaft unabdingbar. Dazu gehören z.B. 1) der ambitioniertere Ausbau der erneuerbaren Energien in Deutschland und Europa, 2) die Industrialisierung und Etablierung einer leistungsfähigen Elektrolyseur-Industrie, einschließlich der Zuliefererlandschaft und der Senkung der Kosten für Wasserstoff, 3) die Reform des Steuer-, Abgaben- und Umlagesystems, 4) der Ausbau der Infrastruktur oder 5) europäisch harmonisierte technische Vorschriften und Regelwerke.

Die Bundesregierung stellt umfangreiche Mittel für die Umsetzung der nationalen Wasserstoffstrategie zur Verfügung. Im Rahmen des Konjunkturpakets 2020 hat die Bundesregierung neun Milliarden Euro (sieben Milliarden Euro für den nationalen Markt, zwei Milliarden Euro für internationale Partnerschaften) für die Umsetzung der Strategie vorgesehen. So stellt das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz 900 Mio. Euro für das Programm „H<sub>2</sub>Global“ zur Verfügung. Mit diesem Programm soll der Markt für grünen Wasserstoff über sogenannte Doppelauktionsverfahren vorangetrieben werden. Um Angebot und Nachfrage aufeinander abzustimmen, schließt ein zwischengeschaltetes Unternehmen langfristige Kaufverträge auf der Angebotsseite und kurzfristige Verkaufsverträge auf der Nachfrageseite ab. Unter Beachtung von Nachhaltigkeitskriterien erhält der niedrigste Gebotspreis bzw. der höchste Verkaufspreis den Zuschlag.

In der nationalen Wasserstoffstrategie wird für das Jahr 2030 eine inländische Produktion von grünem Wasserstoff von 5 GW angestrebt, die von der neuen Regierungskoalition in Deutschland um weitere 5 GW erhöht wurde. Da diese Produktion bei weitem nicht ausreichen wird, um den Bedarf zu decken, wird ein Großteil des Wasserstoffs importiert werden müssen.

Der Deutsche Wasserstoffrat fordert daher auch, eine deutlich höhere Elektrolysekapazität anzustreben, die durch den Ausbau zusätzlicher erneuerbarer Energien gesichert wird.

Um die Umsetzung der Strategie zu gewährleisten, müssen zahlreiche bestehende Gesetze, Verordnungen, Programme und Normen angepasst oder neu formuliert werden. Insbesondere besteht ein großer Bedarf, ein einheitliches bzw. europäisch harmonisiertes System von zertifizierten und standardisierten Herkunftsnachweisen für klimaneutralen Wasserstoff zu entwickeln.

### Aspekte im Nexus

Bisher sind keine Herausforderungen einer Wasserstoffproduktion in Deutschland hinsichtlich der Verfügbarkeit der H-Träger aus der Wasser- und Abwasserwirtschaft einschlägig bekannt, wobei dies ggf. auf eine

Forschungslücke hindeutet. Die Wassernutzung durch Unternehmen stand in jüngster Zeit im Mittelpunkt von lokalen Protesten (z. B. Lüneburg, Grünheide) und lässt möglicherweise auf Widerstände gegen eine zukünftige Elektrolyse-Wirtschaft schließen, die schließlich Wasser benötigt. Extremwetter werden Einfluss auf die Wasserverfügbarkeit in Deutschland haben und saisonal die Bedingungen verschärfen. Die Nutzung von Ressourcen aus der Abwasserwirtschaft kann diesen Konflikt in Teilen auflösen. Im Kontext zunehmender Dürreperioden und eingeschränkter Frischwasserverfügbarkeit kann die Nutzung von Abwasserressourcen bei der Verstärkung der Wasserstoffproduktion in Hitzeperioden helfen. Da Deutschland aber überwiegend Wasserstoff importieren wird, werden Konflikte vermutlich eher im Ausland auftreten. Elektrolyse-Wasserstoff steht gegenwärtig im politischen und öffentlichen Mittelpunkt, wodurch andere Verfahren, die auch eine dezentrale Wasserstoffproduktion ermöglichen können, weniger Aufmerksamkeit erhalten.

## FACTSHEET 6: Rahmenbedingungen im Wasser- und Abwassersektor

### Aktuelle Situation

Seit den Dürreereignissen in den Sommern 2018-2020 und den fatalen Überschwemmungen im Sommer 2021 ist die Ressource „Wasser“ in Deutschland stärker in den Fokus der Öffentlichkeit und Politik gerückt. Die deutsche Bevölkerung ist es gewohnt, dass Wasser zu jeder Zeit, in jeder Menge und in bester Qualität zur Verfügung steht. Im Durchschnitt verbrauchte jede Person in Deutschland im Jahr 2016 rund 123 Liter Trinkwasser pro Tag. Durch den Klimawandel gerät die Ressource Wasser jedoch zunehmend unter Druck. Trockene Sommer lassen den Grundwasserspiegel sinken und die Bodenfeuchtigkeit abnehmen; Wasserspeicher und Abwassersysteme müssen sich an die veränderten Bedingungen anpassen. Zudem wird vor allem in Regio-

nen mit intensiver Landwirtschaft das Nitrat zu einem Problem für das Grundwasser. Trinkwasser ist jedoch nach wie vor in hoher Qualität verfügbar; die Wasserqualität wird sehr häufig – oft täglich – kontrolliert. Außerdem ist es viel billiger als Wasser in Flaschen: Ein Liter Trinkwasser aus dem Hahn kostet weniger als einen Eurocent.

Wasserversorgung und Abwasserentsorgung sind in Deutschland Kernaufgaben der öffentlichen Daseinsvorsorge und liegen in der Verantwortung der Kommunen. Deren demokratisch legitimierte Gremien treffen die strategischen Entscheidungen über Organisationsformen, Beteiligungen und Kooperationen.

Die Europäische Wasserrahmenrichtlinie ist der zentrale Ordnungsrahmen für den Schutz, die Bewirtschaftung

und die Nutzung der Gewässer in Europa und setzt weitreichende Ziele für den biologisch-ökologischen, physikalisch-chemischen und mengenmäßigen Zustand von Grundwasser, Oberflächengewässern und Küstengewässern. Diese EU-Richtlinie ist in deutsches Recht umgesetzt worden. Doch obwohl die Belastung der Gewässer mit anthropogenen Stoffeinträgen in Deutschland in den letzten Jahrzehnten zurückgegangen ist, erfüllen vor allem die Oberflächengewässer durch ubiquitäre Stoffe wie Quecksilber oder bromierte Diphenylether sowie Düngemittel- und Pflanzenschutzmittel die Standards nicht. Neben der Europäischen Wasser-Rahmenrichtlinie gibt es ein umfangreiches und oft komplexes Regelwerk für Stoffe. Dazu gehören zum Beispiel Registrierungs- und Zulassungsanforderungen für Chemikalien, Pflanzenschutzmittel und Arzneimittel, Emissionen für Abwassereinleitungen und Qualitätsstandards für Gewässer. Zum Schutz und nachhaltigen Umgang mit der Ressource Wasser liegt gegenwärtig ein innerhalb der Bundesregierung abgestimmter Entwurf der nationalen Wasserstrategie vor.

### Ausblick

---

Der demografische Wandel und der Klimawandel werden in den kommenden Jahrzehnten voraussichtlich zu großen Herausforderungen für die deutsche Wasserwirtschaft werden. Im Allgemeinen sind ausreichende Wasserressourcen vorhanden, allerdings rechnet die Branche mit längeren Dürreperioden (was den Konflikt zwischen Bewässerungs- und Trinkwasser verschärft) und häufigeren lokalen Starkregenfällen aufgrund des Klimawandels. Auch der demografische Wandel wird voraussichtlich regionale Auswirkungen haben: In einigen Regionen wird die Wassernachfrage und die Abwasserproduktion zurückgehen, während insbesondere in städtischen Gebieten der Bedarf steigen wird.

Im Rahmen des Europäischen Green Deals hat die Europäische Kommission 2021 einen „Aktionsplan zur Bekämpfung der Verschmutzung von Luft, Wasser und Boden“ veröffentlicht. Der Aktionsplan integriert alle relevanten EU-Politiken im Bereich der Verschmutzungsbekämpfung und -vermeidung, wobei ein besonderer Schwerpunkt auf der Nutzung digitaler Lösungen liegt. Außerdem ist eine Überprüfung der einschlägigen

EU-Rechtsvorschriften vorgesehen, um zu ermitteln, wo noch Lücken bestehen und wo eine bessere Umsetzung erforderlich ist, um diese rechtlichen Verpflichtungen zu erfüllen.

Ein weiteres anstehendes Thema für den Wassersektor wird die Instandhaltung und Erneuerung der bestehenden Infrastruktur sein. Die kontinuierliche Instandhaltung der Infrastruktur und der zugehörigen Anlagen gehört zu den Aufgaben der Wasserversorger. Auf diese Weise stellen sie den Betrieb und die Leistungsfähigkeit der Anlagen sicher. In den kommenden Jahren werden erhebliche Investitionen in die grundlegende Erneuerung und den Ausbau der Infrastruktur und der Anlagen notwendig sein, um diese langfristig zu sichern, an neue Anforderungen anzupassen und den Substanzwert für die Kommunen zu erhalten.

### Aspekte im Nexus

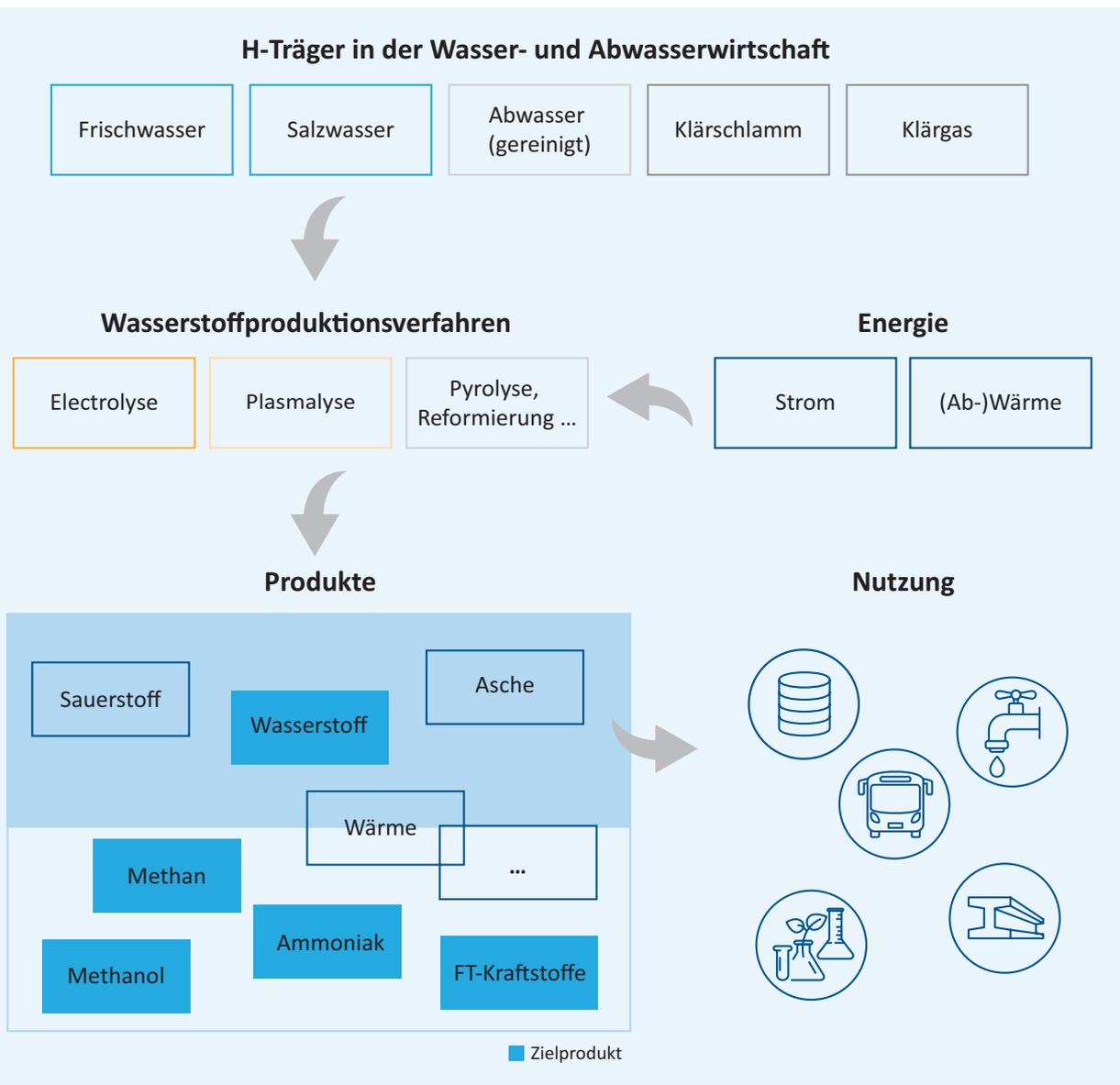
---

In Deutschland konnte der Wasserverbrauch über die letzten Jahre deutlich reduziert werden. Kann dieser Trend fortgeführt werden, bestünden Potenziale für eine elektrolyse-basierte Wasserstoffwirtschaft, die nicht zu Zerwürfnissen mit anderen Wassernutzer\*innen führt. In der Nationalen Wasserstrategie werden „innovative Energieträger wie Wasserstoff“ thematisiert; ihre Produktion soll andere Wassernutzungen nicht beeinträchtigen. Aktuell in der Diskussion ist die Frage, ob eine vierte Reinigungsstufe gesetzlich verpflichtend für Kläranlagen eingeführt werden soll. Da die Ozonierung von Abwässern hierbei eine Möglichkeit darstellt und Ozon via Elektrolysesauerstoff hergestellt werden kann, kann eine solche Regelung ein Treiber für eine dezentrale Wasserstoffwirtschaft auf Kläranlagen werden unter der Voraussetzung, dass der Wasserstoff entsprechend sinnvoll eingesetzt werden kann. Aufgrund zukünftiger Wasserstoffimporte nach Deutschland müssen wasser- und abwasserrechtliche Rahmenbedingungen in den Partnerländern analysiert werden.

### 3.4 Wasser-Wasserstoff-Nexus

Der hier verstandene Wasser-Wasserstoff-Nexus zeichnet sich dadurch aus, dass der Wasser- und Abwassersektor mit Blick auf die Wasserstoffproduktion in den Mittelpunkt rückt. Hierdurch zeigen sich die verschiedenen H-Träger aus dem Sektor.<sup>2</sup> Diese verschiedenen Trägerstoffe benötigen unterschiedliche Verfahren, um das Zielprodukt (Wasserstoff) herzustellen, der schließlich kontextspezifischen Anwendungen zugeführt werden kann (z. B. Schwerlastverkehr, ÖPNV). Die Verfahren

benötigen auch eine Form von Energie (z. B. Strom). Neben dem Zielprodukt ergeben sich auch weitere Nebenprodukte (z. B. Sauerstoff, Abwärme), die idealerweise in Wert gesetzt werden können (z. B. bei der Ozonierung). Durch die vollständige Verwertung aller Produkte können Kosten minimiert bzw. Zusatznutzen erreicht werden. Die folgende Abbildung gibt einen Überblick über den Wasser-Wasserstoff-Nexus.



**Abbildung 4**  
 Der Wasser-Wasserstoff-Nexus als konzeptuelle Grundlage im Projekt (eigene Darstellung)

<sup>2</sup> Zwar benötigen Erdgas-basierte Wasserstoffverfahren wie die Dampfreformierung auch Wasser. Da aber Erdgas ein nicht nachwachsender Rohstoff ist, wurde auf die schematisch-konzeptuelle Einbettung verzichtet, auch um die Aufmerksamkeit während der Workshops auf langfristig nachhaltige Formen der Wasserstoffproduktion zu richten.

## 4 | Perspektiven einer jordanischen Wasserstoffwirtschaft

Zum Zweck der Identifikation von Chancen und Herausforderungen für eine dezentrale Wasserstoffwirtschaft in Jordanien wurden Factsheets auf Basis einer Literaturrecherche sowie der Inhalte der Workshops entwickelt.

### 4.1 Chancen und Herausforderungen für Wasserstoff in Jordanien

#### FACTSHEET 7: Investitionsbedingungen in Jordanien

##### Aktuelle Situation

Nach Ansicht der Deutsch-Arabischen Industrie- und Handelskammer (AHK, 2020) ist Jordanien ein gutes Investitionsziel, da König Abdullah II. bestrebt ist, die jordanische Wirtschaft zu öffnen und ein geeignetes Umfeld für ausländische Investoren zu schaffen. Mehrere Handelsabkommen mit der Europäischen Union ermöglichen Jordanien bereits einen reibungslosen Zugang zum europäischen Markt. Laut dem Doing Business Index liegt Jordanien in Bezug auf das Investitionsklima auf Platz 75 von 190 Ländern. Zum Vergleich: Deutschland befindet sich auf Platz 22 (Weltbank, 2021). Dem Ranking zufolge schneidet Jordanien in den Bereichen Unternehmensgründungen und Baugenehmigungen schlechter ab, während die Bedingungen in den Bereichen Steuern, Elektrizität und Verfügbarkeit von Krediten besser sind.

Im Rahmen seiner internationalen Energiepolitik unterstützt Deutschland Jordanien bei der Entwicklung des Sektors der erneuerbaren Energien. In diesem Zusammenhang wurde der „Energiedialog“ ins Leben gerufen, die „Exportinitiative Energie des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie“ umgesetzt und Exportkreditgarantien, wie die „Sonderinitiative Erneuerbare Energien“, eingerichtet. Darüber hinaus unterstützt die Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW) Solar- und Wind-

energieprojekte, wobei das PV-Projekt im Flüchtlingslager Za’atari das bekannteste ist. Auch Frankreich und Japan engagieren sich für jordanische Projekte im Bereich der erneuerbaren Energien: So hat die französische Entwicklungsagentur (AFD) die Initiative SUNREF (Sustainable Use of Natural Resources and Energy Finance) ins Leben gerufen, die darauf abzielt, kleinere Projekte im Bereich der erneuerbaren Energien in Privathaushalten und Unternehmen umzusetzen, während die japanische Bank für internationale Zusammenarbeit (JBIC) Kredite für Großprojekte wie das Shams Ma’an-Projekt anbietet (ebd.). Auch die Europäische Union hat mehrere Programme aufgelegt und fördert die Entwicklung erneuerbarer Energien in Jordanien auf der Grundlage des „Assoziierungsabkommens zwischen der Europäischen Union und dem Haschemitischen Königreich Jordanien“. Zwischen 2017 und 2020 standen insgesamt 410,10 Mio. EUR für die soziale und wirtschaftliche Entwicklung Jordaniens zur Verfügung, wobei die erneuerbaren Energien eine der wichtigsten Säulen innerhalb dieser Mittel bildeten. Die Europäische Bank für Wiederaufbau und Entwicklung (EBRD) finanziert bis zu 35 % der gesamten Projektkosten von Anlagen für erneuerbare Energien und hat bisher 1,5 Milliarden Euro für 50 Projekte bereitgestellt. So war die EBRD beispielsweise an der Finanzierung des großen Windparks Al Rajef und des Windenergieprojekts Shobal beteiligt. Auch andere internationale Organisationen stellen Kapital für Projekte in den Bereichen Energieeffizienz

und erneuerbare Energien in Jordanien zur Verfügung. So waren beispielsweise der Globale Fonds für Energieeffizienz und erneuerbare Energien (GEEREF) oder der OPEC-Fonds für internationale Entwicklung (OFID) an einigen Solar- und Windkraftprojekten beteiligt. Das bekannteste von OFID unterstützte Projekt ist das 117-MW-Windenergieprojekt Tafila (AHK, 2020).

Laut IRENA (IRENA, o. J.) gab es in den vergangenen Jahrzehnten zahlreiche internationale Finanzströme für erneuerbare Energien nach Jordanien. Die Finanzierungsströme umfassen verschiedene Arten von Finanzierungen, wie z. B. Kapitalbeteiligungen, grüne Anleihen, Investitionsfonds, Zuschüsse und Darlehen von internationalen Institutionen und Kreditgebern für Technologien im Bereich der erneuerbaren Energien.

### Ausblick

---

Jordanien verfügt über einen stabilen und starken Bankensektor, der zum einen den Zugang zu Kapital erleichtert und zum anderen das Investitionsklima verbessert. Die regelmäßig vom Ministerium für Energie und Bodenschätze veröffentlichten Ausschreibungen für erneuerbare Energien ziehen private Unternehmen zur Durchführung von Projekten an (AHK, 2020). Was grünen Wasserstoff und seine Wertschöpfungskette angeht, hat Jordanien noch einen langen Weg vor sich. Für die Finanzierung von Projekten werden konkrete öffentliche und private Finanzierungsmechanismen benötigt. Bei den Finanz- und Bankinstituten müssen Kenntnisse und Fachwissen über grünen Wasserstoff aufgebaut werden, um den Kapitalzugang zu erleichtern. Hier dürften die Erfahrungen bei der Beschaffung von Finanzmitteln für erneuerbare Energien sowohl von lokalen Banken als auch von internationalen Finanzinstituten und das stabile Investitionsklima hilfreich sein, insbesondere zu Beginn der Entwicklung von grünem Wasserstoff (Wuppertal Institut et al., 2022).

Das Ausbildungsniveau junger Menschen ist im Allgemeinen als gut zu bezeichnen – eine wichtige Voraussetzung, um Investitionen in kapitalintensive Anlagen zu betreiben und zu erhalten. Allerdings müssen spezifische Kapazitäten für Produktion von und den Umgang mit Wasserstoff geschaffen werden. Hierfür planen die

German-Jordanian-University und die Fachhochschule Würzburg-Schweinfurt den Transfer eines Curriculums für Wasserstofftechnologie. Diese Zusammenarbeit dient auch dem Zweck, entsprechende Fachkräfte jenseits der jordanischen Grenzen auszubilden (Al-Halhouli, 2022; Al-Salaymeh, 2022).

### Aspekte im Nexus

---

Aufgrund des relativ guten Investitionsklimas, des Engagements unterschiedlicher Geberländer und einigen Erfahrungen im Bereich klimafreundlicher Projekte erfüllt Jordanien wichtige Bedingungen für die Umsetzung kapitalintensiver Wasserstoffprojekte. Genannte Herausforderungen müssen allerdings angegangen werden und Aspekte im Nexus zusammengedacht werden. Denn insbesondere bei der Elektrolyse ist die Ressource Wasser ein wichtiger Input-Faktor für den dauerhaften Anlagenbetrieb.

## FACTSHEET 8:

### Energieangebot und -nachfrage in Jordanien

#### Aktuelle Situation

Jordanien verfügt nicht wie andere Länder in der Region über reichlich Öl- und Gasvorkommen, abgesehen von Ölschiefervorkommen, die erst seit kurzem erschlossen werden. Jordanien importiert daher rund 90 % seiner Energie, um den steigenden nationalen Bedarf zu decken (IRENA, 2021). Im Jahr 2018 wurde ein beträchtlicher Betrag von 10 % des öffentlichen Haushalts für die Sicherung der Energieversorgung durch Importe ausgegeben (Abu-Rumman et al., 2020). Vor diesem Hintergrund und angesichts der Unterbrechung der irakischen Ölversorgung im Jahr 2003, der ägyptischen Erdgaskrise im Jahr 2011 sowie des enormen Zustroms von Flüchtlingen und des daraus resultierenden Anstiegs der Energienachfrage hat sich Jordanien auf die Entwicklung erneuerbarer Energien als heimische Energiequelle konzentriert. Die Energiewende hin zu erneuerbaren Energien wird also in erster Linie von der Notwendigkeit angetrieben, die Energiesicherheit zu gewährleisten und die Abhängigkeit von Importen zu verringern. Und Jordanien hat in den letzten zehn Jahren erhebliche Fortschritte bei der Nutzung erneuerbarer Energien gemacht. Der Anteil der erneuerbaren Energien an der Stromerzeugung lag im Jahr 2020 bei 20 % und hat das Potenzial, in Zukunft noch weiter zu steigen.

Jordanien zeichnet sich durch eine stetig steigende Energienachfrage aus, die durch die industrielle Entwicklung, die Urbanisierung und den demografischen Wandel bedingt ist. Im Jahr 2019 belief sich der Gesamtendenergieverbrauch Jordaniens auf 6.465 ktoe, wobei der Mobilitätssektor den größten Anteil des Verbrauchs ausmachte, gefolgt vom Wohnsektor, der Industrie und dem Sektor der gewerblichen und öffentlichen Dienstleistungen (IEA, 2022a). Bei der Stromerzeugung in Jordanien dominieren erdgasbetriebene Kraftwerke. Jordanien verfügt über ein Terminal für verflüssigtes Erdgas (LNG) in Aqaba, das 2015 in Betrieb genommen wurde und zur Diversifizierung der Erdgasressourcen ausgebaut werden soll. Seit 2020 im-

portiert Jordanien auch Erdgas aus Israel. Die National Electric Power Company (NEPCO) zählte im Jahr 2020 eine installierte Gesamtkapazität von 5.424 MW. Die installierte und ans Netz angeschlossene Kapazität an erneuerbaren Energien beläuft sich auf 2.280,5 MW, von denen mehr als 35 % im Rahmen des Net-Metering- und Wheeling-Systems angeschlossen sind. Bis 2030 wird die installierte Kapazität an erneuerbaren Energien schätzungsweise 3.300 MW erreichen. Die nationale Gesamtstrategie für den Energiesektor für 2020-2030 sieht vor, dass bis 2030 31 % der gesamten Stromerzeugung und 14 % des gesamten Energiemixes aus erneuerbaren Energiequellen stammen werden (IRENA, 2021).

Wie in den meisten Ländern des Nahen Ostens und Nordafrikas (MENA) ist der Energiesektor durch ein hohes Maß an staatlicher Beteiligung und Regulierung gekennzeichnet. Im Gegensatz zu anderen Ländern begann Jordanien jedoch bereits 1996 mit der Entflechtung des Stromsektors. Im Jahr 2002 liberalisierte Jordanien seine Stromerzeugung und erlaubte private Investitionen durch IPPs (Independent Power Producers). NEPCO fungiert jedoch weiterhin als einziger Käufer von Strom und ist weiterhin Eigentümer und Betreiber des Übertragungsnetzes. Die NEPCO ist auch für die Aushandlung von Stromabnahmeverträgen mit den IPPs zuständig. Auf der Verteilungsebene sind die drei Verteilerunternehmen JEPSCO (Jordan Electric Power Company), EDCO (Electricity Distribution Company) und IDECO (Irbid District Electricity Company) zuständig (Franceschini, 2019).

Um den Einsatz erneuerbarer Energien zu fördern, wurde eine Reihe von Initiativen und politischen Maßnahmen eingeführt. So werden beispielsweise der vorrangige Zugang und die vorrangige Einspeisung für erneuerbare Energien garantiert, und die Einrichtung einer zentralen Anlaufstelle bei der Energy and Minerals Regulatory Commission (EMRC) trägt dazu bei, die Investitionen des Privatsektors in erneuerbare Energien zu fördern, da sie viele Verfahren vereinfacht (RCREEE, 2013). Darüber hinaus haben gezielte finanzielle Anrei-

ze der Regierung, wie z. B. Einspeisetarife, Steuer- und Zollbefreiungen, die Einführung erneuerbarer Energien unterstützt (IRENA, 2018). Insgesamt gilt der politische und regulatorische Rahmen für erneuerbare Energien in Jordanien als einer der fortschrittlichsten in der MENA-Region. Projekte für erneuerbare Energien werden in der Regel auf drei Wegen realisiert: IPPs können an Ausschreibungen für Projekte im Rahmen des Build-Own-Operating-Modells (BOO) teilnehmen und langfristige Stromabnahmeverträge (PPA) mit NEPCO unterzeichnen; Projekte in staatlichem Besitz, die als Engineering-, Beschaffungs- und Bauverträge (EPC) angeboten werden, oder Projekte für den Eigenverbrauch (Wheeling und Net Metering). Große Photovoltaik-Kraftwerke befinden sich vor allem in der südlichen Ma'an-Region und haben eine Kapazität zwischen 10 und 50 MW. Ebenso gibt es zahlreiche Windparks, wie zum Beispiel das Windkraftwerk Tafila mit einer Kapazität von 117 MW (Abu-Rumman et al., 2020). Bislang sind jedoch vor allem kleine Wheeling- und Net-Metering-Projekte vorherrschend, die einen wesentlichen Beitrag zum Anteil der erneuerbaren Energien am Strommix leisten. Ein Engpass für den weiteren Ausbau der erneuerbaren Energien in Jordanien sind jedoch die technischen Beschränkungen des Stromnetzes. Um eine Instabilität des Netzes zu verhindern, hat das Ministerium für Energie und Bodenschätze (MEMR) für 2019 eine Obergrenze für netzgekoppelte Erneuerbare-Energien-Projekte über 1 MW festgelegt, die gilt, bis Analysen zur Netzstabilität durchgeführt werden (Franceschini, 2019; IRENA, 2021).

## Ausblick

---

Neben den allgemeinen Herausforderungen im Energiesektor, wie der hohen Abhängigkeit von importierten fossilen Brennstoffen und den damit verbundenen Kosten sowie der Sicherung der Energieversorgung bei steigender Nachfrage, gehören Systemintegration und Netzstabilisierung zu den wichtigsten Herausforderungen für den weiteren Ausbau der erneuerbaren Energien in Jordanien (Aldohni, 2022). Hinzu kommt, dass Jordanien derzeit einen Überschuss an Stromerzeugung hat, was weitere Fragen in Bezug auf Speicherung, Netzausbau und Vernetzung aufwirft, deren Beantwortung immer dringlicher wird.

Um diesen Herausforderungen angesichts des steigenden Anteils an intermittierender Solar- und Windenergie zu begegnen, werden die Entwicklung von Speicheroptionen, die Erforschung der Sektorkopplung und andere Flexibilitätsoptionen diskutiert. So ist beispielsweise ein groß angelegtes Lithium-Ionen-Batterieprojekt mit einer Energiespeicherkapazität von 12 MWh geplant, das an einen 23-MW-PV-Park gekoppelt ist, um den elektrischen Speicher flexibel einsetzen zu können. Eine weitere Speichertechnologie, die eine wichtige Rolle spielen soll, ist die Pumpspeicherung von Energie aus Wasserkraft (PHES). In diesem Zusammenhang werden mehrere Machbarkeitsstudien durchgeführt, um die Durchführbarkeit von PHES-Projekten zu bewerten, wobei dem Al-Mujib mit 200 MW Kapazität das größte Potenzial zugeschrieben wird (IRENA, 2021). Darüber hinaus wird in Jordanien auch die Elektromobilität propagiert, hier ist das Land einer der Vorreiter in der MENA-Region, was den Einsatz angeht (Shalalfeh et al., 2021). Weitere Optionen, die geprüft werden sollten, sind Maßnahmen zur Laststeuerung, d.h. Demand Side Management, sowie die Nutzung von Synergien durch Digitalisierung, Speicherung und Mobilität.

## Aspekte im Nexus

---

Deutschland arbeitet in Energiefragen eng mit Jordanien zusammen und hat im Jahr 2020 die Deutsch-Jordanische Energiepartnerschaft gegründet, die eine Plattform für einen intensiven Austausch zu energierelevanten Themen bietet. Die stabile politische Lage und das hervorragende Potenzial für erneuerbare Energien bilden eine gute Ausgangslage für die Wasserstoffproduktion in Jordanien. In diesem Zusammenhang muss berücksichtigt werden, welche Rolle Wasserstoff für das jordanische Energiesystem spielen soll, da davon auch abhängig ist, ob Elektrolyseure netzgebunden sind oder Inselösungen werden.

## FACTSHEET 9:

### Die Ressource Wasser in Jordanien

#### Aktuelle Situation

Jordanien gilt als eines der wasserärmsten Länder der Welt, und die Wasserversorgung des Landes wird als sehr gefährdet angesehen. Grundwasser gilt als die wichtigste Quelle für die Wasserversorgung in Jordanien. Nahezu zwei Drittel des Wassers stammen aus Grundwasserleitern, aus denen das Wasser in einem nicht nachhaltigen Ausmaß abgepumpt wird (Whitman, 2019). Etwa 51 % des Wasserverbrauchs entfallen auf die Landwirtschaft, 45 % auf die Haushalte und 4 % auf die Industrie. Der jährliche individuelle Wasserverbrauch liegt bei 100 m<sup>3</sup> pro Kopf, verglichen mit einem globalen Durchschnitt von 5.700 m<sup>3</sup> (International Trade Administration, 2022; Ritchie & Roser, 2017). Die verfügbaren erneuerbaren Wasserressourcen pro Kopf nehmen aufgrund des Bevölkerungswachstums und des Zustroms von Flüchtlingen stetig ab. Diebstähle und Lecks in kommunalen Wassernetzen verschärfen die Wassersituation zusätzlich (Whitman, 2019); dieses sogenannte non-revenue water beläuft sich auf 50 % der Wasserförderung. Stromkosten machen 57 % der Betriebskosten des Wassersektors aus. Darüber hinaus werden die Auswirkungen des Klimawandels das Risiko von Wasserknappheit wahrscheinlich erhöhen, da sich die Niederschlagsmuster ändern und die steigenden Temperaturen die Verdunstung beschleunigen. Da die Wassernachfrage schon heute das Angebot aus Grundwasserleitern, Oberflächengewässern und Seen übersteigt, bemüht sich Jordanien um eine Diversifizierung der Wasserversorgungsquellen, z. B. durch Entsalzung.

Die jordanische Regierung unterstützt den Ansatz eines leistungsorientierten Betriebs von Kläranlagen, die hauptsächlich vom Privatsektor im Rahmen eines BOT-Vertrags (Build-Operate-Transfer) betrieben werden. Die jüngste Verbesserung von 33 bestehenden Kläranlagen hat zu einem reibungsloseren Betrieb und Management beigetragen und damit die angespannte Wassersituation entschärft. So konnte die Menge des aufbereiteten Wassers, das für die Landwirtschaft und die Industrie

verwendet wird, von 110 auf über 144 Millionen m<sup>3</sup> pro Jahr erhöht werden (Wuppertal Institut et al., 2022). Diese Aufrüstung ermöglichte auch eine erhebliche Steigerung der Wassermenge, die für die kommunale Wassernutzung genutzt werden kann (ebd.).

#### Ausblick

Um der Wasserknappheit entgegenzuwirken, wurden mehrere Entsalzungs- und Wasseraufbereitungsprojekte mit verschiedenen Technologien, wie z.B. Umkehrosmose, durchgeführt oder sind in Planung. Darüber hinaus ist mit dem Wasserentsalzungs- und -überleitungsprojekt Aqaba-Amman ein Großprojekt zur Verbesserung der Wassersituation geplant (Roscoe, 2022). Das Projekt soll jährlich etwa 300 Mio. m<sup>3</sup> entsalztes Wasser produzieren, wovon 250 Mio. m<sup>3</sup> nach Amman und in andere Regionen gelangen sollen. Über die restlichen 50 Mio. m<sup>3</sup> wird noch entschieden bzw. können vsl. vom Betreiber marktwirtschaftlich genutzt werden (Marar, 2022; Tetra Tech International Development, 2022).

#### Aspekte im Nexus

Vor dem Hintergrund der derzeit bereits sehr angespannten Wassersituation in Jordanien wird Wasser eine der größten Herausforderungen für die Etablierung einer grünen Wasserstoff-Wertschöpfungskette in dem Land sein. Ohne verfügbare Grund- oder Oberflächenwasserressourcen muss die Erzeugung von grünem Wasserstoff durch die großflächige Implementierung von Meerwasserentsalzungsanlagen begleitet werden. Bei der Entwicklung von Entsalzungsanlagen für die Produktion von grünem Wasserstoff müssen die Verfügbarkeit von Land und die Landnutzung entlang der Küste des Roten Meeres berücksichtigt werden. Jordanien kann zwar als vielversprechender Fall für die Produktion von grünem Wasserstoff angesehen werden, da

es über langjährige Erfahrungen mit öffentlich-privaten Partnerschaften (PPP) verfügt, doch könnte die gesellschaftliche Akzeptanz der Wassernutzung für die Wasserstoffproduktion angesichts der Wasserknappheit in Jordanien eine Herausforderung darstellen (Wuppertal

Institut et al., 2022). Sollte der Betreiber der geplanten Entsalzungsanlage die 50 Mio. m<sup>3</sup>, die er jährlich zur freien Verfügung hat, an Wasserstoffproduzenten vermarkten, ist eine groß-skalige Wasserstoffproduktion durch die Elektrolyse möglich.

## FACTSHEET 10: Perspektiven einer jordanischen Wasserstoffproduktion

### Aktuelle Situation

---

Bislang ist grüner Wasserstoff kein Bestandteil der jordanischen Energiestrategie 2020-2030. Nach Angaben des jordanischen Ministeriums für Energie und Bodenschätze arbeitet das Land jedoch derzeit an einem nationalen Fahrplan für grünen Wasserstoff und Derivate (The Jordan Times, 2021). In Zusammenarbeit mit der deutsch-jordanischen Energiepartnerschaft und niederländischen Partnern werden derzeit mehrere Studien und Konsultationen durchgeführt, um den Entwurf und die Ausarbeitung des nationalen Fahrplans für grünen Wasserstoff zu unterstützen (Marar 2022). Der Entwurf des Fahrplans, der 2022 fertiggestellt werden soll, wird von Regierungs-, Gesetzgebungs- und öffentlichen Stellen in Jordanien validiert werden.

Die erste Absichtserklärung mit Schwerpunkt auf grünem Wasserstoff wurde während der COP26 in Glasgow von der jordanischen Regierung und dem australischen Konzern „Fortescue“ unterzeichnet (Atchison, 2021). Im Rahmen dieser Absichtserklärung vereinbarten die Partner die Durchführung von Machbarkeitsstudien für ein 5-GW-Elektrolyseur-Projekt im Süden des Landes, das mit netzunabhängiger Wind- und Solarenergie betrieben werden soll. Je nach Ergebnis der Studien soll ein Investitionsabkommen für die Produktion von grünem Wasserstoff und/oder grünem Ammoniak in Jordanien und dessen Export nach Australien ausgehandelt werden. Die Vorstudien werden eine Fläche von 450 km<sup>2</sup> für die potenzielle Solarproduktion umfassen, während 1.000 km<sup>2</sup> für die potenzielle Windenergieproduktion

reserviert und 1,5 km<sup>2</sup> innerhalb einer Industriezone für potenzielle nachgelagerte Produktionsanlagen vorgesehen sind (Ivanova, 2021).

### Ausblick

---

Jordanien hat das Potenzial, ein wichtiger regionaler und internationaler Akteur im Bereich Wasserstoff zu werden. Das Land verfügt über große Solar- und Windenergieressourcen und beherrscht die Gas- und Ammoniakinfrastruktur, wie z. B. Gaspipelines, Ammoniak-speicher und Energieinfrastrukturen im Seehafen von Aqaba. Dies ist eine gute Ausgangsbasis für den Aufbau einer Industrie für grünen Wasserstoff und synthetische Kraftstoffe (Wuppertal Institut et al., 2022). Was die industrielle Entwicklung betrifft, so verfügt Jordanien über eine auf Kalium und Phosphat basierende chemische Industrie, die ein starkes wirtschaftliches Standbein für den Export darstellt. Jordanien könnte die bestehenden Strukturen der chemischen Industrie nutzen, um eine umfassende Wertschöpfungskette für grünen Wasserstoff aufzubauen. Darüber hinaus verfügt Jordanien über Erfahrungen mit der Speicherung von Erdgas in Salzkavernen in der Nähe von Amman und Aqaba, die ebenfalls für die Speicherung von grünem Wasserstoff genutzt werden können.

Die Weltbank unterstützt gegenwärtig eine Studie zur e-Mobilität in Jordanien (Marar 2022). Möglichkeiten zur Wasserstoffnutzung im (Schwerlast-)Verkehr sollten (zukünftig) erörtert werden.

## Aspekte im Nexus

Die größte Herausforderung für die Entwicklung einer grünen Wasserstoffproduktion in Jordanien wird die Versorgung mit Wasserressourcen sein, da dies wahrscheinlich zu einer Konkurrenz mit anderen Sektoren wie der Landwirtschaft, der Industrie oder dem Wohnungsbau führen wird. Darüber hinaus könnte die Flächennutzungskonkurrenz zwischen Urbanisierung, Tourismus und industriellen Aktivitäten zu einem Problem werden, insbesondere an dem schmalen Küstenstreifen um Aqaba. Insgesamt erfordert der Übergang zu einer Wasserstoffwirtschaft die Stärkung und den Ausbau der nationalen Infrastruktur sowie die Entwicklung verschiedener Unterstützungsmechanismen und politischer Maßnahmen. Ebenso wichtig ist eine starke Beteiligung des Privatsektors mit ausländischen und nationalen Direktinvestitionen. Daher wird die Zusammenarbeit mit internationalen Partnern bei grünen Wasserstoffprojekten notwendig sein, um eine Wasserstoffwirtschaft in Jordanien zu fördern (Wuppertal Institut et al., 2022).

Neben dem potenziellen Export von grünem Wasserstoff oder seinen Derivaten muss Jordanien auch prü-

fen, wo sich die lokale Nachfrage in Zukunft entwickeln könnte. Zu diesem Zweck müssen die potenziellen Anwendungen von grünem Wasserstoff und seinen Derivaten untersucht werden, insbesondere in Sektoren, die nicht oder nur schwer elektrifiziert werden können, z. B. bestimmte industrielle Anwendungen oder der Luft- und Seeverkehr. Um eine grüne Wasserstoffindustrie in Jordanien aufzubauen, müssen Innovations- sowie Forschungs- und Entwicklungsplattformen (F&E) geschaffen werden, die Akteure aus dem Privatsektor, bestehende F&E-Zentren, Universitäten, öffentliche Einrichtungen sowie nationale und internationale Institutionen zusammenbringen. Die regionale Dynamik in Bezug auf grünen Wasserstoff im Nahen Osten bietet ebenfalls ein erhebliches Potenzial, das Jordanien nutzen könnte (Wuppertal Institut et al., 2022)

Einen wichtigen Ausgangspunkt für die weitere Erörterung von Wasser-bezogenen Energiefragen in Jordanien stellt die Water-Energie-Nexus-Working-Group dar. Diese Arbeitsgruppe stellt eine Art Koordinationsmechanismus dar, um Themen und Projekte zu identifizieren, die für beide Sektoren von Bedeutung sind. Wasserstoff könnte hierbei behandelt werden.

### Textbox 1

## Koordinationsmechanismus zum Water-Energy-Nexus in Jordanien

Unterstützt durch die GIZ wurde in 2019 ein Wasser-Energie-Nexus-Dialog initiiert. Hieraus hat sich eine Steuerungsgruppe gebildet. Vertreten sind u. a.:

- **Ministerium für Energie und Natürliche Ressourcen,**
- **Ministerium für Wasser und Bewässerung,**
- **Ministerium für Planung und Internationale Zusammenarbeit und**
- **Ministerium für Finanzen.**

Neben den Ministerien sind weitere Institutionen wie NEPCO teil der Steuerungsgruppe, wodurch eine bessere Koordination von Projekten mit Relevanz für den Wasser- und Energiesektor ermöglicht wird. Im Rahmen eingehender Analysen durch Unterarbeitsgruppen und Einbindung Dritter werden entsprechende Projekte ausgewählt. Die Entwicklung eines Pumpspeichers gehört zum Projektportfolio des Koordinationsmechanismus. Wasserstoff könnte in diesem Zusammenhang mittelfristig auch thematisiert werden (Qaider & Sadeh, 2022).

## 4.2 Beiträge einer Wasserstoffwirtschaft für Jordanien

Im Rahmen des Workshops in Amman wurden den Teilnehmern in interaktiven Sessions folgende Fragen gestellt:

### 1) Welche positiven Wirkungen und negativen Auswirkungen müssen für eine Wasserstoffwirtschaft berücksichtigt werden?

Die Auswertung der festgehaltenen Rückmeldungen lässt sich in fünf bzw. sechs Kategorien strukturieren. Eine Übersicht über die Kategorien mit Anzahl der Nennung findet sich in der folgenden Abbildung.

gewiesen, die Stromnetze in Jordanien stabilisieren und gleichzeitig (überschüssigen) Strom gasförmig speichern können. Zudem kann Wasserstoff als Treiber für den Ausbau von erneuerbaren Energien fungieren, was letztlich einen Beitrag zur Energiesicherheit (i. S. v. Energieimportunabhängigkeit) leisten kann. Unklar ist, wie die lokale Nutzung von Wasserstoff in Jordanien aussehen kann.

Die Kategorie „Nachhaltige Energie / Erneuerbare Energien“ enthält die meisten Ideen. Hierbei wurde insbesondere auf den Ausbau erneuerbarer Energien hin-

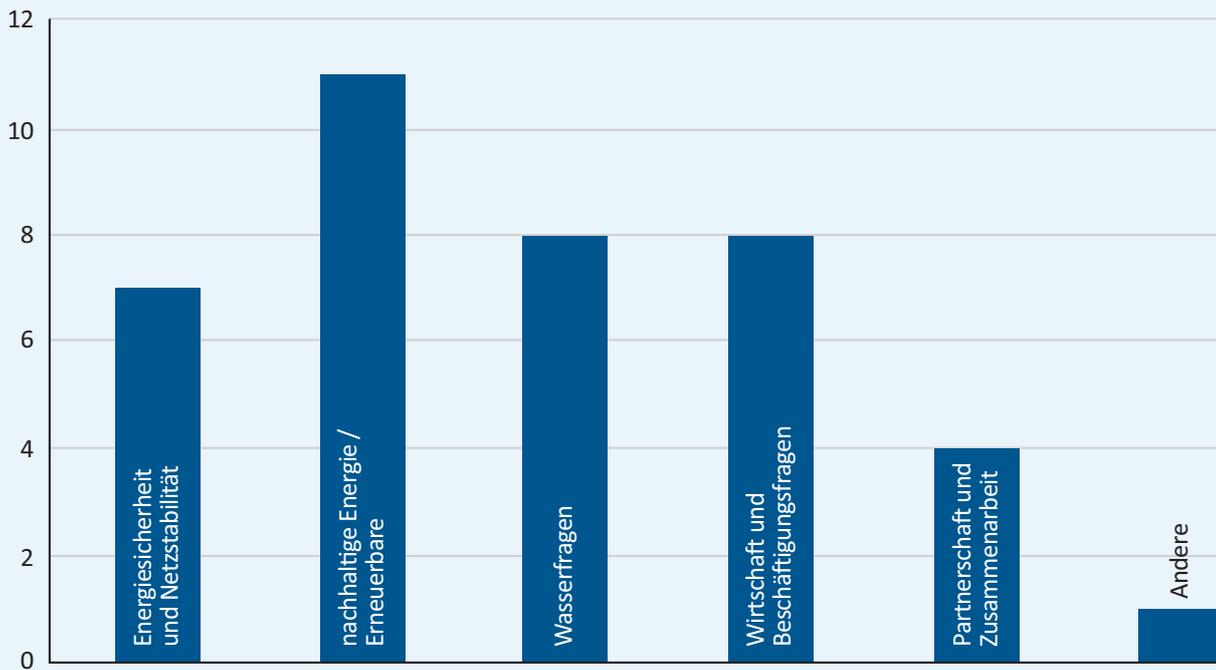


Abbildung 5  
Auswertung der ersten interaktiven Workshop-Session

Die Themen „Energiesicherheit und Netzstabilität“ sowie „Nachhaltige Energie / Erneuerbare Energien“ haben hohe Schnittmengen und könnten auch in einer übergeordneten Kategorie „Energie“ zusammengefasst werden.

In der Kategorie „Energiesicherheit und Netzstabilität“ wurde auf die positive Rolle von Elektrolyseuren hin-

gewiesen, wofür Wasserstoff ein Treiber sein kann. Der produzierte Wasserstoff soll schließlich einen Beitrag zur CO<sub>2</sub>-Reduktion leisten, wobei die Frage im Raum steht, ob dieser Beitrag in Jordanien geleistet werden soll oder aber im Ausland. Theoretisch kann sich ein Spannungsfeld eröffnen, da Jordanien über einige Industriezweige verfügt, die bspw. importiertes Ammoniak benötigen. Warum sollte also grünes Ammoniak

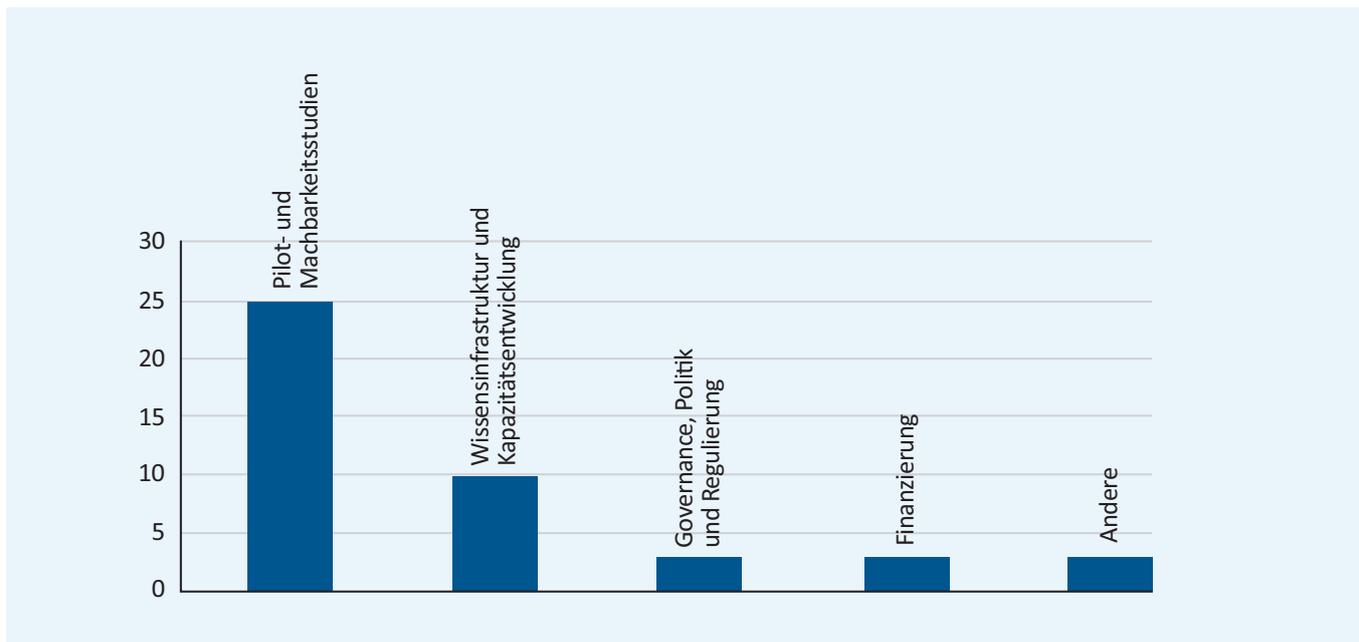
(aufwendig) nach Europa transportiert werden, wenn dieser doch (zumindest in Teilen) ebenso in Jordanien eingesetzt werden kann und vor Ort einen Beitrag zur Defossilierung der Düngemittelindustrie leisten könnte? Aufgrund der konventionellen (erdgasbasierten) Alternativen und deren Kosten wurde an anderer Stelle auch die Frage nach der Zahlungsbereitschaft für grüne Produkte gestellt, ein Thema was mit Blick auf die verschiedenen Nutzer von Ammoniak in den unterschiedlichen Weltregionen und deren Käufer differenziert betrachtet werden muss.

Eine weitere wichtige Kategorie bildete das Thema „Wasser“. Den Teilnehmer\*innen war es besonders wichtig, dass durch eine Wasserstoffwirtschaft keine Verteilungskonflikte rund um die Ressource Wasser verstärkt werden. Weitere Punkte sind die Vermeidung negativer Umwelteffekte hinsichtlich des maritimen Ökosystems durch Meerwasserentsalzungsanlagen, die nicht exklusiv für die Wasserstoffproduktion eingesetzt werden dürfen; die Führung von Wasser im Kreislauf (was Brennstoffzellen (BZ) ermöglichen können) und die Chance durch eine Wasserstoffwirtschaft auch das Bewusstsein in der Bevölkerung für die Ressource Wasser zu schärfen. Bewusstseins-schärfung sollte Teil einer Wasserstrategie sein. Die Nutzung von aufkommenden

ungeklärten Abwässern für die Elektrolyse wurde gegenwärtig als „wenig beforscht“ kommentiert, während geklärte Abwässer in Jordanien massiv in der Landwirtschaft zum Einsatz kommen. Insofern würde eine Wasserstoffproduktion aus geklärten Abwässern auch in einem Konfliktverhältnis stehen – wenn das Volumen an geklärten Abwässern konstant bliebe.

Das Thema „Wirtschaft und Beschäftigung“ bildet eine weitere wichtige Kategorie. Eine Wasserstoffwirtschaft soll in Jordanien die Armut im Land nicht verschärfen, sondern – im Gegenteil – zu Wirtschaftswachstum führen, neue Industrien einführen und langfristige Beschäftigung auch in peripheren Landesteilen schaffen. Hierbei stellt sich die Frage, wie eine exportorientierte Wasserstoffwirtschaft gegenüber einer Alternative abschneidet, die Wasserstoff auch vor Ort nutzt. Technologietransfer wurde als wichtige Bedingung für genannte wirtschaftspolitische Impulse genannt.

Diese Art der Zusammenarbeit kann auch in der nächsten Kategorie „Partnerschaften und Kooperation“ eingruppiert werden. Das Schlagwort der „win-win-Situation“ fiel auch häufiger im Workshop selbst. Hierfür sollte der Austausch zwischen Partnerländern vorangetrieben und Kompetenzen vor Ort entwickelt werden.



**Abbildung 6**  
Auswertung der zweiten interaktiven Workshop-Session

**2) Nennen Sie drei konkrete Schritte oder Projektideen, die wichtig sind, um eine Wasserstoffwirtschaft in Jordanien zu realisieren.**

Die Antworten lassen sich in vier bzw. fünf Kategorien strukturieren. Eine Übersicht über die Kategorien mit Anzahl der Nennung findet sich in der folgenden Abbildung.

Vielleicht auch aufgrund der technischen Expertise unter den Teilnehmer\*innen wurden insbesondere **„Pilotprojekte und (technische) Machbarkeitsstudien“** als überaus wichtiger Schritt für eine Wasserstoffwirtschaft in Jordanien angesehen. In Teilen wurden dabei sehr spezifische Ideen benannt, die sich auch deutlich in ihren Ambitionsniveaus unterscheiden. Klein-skalierte Ideen sind:

- Bau einer Floating PV-Anlage in Kombination mit einem Elektrolyseur, ggf. fortgesetzt durch Ammoniak-, Methanol oder FT-Syntheseverfahren (siehe Textbox 1),
- die Nutzung aller Elektrolyseprodukte wie Wasserstoff, Sauerstoff und Abwärme,
- Pilotierung weiterer Verfahren wie BEST (BioEnergy Storage) entwickelt von der HTW Saar (siehe Textbox 2),
- Fokussierung auf industrielle Anwendungen in Jordanien,
- Umsetzung eines Wasserwirtschaftsprojekts verknüpft mit Aspekten einer Wasserstoffwirtschaft.

## Textbox 2

### Floating PV in Kombination mit Elektrolyseur als Pilotprojekt

Jordanien gilt als eines der weltweit wasserärmsten Länder hinsichtlich seiner Wasserressourcen und Niederschlagsrerträge. Durchschnittlich fallen circa 1.000 Liter Niederschlag pro Jahr. In Deutschland ist es circa 11-mal so viel.<sup>3</sup> Aufgrund der häufigen Sonnentage (circa 310 pro Jahr) hat Jordanien außerdem eine sehr hohe Verdunstungsrate. Um den Wasserhaushalt Jordaniens zu verbessern gibt es bereits verschiedene Ansätze. Dazu zählen unter anderem die Umstrukturierung und Instandsetzung alter Wassernetzwerke, Sensibilisierungs- und Aufklärungskampagnen für die Bevölkerung und eine verstärkte Wiederverwendung von Wasser.

Ein Ansatz, den die Jordanische Universität für Wissenschaft und Technologie (Jordanian University of Science and Technology, JUST) untersucht, ist die Minderung der Verdunstungsrate mit Hilfe schwimmender PV-Anlagen (Floating Photovoltaic, FPV). Bei FPV handelt es sich um eine bereits etablierte Technologie. Im asiatischen Raum wurden bereits Projekte mit einer installierten Leistung im zweistelligen Megawattbereich realisiert. In Deutschland wird die Installation von FPV auf Braunkohle-Tageauseen untersucht. Aktuell wird das in Deutschland wirtschaftlich realisierbare Potential auf mindestens 2,74 GWP geschätzt. In einem von der JUST durchgeführten Projekt wurde die Verwendung von FPV im Hinblick auf die Effizienz der PV-Anlagen, die Wasserqualität und die Verdunstungsrate untersucht. Hierbei hat sich ergeben, dass sowohl die Effizienz der PV-Anlagen gesteigert und die Wasserqualität verbessert wird als auch die Verdunstungsrate gesenkt wird. Die Effizienz der PV-Anlagen stieg um circa 8 % gegenüber freistehenden Anlagen, aufgrund der Kühlung durch das Wasser. Hinsichtlich der Wasserqualität konnte eine reduzierte Algenproduktion festgestellt werden, was unter anderem durch einen gesenkten pH-Wert und einen erhöhten Gehalt an Kohlenstoff hergeleitet wurde. Bezüglich der Verdunstung konnte je nach Grad der Verschattung der Wasseroberfläche eine Reduktion um bis zu 54 % gegenüber einer nicht verschatteten Wasseroberfläche gemessen werden. Das durch die reduzierte Verdunstung eingesparte Wasser könnte beispielsweise bei der Produktion von Wasserstoff Verwendung finden.

Da FPVs auf jeglichen Gewässern installiert werden können, stellen sie eine effiziente Option zur gleichzeitig nachhaltigen Energieproduktion, Verbesserung der Wasserqualität und Einsparung von Wasser dar.

<sup>3</sup> <https://www.laenderdaten.info>

**Textbox 3**

## Synthetisches Erdgas durch das BEST-Verfahren der HTW-Saar

Im biotechnologischen Verfahren „Bio-Energy Storage“ wird klimaschädliches CO<sub>2</sub> durch Mikroorganismen mit Hilfe von Wasserstoff und elektrischer Energie in synthetisches Methan in Erdgasqualität umgewandelt, das fossiles Erdgas 1:1 ersetzt. Die Bakterien befinden sich in einer wässrigen Lösung innerhalb eines einfachen Bioreaktors. Temperatur (30-40°C) und Druck sind gering, so dass der Aufwand von BEST im Vergleich zu alternativen Syntheseverfahren bei hoher Betriebssicherheit als gering eingeschätzt wird. Da sich keine beweglichen Teile in den Reaktoren befinden, stellen Betrieb und Wartung der Anlage kein nennenswertes Problem dar.

Pilotanlagen wurden bereits an einer industriellen Kläranlage und bei den Stadtwerken Trier umgesetzt. Trotz starker Schwankungen der Belastung der Anlagen konnten die dort anfallenden CO<sub>2</sub>-haltigen Biogase ohne Vor- oder Nachbehandlung robust zu Methan in Erdgasqualität umgesetzt werden. Perspektivisch kann der benötigte Wasserstoff aus der Elektrolyse erzeugt werden. Hinsichtlich des Wasser-Wasserstoff-Nexus besteht ein besonderer Vorteil des BEST-Verfahrens darin, dass Wasser als Nebenprodukt gebildet wird.

BEST-Verfahren:  $4 \text{ H}_2 + \text{CO}_2 \rightleftharpoons \text{CH}_4 + 2 \text{ H}_2\text{O}$

Dieses Wasser kann wiederum nach einer Aufbereitung der Elektrolyse zugeführt werden.

Wasserelektrolyse:  $2 \text{ H}_2\text{O} \rightarrow 2 \text{ H}_2 + \text{O}_2$

Das BEST-Verfahren kombiniert mit der Wasser-Elektrolyse ermöglicht die Reduktion des Wasserbedarfs für die Herstellung von Wasserstoff.

Synthetisches Methan kann direkt und ohne Begrenzungen in Erdgasleitungen eingespeist. Durch die Substitution fossilen Erdgases gelangt kein zusätzliches CO<sub>2</sub> in die Atmosphäre. Zudem kann heimisch produziertes (synthetisches) Methan einen Beitrag zur Energiesicherheit leisten. Verflüssigt zu LNG kann es zudem (leichter als Wasserstoff) nach Europa transportiert werden.

Das Verfahren wurde von der Hochschule für Technik und Wirtschaft des Saarlandes (HTW) entwickelt. Prof. Dr. Matthias Brunner von der HTW Saar stellte im Rahmen des Projekts das BEST-Verfahren in Jordanien vor.

Einigkeit besteht darin, dass durch diese Pilotprojekte das Humankapital hinsichtlich einer möglichen Wasserstoffwirtschaft in Jordanien ausgebildet werden soll. Obwohl am Tag zuvor auf den Beitrag zur Stromnetzstabilisierung hingewiesen wurde, erscheint es für die Teilnehmer\*innen sinnvoll, Demonstrationsvorhaben zunächst als Insellösungen zu entwickeln. Eine erste Studie zu grünem Wasserstoff in Jordanien wurde bereits vom RSS im Auftrag der Friedrich-Ebert-Stiftung veröffentlicht, eine weitere ist im Auftrag der GIZ in Bearbeitung. Weitere Ideen zu Machbarkeitsstudien von den Teilnehmer\*innen sind:

- Wasserstoffproduktion am Klärwerk,
- Auswirkungen einer Meerwasserentsalzungsanlage exklusiv für die Wasserstoffproduktion.

Der Aufbau von „Wissensinfrastrukturen und Kapazitäten“ hat einige Schnittmengen mit der vorherigen Kategorie. Hierbei werden Plattformen, Institutionen, Workshops und Trainings als wichtig betrachtet. Der Austausch zwischen Deutschland und Jordanien wurde im gesamten Workshop häufiger thematisiert, wobei auch die Zusammenarbeit anderer MENA-Länder ziel-

führend sein kann, nicht zuletzt da diese Ländergruppe vor ähnlichen Herausforderungen steht. Als wichtige Stakeholder wurden dabei sowohl Universitäten benannt als auch das aus dem vorliegenden Projekt gebildete Netzwerk.

Für einige Teilnehmer\*innen stand auch das Thema „**Governance, Politikinstrumente und Regulierung**“ im Vordergrund. Hierbei wurde auf die Bedeutung einer

politischen Agenda und Strategie verwiesen, was auch für Fördermittelgeber Signalwirkung entfalten kann. In diesem Zusammenhang wurde auch auf die Bedeutung einer (nicht-technischen) Studie zu den politischen Rahmenbedingungen in Jordanien verwiesen.

In der Kategorie „Finanzierung“ wurde auf die Bedeutung von Fördermitteln verwiesen.

### 4.3 Ausblick auf Wasserstoffimportkriterien

Da an verschiedenen Stellen der Workshops das Thema „win-win-Situation“ angesprochen wurde, soll hieran angeknüpft werden. Für Jordanien scheint eine Wasserstoffwirtschaft dann vorteilhaft, wenn Wasserstoff:

- einen Beitrag zur Energiesicherheit leistet, der sich auszeichnet durch
- eine Stabilisierung des Stromnetzes bzw.
- die Integration zunehmender und den beschleunigten Ausbau erneuerbarer Energien,
- einen Beitrag zur Dekarbonisierung leistet,
- keine bestehenden oder neuen Wasserkonflikte verschärft, sondern idealerweise reduziert,
- weitere Technologiebedarfe (PV, Entsalzungsanlagen) keine negativen ökologischen Wirkungen entfalten,
- begleitet wird von einer Kampagne zur Bewusstseinsbildung für die Bevölkerung rund um die Ressource Wasser,
- positive sozio-ökonomische Wirkung entfaltet (Wirtschaftswachstum, Beschäftigung, Innovation), idealerweise auch in dezentralen Regionen des Landes, und
- Kapazitäten vor Ort schafft,
- in Jordanien unterstützt wird durch Ressourcen von Partnern.

## 5 | Zusammenschau und Ausblick

Insbesondere die Betrachtung der Situation in Deutschland zeigt, dass die Zusammenhänge zwischen dem Wasser- und Abwassersektor und der Wasserstoffproduktion und -nutzung vielfältig sind. Neben dem Energiesektor wird der Wassersektor die andere tragende Säule von Wasserstoffproduzenten bilden. Aber auch Abwässer können eine Ressource sein, insbesondere, wenn für die Wasserstoffproduktion ein dezentraler Ansatz genutzt werden soll.

Potenzielle Geschäftsmodelle im Bereich Wasserstoff sind gegenwärtig eingeschränkt tragfähig und von verschiedenen Faktoren abhängig. Hierzu zählen neben den Betriebskosten (insb. für die Ressourceninputs wie Strom) auch die Förderlandschaft sowie Möglichkeiten, Wasserstoff sinnvoll zu nutzen. Darüber hinaus müssen Ideen für die Inwertsetzung jener Nebenprodukte gefunden werden, die durch die unterschiedlichen Verfahren entstehen.

Wasserstoff kann in unterschiedlichen Sektoren eingesetzt werden, wobei Anpassungen zunächst erfolgen müssen. Ein Anwendungsfeld bietet der Wasser- und Abwassersektor selbst, bspw. um Trinkwasser zu denitrifizieren. Auch das Derivat Methanol kann für die Denitrifikation von Abwässern, oder die Regenerierung von Aktivkohle eingesetzt werden. Auf Kläranlagen können prinzipiell auch Nebenprodukte wie (Ab-)Wärme oder reiner Sauerstoff für die biologische Reinigung, oder die Ozonierung eingebunden werden.

Der Elektrolyse kommt in der Diskussion rund um grünen Wasserstoff eine besondere Bedeutung zu. Während hierfür in Deutschland erneuerbarer Strom die begrenzende Ressource darstellt, kommt in Ländern wie Jordanien Wasserknappheit als weitere Herausforderung hinzu.

Für grünen Wasserstoff, der nach aktueller Definition lediglich über die Elektrolyse erzeugt werden kann, kann in Jordanien kein Frischwasser genutzt werden, da sich hierdurch bestehende (gesellschaftliche) Spannungen verstärken würden. Große Hoffnungen werden in die Entsalzungsanlage im Roten Meer gesteckt, auch um einen Teil des entsalzten Wassers für die Elektrolyse zu nutzen. Behandeltes Abwasser wird in Jordanien für landwirtschaftliche Zwecke genutzt. Klärschlamm bzw. Klärgas bilden möglicherweise Optionen für eine Wasserstoffproduktion.

Da die Meerwasserentsalzung nicht vor 2028 in Betrieb genommen werden kann, stellt sich die Frage, wie in Jordanien der Weg für eine nationale Wasserstoffwirtschaft durch die Entwicklung entsprechender Rahmenbedingungen und den Aufbau von Kapazitäten und Strukturen bereitet werden kann.

Da sowohl jordanische als auch deutsche Teilnehmer\*innen den Dialog als fruchtbar angesehen haben, sollte dieser intensiviert und verstetigt werden, wobei die spezifischen Herausforderungen weiterhin Berücksichtigung finden müssen. Hierbei ist ein Stakeholder-Gruppen-übergreifender Dialog – wie er vom Projekt angestrebt wurde – auch zukünftig von besonderer Bedeutung, um die Gemengelage zu technisch komplexen Themen wie Wasserstoff überblicken zu können. Ein wichtiges Signal seitens der Politik vor Ort würde sein, die Wasserstoffproduktion in politische Strategien ein-

zubetten, die sektorübergreifend entwickelt werden. Vorstudien zu erfolgversprechenden Pilotmaßnahmen, die die spezifischen Herausforderungen für eine Wasserstoffwirtschaft im Land adressieren, können dabei wiederum wichtige Impulse an die Politik senden.

Neben einer eingehenden Erörterung der Wasserstoffnutzung sollte in solchen Vorstudien auch die Diskussion rund um die Ressource Wasser geführt werden. Wichtige Fragestellungen sind: wie hoch ist der Wasserbedarf? Woher kann das Wasser kommen? Gibt es (technische) Optionen, Wasser im Kreislauf zu führen? Können (technische oder administrative) Maßnahmen getroffen werden, um „zusätzliches“ (non-revenue-) Wasser zu erschließen, oder Alternativen zu Frischwasser zu nutzen?

Dass bereits Bildungsinitiativen wie die Kooperation der German-Jordanian-University und der Fachhochschule Würzburg-Schweinfurt ins Leben gerufen wurden, um das entsprechende Know-how im Land auszubilden, kann als wichtiger Schritt betrachtet werden, um den Anlagenbetrieb perspektivisch sicherzustellen und sozio-ökonomische Potenziale im Land zu heben. Hierbei ist jedoch auf das gesamte Ökosystem zu achten, einschließlich Kompression, Speicherung, Transport und Anwendung von Wasserstoff.

Abschließend sollte das Thema auch immer unter dem Blickwinkel der gesellschaftlichen Akzeptanz diskutiert werden. Idealerweise ist zwar die Etablierung einer Wasserstoffwirtschaft gesellschaftlicher Konsens. Da es sich bei Wasser aber um eine überlebenswichtige Ressource handelt und eine Wasserstoffwirtschaft in Konkurrenz zu aktuellen Wasserbedarfen treten kann, ist in Vorstudien und Pilotprojekten genauer zu untersuchen, welche Möglichkeiten zur Akzeptanzsteigerung innerhalb der Bevölkerung bestehen.

# 6 | Verzeichnisse und Quellen

## 6.1 Literaturverzeichnis

- Abu-Rumman, G., Khair, A. I., & Khair, S. I. (2020). Current status and future investment potential in renewable energy in Jordan: An overview. *Heliyon*, 6(2). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e03346>
- Agora Energiewende, & Wuppertal Institut. (2019). Klimaneutrale Industrie—Schlüsseltechnologien und Politikoptionen für Stahl, Chemie und Zement (S. 236).
- AHK. (2020). Jordanien. [https://www.german-energy-solutions.de/GES/Redaktion/DE/Publikationen/Marktanalysen/2020/zma-jordanien-2020-industrieffizienz.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=2](https://www.german-energy-solutions.de/GES/Redaktion/DE/Publikationen/Marktanalysen/2020/zma-jordanien-2020-industrieffizienz.pdf?__blob=publicationFile&v=2)
- Aldohni, A. N. (2022). Electricity Sector in Jordan.
- Al-Halhouli, A. (2022). Green Hydrogen in MENA Region and Jordan context.
- Al-Salaymeh, A. (2022). The role of education in a future hydrogen economy in Jordan.
- Atchison, J. (2021). Fortescue Future Industries powers ahead on green ammonia – Ammonia Energy Association. <https://www.ammoniaenergy.org/articles/fortescue-future-industries-powers-ahead-on-green-ammonia/>
- Ausfelder, F., & Dura, H. (2019). OPTIONEN FÜR EIN NACHHALTIGES ENERGIESYSTEM MIT POWER-TO-X-TECHNOLOGIEN. [https://dechema.de/dechema\\_media/Downloads/Positionspapiere/2019\\_DEC\\_P2X\\_Kopernikus\\_RZ\\_Webversion02-p-20005425.pdf](https://dechema.de/dechema_media/Downloads/Positionspapiere/2019_DEC_P2X_Kopernikus_RZ_Webversion02-p-20005425.pdf)
- Beswick, R. R., Oliveira, A. M., & Yan, Y. (2021). Does the Green Hydrogen Economy Have a Water Problem? *ACS Energy Letters*, 6(9), 3167–3169. <https://doi.org/10.1021/acseenergylett.1c01375>
- Bundesregierung. (2020). Nationale Wasserstoffstrategie.
- DIHK. (2020). Wasserstoff—DIHK Faktenpapier. <https://www.dihk.de/resource/blob/24872/fd2c89df9484cf912199041a9587a3d6/dihk-faktenpapier-wasserstoff-data.pdf>
- Energy Sector Management Assistance Program. (2020). Green Hydrogen in Developing Countries. World Bank, Washington, DC. <https://doi.org/10.1596/34398>
- Europäisches Patentamt. (2006). Methanol\_denitrifikation.pdf.
- Franceschini, B. (2019). Scaling-Up-Renewable-Energy-Development-in-Jordan.pdf. <https://www.res4med.org/wp-content/uploads/2019/03/Scaling-Up-Renewable-Energy-Development-in-Jordan.pdf>
- FVEE. (2021). Biomasse und Bioenergie als Teil der Wasserstoffwirtschaft. [https://www.energetische-biomassenutzung.de/fileadmin/media/6\\_Publikationen/Stellungnahmen/Stellungnahme\\_FNBioE\\_H2-BM\\_final.pdf](https://www.energetische-biomassenutzung.de/fileadmin/media/6_Publikationen/Stellungnahmen/Stellungnahme_FNBioE_H2-BM_final.pdf)
- Gerlach, D. (2022). Hydrogen in the region.
- Hydrogen Council. (2021). Hydrogen decarbonization pathways—A life-cycle assessment. [https://lbt.de/wp-content/uploads/2021/04/Hydrogen-Council-Report\\_Decarbonization-Pathways\\_Part-1-Lifecycle-Assessment.pdf](https://lbt.de/wp-content/uploads/2021/04/Hydrogen-Council-Report_Decarbonization-Pathways_Part-1-Lifecycle-Assessment.pdf)
- IEA. (2022a). Data and statistics. IEA. <https://www.iea.org/data-and-statistics>
- IEA. (2022b). Electrolysers – Analysis. IEA. <https://www.iea.org/reports/electrolysers>
- International Trade Administration. (2022). Jordan—Environment and Water Sector. <https://www.trade.gov/country-commercial-guides/jordan-environment-and-water-sector>
- IRENA. (2018). Evaluating renewable energy manufacturing potential in the Arab region: Jordan, Lebanon, United Arab Emirates. <https://www.irena.org/publications/2018/Oct/Evaluating-renewable-energy-manufacturing-potential-in-the-Arab-region>
- IRENA. (2021). Renewables Readiness Assessment: The Hashemite Kingdom of Jordan. <https://www.irena.org/publications/2021/Feb/Renewables-Readiness-Assessment-The-Hashemite-Kingdom-of-Jordan>
- IRENA. (o. J.). Renewable Energy Finance Flows. <https://www.irena.org/Data/View-data-by-topic/Finance-and-Investment/Renewable-Energy-Finance-Flows>
- Ivanova, A. (2021). Fortescue to explore green hydrogen production in Jordan. *Renewablesnow.Com*. <https://renewablesnow.com/news/fortescue-to-explore-green-hydrogen-production-in-jordan-760299/>
- Jentsch, M. F., & Büttner, S. (2019). Dezentrale Umsetzung der Energie- und Verkehrswende mit Wasserstoffsystemen auf Kläranlagen. 12.
- Kantz, C. (2022). Power-to-X-technologies and framework conditions.
- Klein, D. (2022). Wasserstoffgewinnung auf Kläranlagen.
- Marar, Y. (2022). Energy sector in Jordan- Jor-Ger H2 Dialogue- Yacoub Marar- Oct2022.pdf.
- Nationaler Wasserstoffrat. (2021). Wasserstoff Aktionsplan Deutschland 2021–2025 (S. 56). [https://www.wasserstoffrat.de/fileadmin/wasserstoffrat/media/Dokumente/NWR\\_Aktionsplan\\_Wasserstoff\\_2021-2025\\_WEB-Bf.pdf](https://www.wasserstoffrat.de/fileadmin/wasserstoffrat/media/Dokumente/NWR_Aktionsplan_Wasserstoff_2021-2025_WEB-Bf.pdf)
- Niederste-Hollenberg, J., Winkler, J., Fritz, M., Zheng, L., Hillenbrand, T., Kolisch, G., Schirmer, G., Borger, J., Doderer, H., & Dörffuß, I. (o. J.). Klimaschutz- und Energieeffizienzpotenziale in der Abwasserwirtschaft – aktueller Stand und Perspektiven. 195.
- Oeko-Institut. (2019). Die Bedeutung strombasierter Stoffe für den Klimaschutz in Deutschland. <https://www.oeko.de/fileadmin/oeko-doc/PtX-Hintergrundpapier.pdf>
- Opitz, K. (2022). Plasmalyse.
- Qaider, L., & Sadeh, H. (2022). The Inter-sectoral Water-Energy Nexus working group—Jordan. Presentation at the German-Jordanian Water-Hydrogen-Dialogue in Amman, Jordan, Amman.
- RCREEE. (2013). Summary: The National Energy Efficiency Action Plan of Jordan (NEEAP). <https://rcreee.org/publications/summary-national-energy-efficiency-action-plan-jordan-neeap/>
- Ritchie, H., & Roser, M. (2017). Water Use and Stress. *Our World in Data*. <https://ourworldindata.org/water-use-stress>
- Roscoe, A. (2022, April 1). Developers weigh up Jordan’s Aqaba-Amman water project. *Energy & Utilities*. <https://energy-utilities.com/developers-weigh-up-jordan-s-aqaba-amman-water-news116979.html>

- Shalalfeh, L., AlShalalfeh, A., Alkaradsheh, K., Alhamarneh, M., & Bas-haireh, A. (2021). Electric Vehicles in Jordan: Challenges and Limitations. *Sustainability*, 13(6), Art. 6. <https://doi.org/10.3390/su13063199>
- Stock, R. (2022). LOCAL PUBLIC UTILITIES AND THE ROLE OF HYDROGEN.
- Tetra Tech International Development. (2022). AAWDC Project: Summary of Brine Discharge Risk Assessment (S. 38 f).
- The Jordan Times. (2021). Jordan's Energy Ministry launches strategy to produce green hydrogen. <https://www.zawya.com/en/projects/jordans-energy-ministry-launches-strategy-to-produce-green-hydrogen-hxowdats>
- Tholen, L., Leipprand, A., Kiyar, D., Maier, S., Küper, M., Adisorn, T., & Fischer, A. (2021). The Green Hydrogen Puzzle: Towards a German Policy Framework for Industry. *Sustainability*, 13(22), 12626. <https://doi.org/10.3390/su132212626>
- Weltbank. (2021). Ease of doing business rank (1=most business-friendly regulations) | Data. <https://data.worldbank.org/indicator/IC.BUS.EASE.XQ>
- Whitman, E. (2019). Climate change, waves of refugees and poor planning are draining water supplies in Jordan. 4.
- Wuppertal Institut, & Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung Econ. (2020). Bewertung der Vor- und Nachteile von Wasserstoffimporten im Vergleich zur heimischen Erzeugung. <https://wupperinst.org/fa/redaktion/downloads/projects/LEE-H2-Studie.pdf>
- Wuppertal Institut, DLR, & IZES. (2022). Synthesebericht Länderkurzstudien Jordanien, Marokko und Oman. Teilbericht 11 (D8.1) an das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) (unveröffentlicht).
- Zelt, O., Scholz, A., & Viebahn, P. (2021). Auswahl der zu bewertenden synthetischen Kraftstoffe und ihrer Bereitstellungstechnologien (S. 22). [https://wupperinst.org/fa/redaktion/downloads/projects/ME-NA-Fuels\\_Teilbericht1\\_D1-1\\_Technologieauswahl.pdf](https://wupperinst.org/fa/redaktion/downloads/projects/ME-NA-Fuels_Teilbericht1_D1-1_Technologieauswahl.pdf)

## 6.2 Abbildungsverzeichnis

### Abbildung 1

Die verschiedenen Ausgangslagen in Deutschland und Jordanien als Hintergrund des Projekts (eigene Darstellung), Seite 6

### Abbildung 2

Schematischer Handlungsansatz im Projekt (eigene Darstellung), Seite 7

### Abbildung 3

Eingebundene Institutionen in den Projektworkshops in Wuppertal (Deutschland) und Amman (Jordanien) (eigene Darstellung), Seite 8

### Abbildung 4

Der Wasser-Wasserstoff-Nexus als konzeptuelle Grundlage im Projekt (eigene Darstellung), Seite 18

### Abbildung 5

Auswertung der ersten interaktiven Workshop-Session, Seite 26

### Abbildung 6

Auswertung der zweiten interaktiven Workshop-Session, Seite 27

## 6.3 Verzeichnis von Abkürzungen, Einheiten und Symbolen

Abkürzungen	
AEL	Alkalische Elektrolyse
AFD	Agence Française de Développement (französische Entwicklungsbank)
AHK	Außenhandelskammer
BHKW	Blockheizkraftwerk
BMUV	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz
BOO	Build-Own-Operating
BOT	Build-Operate-Transfer
COP	Vertragsstaatenkonferenz
dena	Deutsche Energieagentur
EBRD	Europäische Bank für Wiederaufbau und Entwicklung
EDCO	Electricity Distribution Company
EMRC	Energy and Minerals Regulatory Committee
EPC	Engineering, Procurement, Construction
F&E	Forschung und Entwicklung
FPV	Floating Photovoltaic
GEEREF	Globaler Dachfonds für Energieeffizienz und erneuerbare Energien
GIZ	Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit
GJWHD	German-Jordanian Water-Hydrogen-Dialogue
HTEL	Hochtemperatur-Elektrolyse
IDECO	Irbid District Electricity Company
IEA	Internationale Energieagentur
IPP	Independent Power Producer
IRENA	Internationale Organisation für Erneuerbare Energien
JBIC	Japan Bank for International Cooperation
JEPCO	Jordan Electric Power Company
JUST	Jordanian University of Science and Technology
KfW	Kreditanstalt für Wiederaufbau
LNG	Flüssigerdgas
MEMR	Ministerium für Energie und Bodenschätze
MENA	Middle East und North Africa
MWIDE	Ministerium für Wirtschaft, Industrie, Klimaschutz und Energie des Landes Nordrhein-Westfalen
NEPCO	National Electric Power Company
OFID	OPEC-Fonds für Internationale Entwicklung
OPEC	Organisation erdölexportierender Länder
ÖPNV	Öffentlicher Personennahverkehr
PEMEL	Polymer-Elektrolyt-Membran-Elektrolyse
PHES	Pumped Hydroelectric Energy Storage
PPA	Power Purchase Agreement
PPP	Öffentlich-Private Partnerschaft
PtX	Power-to-X
PV	Photovoltaik
RSS	Royal Scientific Society
SUNREF	Sustainable Use of Natural Resources and Energy Finance

Einheiten und Symbole	
CO <sub>2</sub>	Kohlendioxid
GW	Gigawatt
GWp	Gigawatt peak
H <sub>2</sub>	Wasserstoff
H <sub>2</sub> O	Wasser
kg	Kilogramm
km <sup>2</sup>	Quadratkilometer
ktoe	Kilotonne Öleinheiten
m <sup>3</sup>	Kubikmeter
Mio.	Millionen
MW	Megawatt
MWh	Megawattstunde
O <sub>2</sub>	Sauerstoff
TWh	Terawattstunden



Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit  
und Verbraucherschutz

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages