



Globaler H₂-Potenzialatlas

Nachhaltige Standorte in der Welt für die grüne Wasserstoffwirtschaft von morgen:
Technische, ökonomische und soziale Analysen zur Entwicklung eines nachhaltigen
globalen Wasserstoffatlases

HYPAT Working Paper 06/2023

Wechselwirkungen zwischen nationalen Energiewenden und internationalen Wasserstoffkooperationen

Autorinnen und Autoren:

Doris Vespermann, Dr. Sascha Thielmann (GIZ)

Wechselwirkungen zwischen nationalen Energiewenden und internationalen Wasserstoffkooperationen

Förderung

Das Projekt HYPAT – H₂-POTENZIALATLAS – wird im Rahmen des Ideenwettbewerbs »Wasserstoffrepublik Deutschland« im Modul Grundlagenforschung Grüner Wasserstoff vom Bundesministerium für Bildung und Forschung BMBF gefördert. Die Projektlaufzeit läuft über einen Zeitraum von drei Jahren, März 2021 bis Februar 2024.



Projektleitung

Prof. Dr. Martin Wietschel
Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI
Breslauer Str. 48, 76139 Karlsruhe
martin.wietschel@isi.fraunhofer.de

Projekt-Webseite

www.hypat.de

Zitierempfehlung

Vespermann, D.; Thielmann, S. (2023): Wechselwirkungen zwischen nationalen Energiewenden und internationalen Wasserstoffkooperationen. HYPAT Working Paper 06/2023. Karlsruhe: Fraunhofer ISI (ed.)

Veröffentlicht

Datum	Version	Änderung
November 2023	01	

Disclaimer

Das vorliegende Diskussionspapier wurde von den genannten Autorinnen und Autoren des HyPat-Konsortiums ausgearbeitet. Die Analyse spiegelt nicht zwangsläufig die Meinung des HyPat-Konsortiums oder des Fördermittelgebers wider. Die Inhalte werden im Projekt unabhängig vom Bundesministerium für Bildung und Forschung erstellt.

Die Publikation einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt.

Die Informationen wurden nach bestem Wissen und Gewissen unter Beachtung der Grundsätze guter wissenschaftlicher Praxis zusammengestellt. Die Autorinnen und Autoren gehen davon aus, dass die Angaben in diesem Bericht korrekt, vollständig und aktuell sind, übernehmen jedoch für etwaige Fehler, ausdrücklich oder implizit, keine Gewähr.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung und Zielsetzung	4
2	Methodischer Ansatz	6
3	Wichtige Wechselwirkungen zwischen nationalen Energiewenden und internationalen Wasserstoffkooperationen	8
3.1	Chancen von internationalen Wasserstoffkooperationen für die Umsetzung lokaler Energiewenden	9
3.2	Mögliche Risiken von internationalen Wasserstoffkooperationen für die Umsetzung lokaler Energiewenden.....	10
3.3	Übersicht.....	13
4	Detaillierte Informationen zu betrachteten Länderkontexten	15
4.1	Brasilien.....	15
4.2	Chile	17
4.3	Indien.....	19
4.4	Kenia.....	21
4.5	Marokko.....	24
4.6	Namibia.....	26
4.7	Südafrika.....	28
4.8	Tunesien.....	30
5	Diskussion und Schlussfolgerungen	33
	Literaturverzeichnis	35
	Tabellenverzeichnis.....	39

1 Einleitung und Zielsetzung

Grüner Wasserstoff gilt als wichtiger Baustein für die Erreichung der globalen Klimaziele und die Dekarbonisierung aller Sektoren. Die internationale Wasserstoffnachfrage wird einer Vielzahl von Studien zufolge künftig deutlich zunehmen¹. Dies macht sich bereits heute durch die Verankerung des Themas Wasserstoff in zahlreichen Energie- und Wasserstoffpartnerschaften zwischen potenziellen Import- und Exportländern bemerkbar.

Aufgrund ihres hohen Potenzials zur Erzeugung von grünem Wasserstoff gelten auch viele Schwellen- und Entwicklungsländer als vielversprechende Handelspartner der Zukunft. Mit der Perspektive eines neu entstehenden Marktes haben sich in den letzten Jahren etliche internationale Wasserstoffkooperationen zwischen Industrieländern und Ländern des globalen Südens gebildet (World Energy Council, 2020). Ziel dieser Kooperationen ist aus Sicht der Importländer, den Wasserstoffmarkthochlauf in den Partnerländern zu unterstützen und stabile Wasserstofflieferketten mit einhergehender Versorgungssicherheit in den Importländern zu etablieren.

Auch Deutschland wird seinen prognostizierten Bedarf an grünem Wasserstoff nicht ausschließlich selbst decken können. Daher setzt die Bundesregierung in der Fortschreibung der Nationalen Wasserstoffstrategie auch auf Importe aus Ländern des globalen Südens (Bundesregierung, 2023). Dabei hat sich Deutschland zum Ziel gesetzt, dass die Importe auf Basis von Nachhaltigkeitskriterien zu erfolgen haben, die in einer Importstrategie noch festzulegen sind. Wesentliche Aspekte wurden dabei bereits in der Nationalen Wasserstoffstrategie von 2020 festgehalten (Bundesregierung, 2020). Diese beinhaltet unter anderem die Prämisse, dass lokale Märkte und eine Energiewende vor Ort in den Partnerländern nicht behindert, sondern durch die Produktion von grünem Wasserstoff unterstützt werden.

Beim anstehenden Aufbau einer globalen Wasserstoffwirtschaft sind jedoch Effekte denkbar, durch welche der Aufbau einer exportorientierten Wasserstoffwirtschaft im Erzeugerland die Energiewende vor Ort hemmen kann. In der Folge können die durch die Produktion und Nutzung von grünem Wasserstoff erreichten Treibhausgasemissionsminderungen global betrachtet geringer ausfallen als angenommen. Um solche Effekte identifizieren zu können, müssen die möglichen Wechselwirkungen zwischen den nationalen Energiewenden und dem Aufbau einer (zumindest teilweise) exportorientierten Wasserstoffwirtschaft (im Folgenden bezeichnet als „internationalen Wasserstoffkooperationen“) analysiert werden. Nur dann können diese Effekte bei der weiteren Ausgestaltung der Wasserstoffkooperationen berücksichtigt werden und zum Beispiel in die Ausgestaltung politischer oder regulatorischer Rahmenbedingungen einfließen. Aus einer breiteren entwicklungspolitischen Perspektive geht es bei der Energiewende nicht nur um die Abkehr von fossilen Energieträgern, sondern auch um das Erreichen universellen Zugangs zu sauberer Energie der Bevölkerung in den Produktionsländern.

¹ Siehe z. B. (Joint Research Centre, 2019), (Quarton, et al., 2020), (Wietschel, et al., 2021), (World Energy Council, 2021), (Riemer, et al., 2022), (Fraunhofer ISI, 2022).

Vor diesem Hintergrund ist die Zielsetzung dieses Working Papers, wichtige Zusammenhänge zwischen nationalen Energiewenden und internationalen Wasserstoffkooperationen zusammenzustellen. Dies beinhaltet insbesondere die Identifikation von Chancen und Synergien sowie möglichen Risiken und Konflikten von Wasserstoffprojekten in ausgewählten Partnerländern des globalen Südens. Im Vordergrund stehen spezifische Wechselwirkungen wie die Auswirkungen auf die Erreichung der nationalen Energiewende- und Klimaziele, auf den Ausbau der erneuerbaren Energien für die lokale Stromversorgung, auf die Energieinfrastruktur oder auf die Verfügbarkeit von Fachkräften. Dabei werden sowohl politische als auch technische Aspekte berücksichtigt.

Neben der Unterstützung der lokalen Energiewenden spielen weitere Nachhaltigkeitsaspekte wie Umweltauswirkungen oder lokale Teilhabe eine wichtige Rolle für den Aufbau nachhaltiger und klimapolitisch sinnvoller internationaler Wasserstofflieferketten. Das vorliegende Working Paper fokussiert vor allem auf die Auswirkungen von internationalen Wasserstoffkooperationen auf die lokale Energiewende. Eine isolierte Betrachtung ist dabei jedoch häufig weder möglich noch sinnvoll, da die nationalen Ziele einer lokalen Energiewende eng mit sozioökonomischen Interessen der Partnerländer verwoben sind. Ziel dieses Working Papers ist es daher auch, Anknüpfungspunkte aufzuzeigen, über die widerstrebende Interessen vermieden und lokale Energiewenden im Einklang mit den Zielen für nachhaltige Entwicklung der Agenda 2030 der Vereinten Nationen unterstützt werden können.

2 Methodischer Ansatz

Um die Auswirkungen internationaler Wasserstoffkooperationen auf die lokalen Energiesysteme und letztlich die lokalen Energiewenden in möglichen Wasserstoffexportländern zu untersuchen, wurden relevante Veröffentlichungen ausgewertet und Interviews mit Wissensträger*innen aus acht möglichen Produktionsländern geführt. Die Recherche und die Interviews wurden entlang eines Themen- und Interviewleitfadens strukturiert, welcher qualitative und quantitative Indikatoren umfasst. Der Begriff Energiewende steht in dieser Analyse sowohl für die Abkehr von fossilen Energieträgern als auch für die Erreichung eines universellen Zugangs zu sauberer Energie. Der Fokus des Leitfadens liegt dabei auf spezifischen Wechselwirkungen beispielsweise im Hinblick auf Auswirkungen auf den Ausbau erneuerbarer Energien, bestehende Energieinfrastruktur, Konkurrenz um öffentliche Güter oder die Sensibilisierung der Öffentlichkeit. Im Einzelnen enthält der Leitfaden Fragen (i) zu nationalen Zielvorgaben einer lokalen Energiewende, (ii) zur Rolle von Wasserstoff in einer nationalen Energiewende sowie (iii) zu angestrebten Synergien und möglichen Risiken für Interessenskonflikte von internationalen Wasserstoffkooperationen bei der Umsetzung der lokalen Energiewenden.

i. Nationale Zielvorgaben einer lokalen Energiewende

Dieser Teil des Leitfadens zielte vor allem darauf ab, das Ambitionsniveau der möglichen Wasserstoffexportländer hinsichtlich einer Energiewende im eigenen Land einschätzen zu können. Dafür wurden zunächst Daten zum bestehenden Energiesystem des Landes erhoben, unter anderem zum Anteil erneuerbarer Energien am Strom- und Primärenergiebedarf oder zur Elektrifizierungsquote, zu den Zielen des Landes hinsichtlich der Erreichung der Treibhausgasneutralität oder des universellen Energiezugangs. Hierfür wurden insbesondere auch strategische Dokumente wie nationale Energiewende- oder Elektrifizierungsstrategien ausgewertet. Darüber hinaus wurden im Rahmen der Interviews Einschätzungen zum nationalen Energieplanungsprozess oder zum Status der Erreichung der nationalen Energiewendestrategie eingeholt, um einzuschätzen, wie aktiv die Energiewende verfolgt wird und welche Bedeutung sie für die nationale Politik hat.

ii. Rolle von Wasserstoff in einer nationalen Energiewende

Die Inhalte oder geplanten Ziele einer nationalen Wasserstoffstrategie oder Roadmap sollten Aufschluss darüber geben, welche Veränderungen des Energiesystems der Partnerländer durch Wasserstoffaktivitäten im Land angestrebt und bedacht werden. Dabei wurde ein besonderes Augenmerk auf die angestrebten Dekarbonisierungsziele der Wasserstoffstrategien gelegt. Es wurden sowohl nationale Bedarfe und Zahlungsbereitschaften für grünen Wasserstoff und seine Folgeprodukte in einzelnen Sektoren als auch Pläne für den Export betrachtet. Insbesondere bei Exportprojekten wurde hinterfragt, welchen Beitrag diese zur lokalen Energiewende leisten können und explizit sollen.

Darüber hinaus wurde in diesem Teil erfragt, welche nationalen Standards für die Produktion von grünem Wasserstoff gelten sollen und wie international geplante Standards im Land betrachtet werden. Dabei ist insbesondere die lokale Perspektive und Einschätzung der geplanten Anforderungen der Europäischen Union (European Commission, 2023)

interessant, welche unter anderem durch Kriterien wie der Zusätzlichkeit der erneuerbaren Energien für die Wasserstoffherzeugung sowie der zeitlichen und räumlichen Kopplung von Stromerzeugung und Wasserstoffproduktion sicherstellen sollen, dass durch den Import von zertifiziertem, grünem Wasserstoff weder direkt noch indirekt fossile Infrastrukturen in den Erzeugerländern zementiert werden. Ob und wie diese Anforderungen eingehalten und ausgelegt werden, ist daher von Relevanz für dieses Working Papers.

Ferner wird untersucht, inwiefern die Ziele und Ausbaupläne der Wasserstoffstrategie mit den Zielen und Plänen der Energiewendestrategie des Landes vereinbar sind. Hier wird beispielweise nach der Berücksichtigung von Wasserstoff in der nationalen Energieplanung gefragt.

iii. Angestrebte Synergien und mögliche Risiken für Interessenskonflikte von internationalen Wasserstoffkooperationen bei der Umsetzung der lokalen Energiewenden

Neben der Recherche zu bestehenden und geplanten Wasserstoffkooperationen und deren Ausrichtung wurde in diesem Teil auf die explizit erwarteten Synergieeffekte und möglichen Konflikte in Bezug auf die Umsetzung einer nationalen Energiewende sowie auf entsprechenden internationalen Unterstützungsbedarf eingegangen. Im Zentrum stand dabei die Frage, inwiefern angestrebte Synergieeffekte realisierbar und durch entsprechende Regulatorik begünstigt bzw. mögliche Risiken umgangen werden können. Dabei sollte sowohl auf quantitative Effekte (bspw. auf den Einfluss auf den Ausbau Erneuerbarer Energien für die lokale Nutzung oder der Netze) als auch auf qualitative Effekte (wie die allgemeine Sensibilisierung für die Energiewende oder die internationale Sichtbarkeit des Landes als Vorreiter grüner Technologie) eingegangen werden.

Für eine erste Einschätzung wurden entlang der Fragenstellungen des Leitfadens über eine Literaturrecherche entsprechende Informationen aus offiziellen Dokumenten, Strategien und wissenschaftlichen Studien zu den betrachteten acht Partnerländern des globalen Südens (Brasilien, Chile, Indien, Kenia, Marokko, Namibia, Südafrika und Tunesien) zusammengetragen. Anschließend wurden dieselben Fragestellungen in Gesprächen mit jeweils ein bis drei lokalen Wissensträger*innen aus diesen Partnerländern verifiziert und diskutiert. Die Interviewpartner*innen wurden jeweils nach ihrer Expertise zur Gestaltung und Entwicklung des lokalen Energiesystems ausgewählt und sind in ihrer Funktion alle mit politischen, technologischen, sozio-ökonomischen und auch ökologischen Fragestellungen, welche der Einstieg in eine globale und lokale Wasserstoffwirtschaft mit sich bringt, vertraut. Zwar sind Gespräche mit einzelnen Wissensträger*innen nicht repräsentativ und zunächst nur ein subjektiver Eindruck, doch erlaubt dieser Perspektivwechsel oftmals weitergehende Einblicke in die möglichen Wirkungen internationaler Kooperationen, welche sich über Literaturangaben stützen lassen. Auf Basis der Recherche und der Ergebnisse der standardisierten Interviews in den untersuchten Ländern wurden wichtige Wechselwirkungen von internationalen Wasserstoffkooperationen und lokalen Energiewenden sowie Orientierungen für die internationale Zusammenarbeit identifiziert. Diese werden im folgenden Kapitel 3 dargestellt. Detailliertere Informationen zu den jeweiligen Länderkontexten finden sich in Kapitel 4.

3 Wichtige Wechselwirkungen zwischen nationalen Energiewenden und internationalen Wasserstoffkooperationen

Das globale Interesse an grünem Wasserstoff trifft in den acht betrachteten Partnerländern Brasilien, Chile, Indien, Kenia, Marokko, Namibia, Südafrika und Tunesien auf hohe politische Aufmerksamkeit. Das Entstehen eines globalen Marktes für grünen Wasserstoff wird in erster Linie als sozio-ökonomische Entwicklungschance betrachtet. Die Hoffnung auf neu entstehende Wirtschaftszweige, Infrastruktur, Arbeitsplätze und Devisen versprechen wirtschaftlichen Aufschwung und wachsenden Wohlstand. In vielen der betrachteten Ländern wird in den nächsten Dekaden nicht nur durch den Einstieg in eine exportorientierte Wasserstoffwirtschaft mit einer Vervielfachung des Energiebedarfs gerechnet, der zum Teil auch über Wasserstoff gedeckt werden kann. Die Klimawirksamkeit von grünem Wasserstoff und der einhergehende Beitrag zur Erreichung der Klimaziele in verschiedenen Sektoren sind dabei wichtige Argumente für den Einstieg in eine grüne Wasserstoffwirtschaft. Für Industrienationen gilt die Nutzung von grünem Wasserstoff schon heute als fehlendes Puzzleteil, um Prozesse in Sektoren zu dekarbonisieren, für welche es bisher keine Möglichkeiten gab, bspw. in der chemischen Industrie, in der Stahlproduktion oder im Flug- und Schiffsverkehr.

Eben diese Klimawirksamkeit und der tatsächliche Beitrag von Wasserstoff zur lokalen Energiewende werden jedoch häufig nicht aus mehreren Perspektiven beleuchtet. Bei unzureichenden oder nicht vorhandenen Standards oder Regulierungen können die Produktion und die Verwendung von grünem Wasserstoff und dessen Folgeprodukten auch negative Auswirkungen auf das lokale Energiesystem zur Folge haben.

Grundsätzlich sind die Risiken der Erderwärmung, die Dringlichkeit von effektivem Klimaschutz und die Notwendigkeit einer Energiewende in allen acht betrachteten Ländern erkannt. Daher überwiegt auch in allen betrachteten Ländern die Hoffnung, viele der Chancen eines entstehenden grünen Wasserstoffmarktes für die lokale Energiewende realisieren zu können, häufig wird sogar von einem einzigartigem Gelegenheitsfenster oder von „win-win-Situationen“ gesprochen. Das Bewusstsein für mögliche negative Auswirkungen oder für ausbleibende Synergieeffekte für die lokalen Energiesysteme hingegen ist in den verschiedenen Ländern sehr unterschiedlich. Dies lässt sich größtenteils auf die Besonderheiten der lokalen Energiesysteme und dem jeweiligen Fokus der nationalen Wasserstoffstrategien zurückführen.

Um die Chancen realisieren zu können, ist es notwendig, mögliche Risiken zu kennen, diese in der strategischen Planung zu berücksichtigen und Maßnahmen zu ergreifen, welche diese Risiken mindern oder vermeiden. Internationale Partnerschaften können hier unter Umständen unterstützen. In den Kapiteln 3.1 und 3.2 werden daher mögliche Chancen und Risiken von internationalen Wasserstoffkooperationen für die lokalen Energiewenden spezifiziert, welche in einigen oder allen analysierten Ländern deutlich geworden sind. Diese wurden entlang der Wertschöpfungskette von Wasserstoff in die Blöcke Kapazitäten & Ausbildung, Stromerzeugung, Infrastruktur und Wasserstoffnutzung geclustert. Zur zusätzlichen Veranschaulichung sind sie zudem stichpunktartig in Tabelle 1 in Kapitel 3.3 aufgeführt.

3.1 Chancen von internationalen Wasserstoffkooperationen für die Umsetzung lokaler Energiewenden

- **Kapazitäten und Ausbildung**

Das hohe öffentliche Interesse an Wasserstoff kann zu einer allgemeinen Sensibilisierung für die Energiewende und insbesondere auch für den Ausbau der erneuerbaren Energien führen. Für den Bedarf in der Wasserstoffbranche müssen Fachkräfte ausgebildet oder umgeschult werden. Diese Fachkräfte stehen dann nicht nur dem engeren Bereich der Wasserstoffwirtschaft zur Verfügung, sondern können auch eine wichtige Grundlage zum Beispiel für den weiteren Ausbau der erneuerbaren Energien für die lokale Energiewende werden, da die Fachkräfte auch breiter eingesetzt werden. Die Nachfrage nach entsprechenden Ausbildungsprogrammen kann zunehmen und es kann eine kritische Masse erreicht werden, ab der sich der Aufbau von Ausbildungsangeboten in größerem Umfang, aber auch der umfangreichere Aufbau lokaler Unternehmen für erneuerbare Energie wirtschaftlich rentieren. Der Einstieg in eine grüne Wasserstoffwirtschaft kann daher Skaleneffekte bei Kapazitäten und Ausbildung unterstützen. Diese werden sich aber eher erst mittelfristig einstellen. Viele internationale Kooperationen haben die Ausbildungen von Fachpersonal und das Entstehen von lokalem Know-how zum Ziel. Dafür wird häufig mit lokalen Universitäten und Forschungsinstitutionen zusammengearbeitet, die so neues Wissen aufbauen und angepasst an die spezifischen Länderkontexte eine Expertise aufbauen können, welche auch für weitere Fachbereiche der Energiewende relevant ist.

- **Stromerzeugung**

Eine große Hoffnung in Bezug auf Wasserstoffprojekte und die Umsetzung lokaler Energiewenden ist eine einhergehende Beschleunigung des Ausbaus erneuerbarer Energien für die lokale Stromversorgung. Dies kann indirekt über die oben geschilderten Skaleneffekte gefördert werden, wenn die dafür benötigten Fachkräfte in größerem Maße ausgebildet werden. Es wird zum Teil aber auch erwartet, dass Wasserstoffprojekte Investoren anziehen, die in der Folge dann auch Investitionsprojekte in erneuerbare Energien für die lokale Energieversorgung umsetzen. Oftmals wird bei Wasserstoffprojekten auch die Überdimensionierung von PV- und Windkraftanlagen diskutiert, über die „überschüssige“ Mengen an erneuerbarem Strom für die lokale Nutzung bereitgestellt werden könnten.

Insbesondere in Ländern, welche große Wasserstoffexportziele verfolgen, wird ein enormer Bedarf an Komponenten für die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien entstehen, wie beispielsweise PV-Module. Viele der betrachteten Länder verfolgen den Ansatz, diesen Bedarf zumindest teilweise durch lokale Fertigung zu decken, um mehr lokale Wertschöpfung zu realisieren. Abhängig von den Bedingungen vor Ort kann die lokale Fertigung von einfachen Komponenten (wie Kabeln, PV-Montagesysteme, Türme für Windkraftanlagen) oder von technisch komplexeren Bauteilen (z. B. PV-Module, Rotorblätter) angestrebt werden. In jedem Fall schafft eine durch den Einstieg in die Wasserstoffwirtschaft erhöhte Nachfrage nach solchen Komponenten einen lokalen Absatzmarkt, der die lokale Fertigung tendenziell attraktiver und wirtschaftlicher machen kann. Wenn sich lokale Fertigung im Bereich der Erneuerbare-Energie-Technologie etablieren kann, können sich Lieferketten für Projekte zur lokalen Nutzung vereinfachen und den Ausbau erneuerbaren Energien vor Ort begünstigen.

- **Infrastruktur**

Auch für den Ausbau von Netzinfrastruktur und die Verbesserung der Versorgungssicherheit wird in den meisten Ländern mit Synergieeffekten für das lokale Energiesystem gerechnet. Da zum einen Wasser für die Elektrolyse benötigt wird und zum anderen Häfen als wichtige Exportterminals für Wasserstoffprodukte gelten, wird die Wasserstoffproduktion häufig in Küstennähe stattfinden. Die Produktion des benötigten Grünstroms wird nicht immer in unmittelbarer Nähe möglich sein. Um diesen aus dem Landesinneren an die Elektrolyse-Standorte zu bringen, ist der Ausbau der lokalen Stromübertragungsnetze notwendig und soll von Wasserstoffprojektentwicklern unterstützt werden. Bei strategischer Netzausbauplanung des Landes kann dies zu einer Verbesserung der Netzstabilität, des Energiezugangs und somit der Versorgungssicherheit führen. Im selben Zuge können die Netze modernisiert und neue Strommarktdesigns eingeführt werden, welche zusätzliche Anreize für den Ausbau von erneuerbaren Energien schaffen. Hinzu kommt die sektorenübergreifende Relevanz, die Wasserstoff für die Dekarbonisierung von Industrie, Verkehr, Wärme und Strom haben kann. In vielen potenziellen Wasserstoffexportnationen könnte durch strategische Planung Optionen zur Sektorkopplung schon frühzeitig in die Energieplanung integriert werden und ein zukunftsorientierter, effizienter Infrastrukturausbau stattfinden.

- **Wasserstoffnutzung**

Durch den Einstieg in einen globalen Markt für grüne Wasserstoffprodukte ergeben sich für die potenziellen Exportländer des globalen Südens häufig auch lokale Nutzungsmöglichkeiten und somit neue Dekarbonisierungsoptionen in verschiedenen Sektoren. Die lokale Nutzung von grünen Wasserstoffprodukten kann einen Beitrag zur nachhaltigen, wirtschaftlichen Entwicklung der Partnerländer leisten. In vielen der betrachteten Länder wird dabei die Düngemittelindustrie als ein wichtiger Industriesektor gesehen. Gerade vor dem Hintergrund der global gestörten Düngemittellieferketten durch den russischen Angriffskrieg auf die Ukraine kann sich durch die Entwicklung von integralen Projekten zwischen Industrie, Landwirtschaft und Bevölkerung die Ernährungssicherheit mit der Energiewende komplementieren (Energie-Wasser-Ernährungsnexus). Inwiefern eine breitere Nutzung von grünem Wasserstoff in der lokalen Industrie wahrscheinlich ist, hängt stark von der weiteren Entwicklung der Produktionskosten für grünen Wasserstoff und der Zahlungsbereitschaft ab, etwaige Premium-Preise für „grüne Produkte“ zu zahlen. Mittelfristig wird eine solche Nachfrage für Exportgüter gesehen, die mit grünem Wasserstoff erzeugt werden (z. B. grüner Stahl). Durch diese Exporte sollen Einnahmen entstehen. Diese Devisen wiederum können für die Förderung des Ausbaus erneuerbarer Energien, des Infrastrukturausbaus oder von Ausbildungsprogrammen verwendet werden und so die Energiewende im Land vorantreiben.

3.2 Mögliche Risiken von internationalen Wasserstoffkooperationen für die Umsetzung lokaler Energiewenden

- **Kapazitäten und Ausbildung**

Planung, Bau und Betrieb von Wasserstoffprojekten erfordern spezifische Fachkenntnisse sowie ausgebildetes Personal. In vielen potenziellen Exportländern sind diese Fachkräfte jedoch rar. Durch das große ökonomische Interesse an Wasserstoffprojekten kann dadurch eine

Konkurrenz um Fachkräfte entstehen, welche auch für den Ausbau der erneuerbaren Energien für die lokale Nutzung gefragt sind. Ein Fachkräftemangel kann sowohl die Umsetzung der Wasserstoff- als auch der Erneuerbare-Energie-Projekte erheblich verlangsamen. Ähnliches gilt für Genehmigungsverfahren: Wenn nicht frühzeitig zusätzliche und dedizierte Verwaltungsressourcen geschaffen werden, besteht die Gefahr, dass Wasserstoff- und Erneuerbare-Energie-Projekte um Landnutzungs-, Netzausbau- und Projektbewilligungen konkurrieren und sich so gegenseitig ausbremsen. Solche Effekte sind insbesondere kurzfristig zu befürchten, wenn die Verfügbarkeit von Fachkräften und die administrativen Kapazitäten noch nicht an die neuen Bedarfe angepasst sind.

- **Stromerzeugung**

Um über die Erzeugung von grünem Wasserstoff tatsächlich CO₂-Einsparungen erzielen zu können, müssen für den Betrieb der Elektrolyseure zusätzliche Erzeugungskapazitäten für Strom aus erneuerbaren Energien errichtet werden. Deren Stromerzeugung ist jedoch meist variabel, wodurch sich Herausforderungen für den wirtschaftlichen Betrieb von Elektrolyseuren ergeben. Denn um Wasserstoff wirtschaftlich zu produzieren, wird ein möglichst hoher Nutzungsgrad der Elektrolyseure angestrebt, da die Produktion von grünem Wasserstoff durch hohe, fixe Investitionskosten gekennzeichnet ist, die sich am ehesten über einen kontinuierlichen Betrieb und hohe Produktionsmengen amortisieren. Mit volatilen erneuerbaren Energien lassen sich aber selbst an den besten Standorten nur begrenzte Volllaststunden erreichen. Um den Betrieb des Elektrolyseurs auch zu Zeiten sicherzustellen, in denen nicht genügend Solar- und Windenergie zur Verfügung steht, könnte Netzstrom aus dem lokalen Stromsystem für die Produktion von Wasserstoff verwendet werden. Wenn es sich dabei nicht um ansonsten ungenutzten Strom aus erneuerbaren Energien handelt, wird dieser zusätzliche Strombezug in der Regel aus fossilen Quellen stammen und damit zusätzliche CO₂-Emissionen induzieren. Dies gilt in der Regel unabhängig vom Strommix, weil in einem Stromsystem zunächst immer aus der kostengünstigsten Erzeugungskapazität eingespeist wird. Dies sind zumeist variable erneuerbaren Energien wie Wind und Solar. Danach wird die zur Deckung der Nachfrage fehlende Strommenge über regelbare Kraftwerke (oftmals fossile Kraftwerke) erzeugt. Selbst wenn in einem Strommix ein hoher Anteil an erneuerbaren Energieträgern genutzt wird, wird die kurzfristige zusätzliche Stromnachfrage in der Regel in hohem Maße oder vollständig über fossile Energieträger gedeckt. In der Folge erhöht der (zeitweise) Elektrolyseurbetrieb über Netzstrom im lokalen Stromsystem die Menge des aus fossilen Kraftwerken stammenden Stroms – und erhöht damit die CO₂-Emissionen des lokalen Stromsystems. Dies gilt auch, wenn der Betreiber des Elektrolyseurs explizit nur „Grünstrom“ aus dem Netz bezieht, denn dieser Grünstrom fehlt dann im Netz und muss (in der Regel aus fossilen Kraftwerken) „ersetzt“ werden. Dadurch wird die Klimawirksamkeit des produzierten Wasserstoffs reduziert oder gar umkehrt, wenn die bei der Produktion des vermeintlich grünen Wasserstoffs verursachten CO₂-Emissionen höher sind als die mit der Nutzung des vermeintlich grünen Wasserstoffs am Ende eingesparten Emissionen.

Dieser Effekt kann abgemildert werden, wenn zu anderen Zeiten Grünstrom-Überschüsse ins lokale Stromnetz eingespeist werden und dort fossile Stromerzeugung verdrängen. Das ist in den Zeiten der Fall, wenn die für die Elektrolyse errichteten erneuerbaren Stromerzeuger mehr Strom erzeugen, als für die Elektrolyse benötigt wird. Die Gesamteffekte hängen dann stets von den konkreten Stromsystemen ab und lassen sich nur anhand spezifischer Netz- und Betriebssimulationen ermitteln.

Insgesamt besteht bei einer (temporären) Nutzung von Netzstrom die Gefahr, dass durch den Betrieb von Elektrolyseuren die Stromerzeugung aus fossilen Energieträgern in einem Stromsystem ansteigt. Dies kann auch dazu führen, dass durch den Betrieb der Elektrolyseure fossile Kraftwerke länger im Netz bleiben oder deren geplante Stilllegungen verzögert werden. Im Extremfall könnten sogar Investitionsanreize für fossile Kraftwerke ausgelöst werden. All dies könnte indirekt einer Zementierung fossiler Energieerzeugungsstrukturen im lokalen Stromsystem Vorschub leisten und die lokalen Energiewenden der Erzeugerländer hemmen, obwohl eigentlich global CO₂-Minderungen angestrebt werden. Dies stünde im Widerspruch zu den Vorgaben der Nationalen Wasserstoffstrategie Deutschlands.

Insbesondere bei großvolumigen Exportprojekten kann zusätzlich eine Konkurrenz um Standorte und Investitionen für die Erzeugung erneuerbarer Energien für das lokale Energiesystem hinzukommen. Projektentwickler suchen für die wirtschaftliche Optimierung der Wasserstoffproduktion nach den besten Standorten. Neben weiteren Nutzungsoptionen dieser Flächen wie Landwirtschaft, Naturschutz oder Siedlungen treten sie dabei in Konkurrenz zur Erneuerbaren-Energie-Erzeugung für das lokale Energiesystem. Teilweise konnten sich internationale Projektentwickler Flächen mit sehr großem Potenzial zur Erzeugung erneuerbarer Energien sichern, die in der Folge für die lokale Energiewende nicht mehr zur Verfügung stehen. Gerade in Ländern, deren Energiemix noch stark auf fossilen Energieträgern basiert, können Flächen mit besonders großem Potenzial zur Erzeugung erneuerbarer Energien jedoch geeignet sein, um sehr kostengünstigen erneuerbaren Strom für die lokale Versorgung zu produzieren und auf fossilen Energieträgern basierten Strom aus dem Netz zu verdrängen. Solche direkten CO₂-Einsparungen wären im Hinblick auf die Vermeidungskosten je Tonne CO₂ in vielen Fällen deutlich effizienter als Einsparungen, die durch die Anwendung von aus derselben Menge Strom erzeugtem Wasserstoff realisierbar wären.

Weiterhin geht der Bau von Wasserstoffherstellungsanlagen und den zusätzlichen Stromerzeugungskapazitäten mit einem hohen Kapitalbedarf einher. Investoren könnten aufgrund der gegebenenfalls höheren Attraktivität von internationalen Wasserstoffprojekten (die als exportorientierte Projekte mit starker internationaler Beteiligung geringere Risiken und höhere Renditen aufweisen könnten) eher in solche Projekte investieren als in den Ausbau erneuerbarer Energien für die lokale Energieversorgung. Diese sind jedoch dringend notwendig, um die lokalen Energiewenden voranzutreiben.

- **Infrastruktur**

In einigen der betrachteten Länder ist das Stromübertragungsnetz bereits heute stark überlastet und Versorgungsinstabilitäten stehen an der Tagesordnung. In etlichen Ländern wird der Ausbau erneuerbarer Energien durch Engpässe bei den Übertragungskapazitäten der Stromnetze gehemmt, weil keine ausreichenden Netzkapazitäten zur Verfügung stehen, um Wind- und Solarparks ans Netz anzuschließen. Solche Netzengpässe können durch zusätzliche erneuerbare Energien für die Wasserstoffproduktion ausgelöst oder verstärkt werden, insbesondere wenn die Wind- und Solarkraftwerke nicht in der Nähe der Elektrolyseure stehen und eine Übertragung über das Stromnetz erforderlich ist. Dies kann den Ausbau erneuerbarer Energien auch für das lokale Stromsystem hemmen. Zusätzliche Lasten durch elektrolysebasierte Wasserstoffproduktion können insgesamt zu einer weiteren Belastung der bestehenden Infrastruktur und daraus folgend zu Netzinstabilitäten, häufigeren Lastabwürfen und daher zu einer Verschärfung der Versorgungsunsicherheit führen.

Gerade in Ländern, die noch große Defizite hinsichtlich Energiezugang, Elektrifizierung und Versorgungssicherheit haben, wurde in den Gesprächen mit lokalen Wissensträger*innen die Sorge deutlich, dass diese Themen durch die hohe Aufmerksamkeit auf Wasserstoff aus dem politischen Fokus rücken können. Zwar wird häufig angekündigt, durch Überkapazitäten einen Beitrag für die bessere Stromversorgung im Land zu sorgen. Die Herausforderungen bei der Elektrifizierung von ländlichen Gebieten sind jedoch völlig andere als bei der Umsetzung eines Großprojektes zur Erzeugung von Wasserstoffprodukten. Hinzu kommt, dass der Elektrifizierungsbedarf sich nicht unbedingt in der Nähe der potenziellen Projektstandorte konzentriert, sondern meist verteilt in abgelegenen Teilen des Landes ist. Dadurch wäre oftmals ein erheblicher Ausbau der lokalen Stromnetze (insb. auch auf Verteilnetzebene) erforderlich. Bei einem hohen (politischen) Fokus auf den wirtschaftlichen Chancen von Wasserstoffexporten besteht das Risiko, dass sich Verbesserungen des Energiezugangs in abgelegenen Regionen – und damit der international angestrebte universelle Zugang zu Energie – verschleppen.

- **Wasserstoffnutzung**

Zwar zeigen Untersuchungen in einigen der betrachteten Länder Potenziale für die lokale Nutzung von grünen Wasserstoffprodukten zur lokalen Dekarbonisierung. Aus den Gesprächen mit lokalen Wissensträger*innen ging jedoch deutlich hervor, dass es lokal aktuell kaum eine erhöhte Zahlungsbereitschaft für „grüne Produkte“ wie bspw. grünen Stahl im Vergleich zu den herkömmlichen Produkten gibt. Positive Effekte hinsichtlich der lokalen Energiewende durch die Verwendung „grüner Produkte“ im Land erscheinen in diesem Licht unwahrscheinlicher und bringen das Risiko fehlgeleiteter Investition oder gar von „stranded assets“ mit sich. Auch der Aufbau einer exportorientierten Produktion grüner Produkte ist aufgrund der derzeit noch unklaren internationalen Marktsituation mit erheblichen Unsicherheiten verbunden.

3.3 Übersicht

Die in den vorigen Unterkapiteln beschriebenen Wechselwirkungen zwischen internationalen Wasserstoffkooperationen und lokalen Energiewenden, welche in einigen oder allen betrachteten Ländern deutlich geworden sind, sind in Tabelle 1 nochmals stichpunktartig aufgeführt. Dabei wurden Chancen und Risiken entsprechend der thematischen Clusterung direkt gegenübergestellt.

Tabelle 1 Allgemeine Chancen und mögliche Risiken von internationalen Wasserstoffkooperationen bei der Umsetzung einer lokalen Energiewende

Cluster	Chancen	Risiken
Kapazitäten und Ausbildung	<ul style="list-style-type: none"> • Sensibilisierung für die Energiewende und Schaffung zusätzlicher Ressourcen durch hohes öffentliches Interesse an Wasserstoff • Ausbildung von Fachkräften und Aufbau von Ausbildungsprogrammen im Bereich der erneuerbaren Energien • Investitionen in lokale Forschungsinstitutionen 	<ul style="list-style-type: none"> • Verlangsamung von Projektumsetzungen durch Konkurrenz um Arbeitskräfte • Verlangsamung von Genehmigungsverfahren durch Konkurrenz um Verwaltungsressourcen
Stromerzeugung	<ul style="list-style-type: none"> • Beschleunigung des Ausbaus erneuerbarer Energien für lokale Nutzung durch <ul style="list-style-type: none"> - Skaleneffekte - höhere Attraktivität für Investoren - zusätzliche Kapazitäten durch Überdimensionierung von Erneuerbaren-Stromerzeugungsanlagen in Wasserstoffprojekten - Entstehen von lokaler Fertigung von Komponenten im Bereich erneuerbarer Energien (z. B. PV-Montagesysteme, Türme für Windkraftanlagen, PV-Module) 	<ul style="list-style-type: none"> • Erhöhter Betrieb fossiler Kraftwerke, wenn Elektrolyseure zum Teil mit Netzstrom betrieben werden • Verdrängung fossiler Energien aus dem Energiemix wird ausgebremst; Zementierung fossiler Energieerzeugungsstrukturen • Konkurrenz um gute Standorte für Wind- und Solaranlagen durch Exportprojekte • Investitionskonkurrenz zwischen Projekten zur Erzeugung erneuerbarer Energien für die lokale Nutzung und zur Wasserstoffproduktion
Infrastruktur	<ul style="list-style-type: none"> • Beschleunigung des sektorübergreifenden Energieinfrastrukturausbaus • Ausbau des Stromübertragungsnetzes und Verbesserung der Netzstabilität • Erweiterung des Energiezugangs • Modernisierung des Strommarktdesigns und -netze • Integration der Sektorenkopplung in Energieplanung 	<ul style="list-style-type: none"> • Konkurrenz um bestehende Infrastruktur, mit Stromnetzüberlastung / Lastabwurf / Versorgungsunsicherheiten • Verschleppung von Verbesserungen des Energiezugangs durch Fokus auf Wasserstofferzeugung
Wasserstoffnutzung	<ul style="list-style-type: none"> • Entstehen neuer Dekarbonisierungsoptionen in verschiedenen Sektoren • Exportchancen für grüne Produkte und Reinvestition der Devisen in die lokale Energiewende • Entwicklung von integralen Projekten (Energie-Wasser-Ernährungs-Nexus) zwischen Industrie, Landwirtschaft und Bevölkerung 	<ul style="list-style-type: none"> • „Stranded assets“ durch fehlende Zahlungsbereitschaft für „grüne Produkte“ zur lokalen Nutzung

4 Detaillierte Informationen zu betrachteten Länderkontexten

Die Erzeugung und Nutzung von grünen Wasserstoffprodukten ist ein globales Thema. Die Möglichkeiten und Herausforderungen, die das Entstehen eines globalen Marktes für grüne Wasserstoffprodukte mit sich bringt, unterscheiden sich jedoch stark in Abhängigkeit vom jeweiligen lokalen Kontext. Die folgenden Unterkapitel geben exemplarische Beispiele aus acht Ländern des globalen Südens. Sie zeigen, welche Erwartungen und Hoffnungen mit grünem Wasserstoff verknüpft sind und welche Sorgen dieser in Bezug auf die lokale Energiewende weckt. Ebenso können die folgenden Länderbeispiele zeigen, dass noch nicht alle Risiken, die der Einstieg in den grünen Wasserstoffmarkt für die Umsetzung der lokalen Energiewende mit sich bringt, in allen Ländern ausreichend berücksichtigt werden.

4.1 Brasilien

Nationale Zielvorgaben einer lokalen Energiewende

Brasiliens Strommix ist relativ CO₂-arm und der universelle Zugang zu Energie gilt als erreicht (Worldbank, 2023). Insbesondere durch eine starke Abhängigkeit von Wasserkraft, die fast zwei Drittel der Stromerzeugungskapazität ausmacht, nehmen erneuerbare Energien einen Anteil von 84,2 % der gesamten Stromerzeugungskapazität Brasiliens ein. Die CO₂-Intensität der brasilianischen Erzeugung ist in den letzten fünf Jahren bis 2020 um fast 40 % gesunken (Energy Research Office (EPE), 2021). Doch der zehnjährige Energieplan Brasiliens zeigt einen gemischten Ausblick. Dieser prognostiziert zwar eine Installation von 8,4 GW PV- und 24,4 GW Wind-Kapazitäten bis 2029 und einen Anteil von 48 % erneuerbarer Energien am Primärenergiebedarf bis 2031. Er beinhaltet jedoch keine Ziele, die Nutzung von Kohle als Primärenergieträger zu reduzieren und sieht voraus, dass der Anteil fossiler Brennstoffe an der Stromversorgung ab 2030 konstant bleiben wird (República Federativa do Brasil, 2019). Darüber hinaus hat Brasilien zwar die Zusage gemacht, bis 2050 Treibhausgasneutralität zu erreichen, doch trotz Ankündigungen dem UNFCCC dazu bisher noch keine langfristige Strategie vorgelegt (Climate Action Tracker, 2023). Neben diesen offiziellen Zielvorgaben muss jedoch erwähnt werden, dass die Energieplanung während der letzten Regierungslegislatur in Brasilien eine untergeordnete Rolle spielte und erst unter der neuen Regierung wieder höhere Priorität besitzt.

Rolle von Wasserstoff in einer nationalen Energiewende

Grüner Wasserstoff gilt als Opportunität, die der laufenden Energiewende Brasiliens zusätzliche Impulse verleihen soll. Daher wurden im Juli 2021 die Leitplanken für das nationale Wasserstoffprogramm, dem „Programa Nacional de Hidrogênio (PNH2)“ verkündet (República Federativa do Brasil, 2021). Dieses sieht folgende sechs Schwerpunkte vor: die Stärkung von Forschung, Entwicklung & technischen Grundlagen, Capacity Development, Energieplanung, die Entwicklung rechtlicher und regulatorischer Rahmenbedingungen, Marktentwicklung & Wettbewerbsfähigkeit sowie internationale Partnerschaft und Zusammenarbeit. Seit 2023 gibt es hierzu eine Arbeitsgruppe unter Federführung des brasilianischen Energieministeriums. Der PNH2 beinhaltet bisher keine spezifischen, sektoralen Dekarbonisierungsziele. Doch in einigen

Industriezweigen, wie in der Agrarindustrie, im Luftverkehr und im Bergbau, besteht großes Interesse an Nutzungsoptionen von grünem Wasserstoff für Dekarbonisierungsmaßnahmen. Der Aufbau einer grünen Düngemittelindustrie erscheint besonders aussichtsreich. Der Agrarsektor Brasiliens ist aktuell sehr abhängig von Düngemittelimporten aus Russland, gilt aber dank seiner finanziellen Möglichkeiten als sehr innovationsfähig. Auch an Herstellungs- und Nutzungsoptionen von synthetischen Flugtreibstoffen besteht großes Interesse. Für die Nutzung im allgemeinen Verkehrssektor wird auf Ethanol als emissionsarmer Treibstoff gesetzt. In der Zement- und Stahlindustrie besteht bisher wenig Interesse an Nutzungsoptionen für grünen Wasserstoff. Industrievertreter*innen seien sich jedoch einig, dass eine Veränderung langfristig unumgänglich ist. Daher ist es auf absehbare Zeit wahrscheinlicher, dass in diesen Branchen vor allem Zwischenprodukte basierend auf grünem Wasserstoff insbesondere für den Export hergestellt werden.

Das bisher einzige konkrete exportorientierte Großprojekt ist der Ausbau des Hafens von Pecém im Nordosten Brasiliens. Es wird durch die brasilianische Regierung mit 70 Millionen US-Dollar unterstützt. Von hier aus sollen aus Offshore-Windenergie erzeugte grüne Wasserstoffprodukte nach Europa oder in die USA exportiert werden. Einen Standard für grünen Wasserstoff und dessen Derivate gibt es dabei in Brasilien jedoch noch nicht, die Etablierung eines nationalen Standards für sogenannten kohlenstoffarmen Wasserstoff gilt in Brasilien als wahrscheinlicher. Die Importkriterien der EU werden als sehr strikt erachtet, was eine stärkere Exportorientierung in Richtung USA zur Folge haben könnte.

Angestrebte Synergien und mögliche Risiken für die lokale Energiewende

Die Erschließung des Offshore Windenergiepotenzials gilt als nicht notwendig für die Deckung des lokalen Energiebedarfs. Projekte wie in Pecém stehen daher nicht in Konkurrenz zu den Ausbauzielen für erneuerbare Energien zur lokalen Nutzung. Auch für Onshore-Windenergie gibt es ein hohes Potenzial und eine große Flächenverfügbarkeit für erneuerbarer Energien. Die Kosten für die Erschließung dieses Potenzials sind dabei weitestgehend bekannt. Die Investitionsrisiken in Wasserstoffprojekte hingegen gelten als unklar, sodass bisher kein erhöhtes privatwirtschaftliches Investitionsinteresse an Wasserstoffprojekten im Vergleich zu Erneuerbare-Energie-Projekten besteht. Doch erste größere Pilotprojekte wie von EDP in Ceara oder von Linde in Bahia sind bereits in Bau oder gar Betrieb. Die brasilianische Regierung möchte die Förderung erneuerbarer Energien trotz bereits hoher Ausbauraten fortführen. Angesichts des rasanten Ausbaus insbesondere der Windenergie im Nordosten Brasiliens fordern immer mehr Umweltverbände strengere Umwelt- und Sozialverträglichkeitsprüfungen und eine stärkere Berücksichtigung von Nachhaltigkeitsaspekten in Genehmigungs- und Planungsverfahren. Doch nach der untergeordneten Rolle von Energieplanungsprozessen in der vergangenen Legislatur müssen dafür Verwaltungsprozesse neu strukturiert und aufgebaut werden.

Sofern es nicht zu einem massiven Aufschwung der Wasserstoffwirtschaft kommt, sehen lokale Wissensträger*innen aktuell keinen Engpass an Fachpersonal im Bereich erneuerbare Energien aufkommen. Im Rahmen von internationaler Entwicklungszusammenarbeit wurden in der Vergangenheit Qualifizierungsangebote zu erneuerbaren Energien entwickelt und auch Wasserstoff wurde an einigen Fachhochschulen bereits in den Lehrplan aufgenommen, sodass zukünftig auch für diese neu entstehende Branche ausgebildetes Personal verfügbar sein sollte. Schon heute besteht jedoch ein hoher Fachkräftemangel im Bereich der digitalen Netzinfrastruktur, der sich durch den steigenden Anteil variabler Energien und großer Lasten

wie Elektrolyseuren auch durch netzgebundene Wasserstoffprojekte durchaus noch verschärfen kann. In den Gesprächen mit den lokalen Wissensträger*innen wurde daher auch der Wunsch deutlich, dass Brasilien bei der Ausbildung von Fachkräften weiterhin internationale Unterstützung erhält. Auch bei der Entwicklung geeigneter Regularien und insbesondere der Nachfrageseite des Markthochlaufs wurde der Bedarf nach internationaler Beratung und Begleitung durch Entwicklungszusammenarbeit, bspw. bei Bau und Betrieb einer Pilotanlage, geäußert.

Insgesamt wird nach Einschätzung lokaler Wissensträger*innen die ökonomische Entwicklung in Brasilien immer priorisiert werden, doch Nachhaltigkeit gewinnt in Brasilien stark an Bedeutung. So sei Brasilien eines der wenigen Länder weltweit, in dem es aufgrund des bestehenden hohen Anteils erneuerbarer Energien und des enormen Ausbaupotenzials bereits heute im Hinblick auf die Klimawirksamkeit wirklich sinnvoll sei, einen Wasserstoffmarkt zu entwickeln. Dennoch sei es nötig, die brasilianischen Wasserstoffpläne und insbesondere den PNH2 konkreter auszudifferenzieren und in die Energieplanung des Landes zu integrieren. Dabei sollten unbedingt auch Verknüpfungen zu ökologischen Belangen und weiteren Nachhaltigkeitsaspekten hergestellt sowie klare sektorale Dekarbonisierungsziele festgehalten werden.

4.2 Chile

Nationale Zielvorgaben einer lokalen Energiewende

Chile zeigt sich in der Energiewende sehr ambitioniert. Das bisher stark von Großwasserkraft, Kohle, Erdgas und Öl abhängige Energiesystem Chiles soll in den kommenden Jahren einen großen Wandel erfahren. Dafür hat Chile einen Kohleausstiegsplan, der vorsieht, bis spätestens 2040 sämtliche Kohlekraftwerke stillzulegen, 65 % davon bereits bis 2025. Der Anteil erneuerbarer Energien an der Stromerzeugung, welcher im Jahr 2021 bei etwa 54 % lag (IRENA, 2022), soll bis 2030 auf 80 % erhöht werden (Gobierno de Chile, 2022). Der universelle Energiezugang gilt in Chile zwar als erreicht, in bestimmten Regionen haben manche Haushalte aber nur für wenige Stunden am Tag Zugang zu Elektrizität. Der dauerhafte Zugang soll für alle Haushalte bis 2030 erreicht sein (Gobierno de Chile, 2022). Das Erreichen der Treibhausgasneutralität bis 2050 ist ein Ziel Chiles, welches sich in der Klimastrategie und den Rahmengesetzen zum Klimawandel des Landes widerspiegelt. Der Energiesektor ist für etwa 77 % der Treibhausgasemissionen Chiles verantwortlich und daher Schlüssel zur Erreichung dieses Ziels. Der Dekarbonisierungsplan Chiles sieht große Investitionen in erneuerbare Energien, die Modernisierung des Stromsystems und des Strommarkts sowie die Planung von Übertragungsnetzen vor (Gobierno de Chile, 2023).

Rolle von Wasserstoff in einer nationalen Energiewende

Grüner Wasserstoff soll bei der Dekarbonisierung Chiles eine entscheidende Rolle spielen und ist sowohl integraler Bestandteil der strategischen Energieplanung des Landes als auch in den NDCs verankert. Die „Planificación energética de largo plazo 2023-2027“ (PELP) sieht vor, dass 24 % der Emissionen, die in einem Referenz-Szenario bis 2050 entstünden, durch grünen Wasserstoff eingespart werden sollen, um Treibhausgasneutralität zu erreichen (Gobierno de Chile, 2023). Um dieses Ziel zu erreichen, hat Chile im November 2020 seine nationale grüne Wasserstoffstrategie veröffentlicht (Gobierno de Chile, 2020). Darin wird bereits bis 2025 die Installation einer Elektrolysekapazität von 5 GW und bis 2030 von 25 GW vorgesehen. Darüber

hinaus wird das Exportpotenzial für grüne Wasserstoffprodukte auf etwa 1,05 Millionen Tonnen pro Jahr ab 2030 und 2,10 Millionen Tonnen pro Jahr ab 2040 geschätzt. Aus der Strategie wird aktuell ein Aktionsplan erstellt, welcher explizit die Beteiligung der Öffentlichkeit an der Umsetzung der strategischen Ziele vorsieht. Für Wasserstoffprojekte hat die chilenische Regierung zum ersten Mal in der Geschichte des chilenischen Energiemarktes Subventionen im Wert von 50 Millionen US-Dollar gewährt. Grüner Wasserstoff soll zunächst im Chemiesektor, insbesondere in der Sprengstoffindustrie, zur Reduktion der Treibhausgasemissionen beitragen. Längerfristig werden auch Nutzungsoptionen in der Schifffahrt und im Flugverkehr gesehen, sowie Möglichkeiten zur Anwendung von grünem Wasserstoff im Bergbau und der Düngemittelindustrie in Betracht gezogen. Darüber hinaus sind bereits etwa 60 Projekte mit Ausrichtung auf den Export von grünen Wasserstoffprodukten geplant (Gubinelli, 2021). Diese werden zunächst ausschließlich durch den Privatsektor und nicht die öffentliche Hand geplant.

Ob bei Export und lokaler Nutzung die gleichen Standards für die Definition von grünem Wasserstoff und dessen Derivaten geltend gemacht werden sollen, ist bisher unklar. Eine chilenische Definition bzw. die Entwicklung eines Zertifizierungssystems für grünen Wasserstoff und dessen Derivate ist aktuell in Diskussion. Die europäischen Anforderungen werden in diesem Zusammenhang grundsätzlich positiv gesehen, doch in den Gesprächen mit lokalen Wissensträger*innen wurde deutlich, dass sich Chile hier verbindliche Klarheit wünscht. Insbesondere aufgrund der erheblichen Engpässe im Stromübertragungsnetz gilt die Erfüllung zeitlicher und geographischer Korrelationsforderungen von Erneuerbarer-Strom-Erzeugungsanlagen und Betrieb der Elektrolyseure als schwierige Herausforderung. Aus diesem Grund werden Wasserstoffprojekte aktuell zunächst überwiegend netzunabhängig konzipiert. Insbesondere im tiefen Süden des Landes, in der Region von Magellan, welche nicht mit dem nationalen Hauptstromnetz verbunden ist, gibt es hervorragende Voraussetzungen zur Erzeugung von Windenergie und alle Giga-Wasserstoffprojekte dort werden gegenwärtig netzungebunden geplant. Durch eine Netzanbindung wäre in den nördlichen Gebieten Chiles zwar eine weitere Kostenreduktion für grünen Wasserstoff und dessen Derivate möglich, die Sicherstellung der lokalen Versorgung und niedriger Strompreise in Chile wird jedoch momentan priorisiert.

Angestrebte Synergien und mögliche Risiken für die lokale Energiewende

Neben europäischen Partnern bestehen internationale Kooperationen mit Südkorea und Japan sowie der Weltbank und der interamerikanischen Entwicklungsbank. Nach Einschätzungen lokaler Wissensträger*innen haben diese wasserstoffbezogenen Kooperationen und insbesondere die technische Beratung durch Deutschland zu Regulierung, Normen und Studien einen enormen Beitrag geleistet, Chile zum Thema Energiewende zu sensibilisieren und voranzubringen. Durch die Diskussionen zu grünem Wasserstoff sind einige Maßnahmen ergriffen worden, die ebenso wichtig für die gesamte Energiewende sind. Dazu zählen Themen wie der Kohleausstieg, die Verlässlichkeit und Vorhersagbarkeit von erneuerbaren Energien im Stromsystem aber auch die Bestimmung des chilenischen Potenzials zur Erzeugung erneuerbarer Energien. Letzteres wird auf das etwa 15- bis 17-fache der erwarteten Strombedarfe Chiles geschätzt. Flächenverfügbarkeiten werden daher nicht als Engpass gesehen. Übertragungskapazitäten hingegen sind bereits aktuell limitierend für die Einspeisung erneuerbarer Energien. In den Regionen Antofagasta und Atacama im Norden des Landes kam es in den vergangenen Monaten beispielsweise häufig zu Abregelungen, da die

Übertragungskapazitäten zu den Industriezentren in der Mitte Chiles nicht ausreichen. Das Potenzial zur Erzeugung von Solarenergie im Norden Chiles ist enorm. Für die Erzeugung von Wasserstoff würde diese idealerweise durch Windenergie aus der südlichen Mitte des Landes komplementiert, doch wenn die Übertragungskapazitäten so limitiert und die Übertragungsgebühren so teuer sind, werden diese Wasserstoffprojekte kaum ökonomisch umsetzbar. Hinzukommt der im Norden des Landes herrschende Wassermangel und die kaum vorhandenen nachhaltigen Kohlenstoffquellen für die Produktion von Wasserstoffderivaten. Das ohnehin bereits überlastete Stromübertragungsnetz könnte durch Wasserstoffprojekte daher zusätzlich belastet werden. Dies hätte problematische Folgen für die lokale Stromversorgung und -preisentwicklung. Durch die fehlenden Übertragungskapazitäten tendieren die Preise für Solarstrom im Norden für mehrere Stunden am Tag gegen Null. Wenn Wasserstoffprojekte hauptsächlich diese Solarenergie vor Ort nutzen, welche sonst häufig sogar abgeregelt werden muss, können neue dezentrale Wirtschaftschancen im bisher weniger industrialisiertem Norden des Landes entstehen.

Chile hat durch seine frühen Maßnahmen in Richtung einer grünen Wasserstoffwirtschaft und sein enormes Potenzial zur Erzeugung erneuerbarer Energien in den vergangenen Jahren international viel Aufmerksamkeit bekommen. Doch insbesondere durch die regulative Positionierung großer Industrienationen auf dem entstehenden globalen Wasserstoffmarkt, wie z. B. durch den „Inflation Reduction Act“ der USA, wächst in Chile die Sorge, sowohl als potenzieller Wasserstoffexporteur als auch als Technologieimporteur nicht oder nur nachgelagert zum Zuge zu kommen. Dies bringt wiederum große Unsicherheiten für Energieplanungs- und Infrastrukturausbauprozesse des Landes mit sich. Hier äußerten lokale Wissensträger*innen den Wunsch nach mehr Verbindlichkeit seiner Kooperationspartner, um Projekte tatsächlich finanzierbar und umsetzbar zu machen. Hinzu kommt der Wunsch, dass der Markthochlauf von grünem Wasserstoff in Chile dauerhaft nachhaltig und demokratisch ablaufen und mit viel lokaler Beteiligung und Wertschöpfung verbunden sein soll. Dies wird beispielsweise im Süden des Landes, in der Region von Magellan, sehr deutlich. Große Wasserstoffprojekte würden in dieser sehr abgeschiedenen Region enorme landschaftliche und infrastrukturelle Veränderungen mit sich bringen, sodass die soziale Akzeptanz für exportorientierte Wasserstoffprojekte und erneuerbare Energien im Allgemeinen schwer beeinträchtigt werden kann, wenn die lokale Bevölkerung nicht in die Entscheidungsprozesse eingebunden wird. Die aufkommende Wasserstoffindustrie sollte daher andere und inklusivere Ansätze und Geschäftsmodelle finden, als es die Bergbauindustrie in der Vergangenheit getan hat.

4.3 Indien

Nationale Zielvorgaben einer lokalen Energiewende

Erneuerbare Energien machten in Indien im Jahr 2020 etwa 9 % des Primärenergieverbrauchs aus. In der Stromerzeugung lag der Anteil erneuerbarer Energien inklusive großer Wasserkraft im Jahr 2020 bei 19,7 % (BP, 2021). Der wichtigste Primärenergieträger in Indien ist Kohle. Die Kapazitäten von Kohlekraftwerken werden weiter ausgebaut. Bis 2030 möchte Indien jedoch den Anteil nicht-fossiler Stromerzeugungskapazitäten auf 50 % erhöhen und rechnet dafür mit einem zusätzlichen Bedarf von 500 GW installierter nicht-fossiler Strom-Erzeugungsleistung. Aktuell sind etwa 175 GW erneuerbare Stromerzeugungskapazitäten inklusive 46 GW großer Wasserkraftwerke installiert. Der universelle Zugang zu Energie ist mit 99,6 % im Jahr 2021

nahezu erreicht (Worldbank, 2023). Indien hat sich verpflichtet, Treibhausgasneutralität bis 2070 zu erreichen. Zu langfristigen Zielen der Energiewende und konkreten Schritten bezüglich der Umsetzung herrscht jedoch Unklarheit. Auch wenn die Notwendigkeit des Klimaschutzes in Indien erkannt wurde, ist Klimaschutz weder politisch noch gesellschaftlich ein dominierendes Thema.

Rolle von Wasserstoff in einer nationalen Energiewende

Im August 2021 startete Indien die National Green Hydrogen Mission. Sie hat die Schaffung von Exportmöglichkeiten für grüne Wasserstoffprodukte, die Dekarbonisierung des Industrie-, Mobilitäts- und Energiesektors, die Verringerung der Abhängigkeit von importierten fossilen Brenn- und Rohstoffen, die Entwicklung einheimischer Produktionskapazitäten, die Schaffung von Beschäftigungsmöglichkeiten und die Entwicklung modernster Technologien zum Ziel. Die Mission soll auch Pilotprojekte in aufstrebenden Endverbrauchssektoren unterstützen. Regionen, die in der Lage sind, die Produktion oder Nutzung von Wasserstoff in großem Maßstab zu unterstützen, sollen identifiziert und als Zentren für grünen Wasserstoff entwickelt werden. Bis 2030 sollen mindestens 5 Millionen Tonnen grüner Wasserstoff pro Jahr produziert werden, mit einer damit verbundenen Kapazitätserweiterung für erneuerbare Energien von etwa 125 GW. Indien beabsichtigt außerdem, inländische Produktionskapazitäten für Elektrolyseure aufzubauen und eine Elektrolysekapazität von 60 bis 100 GW zu installieren. Die Mission soll zunächst den Ersatz von grauem Wasserstoff durch grünen Wasserstoff bei der Düngemittelproduktion und der Erdölraffination sowie die Beimischung von grünem Wasserstoff in städtischen Gasverteilungssystemen umfassen. In einer zweiten Phase soll je nach Entwicklung von Kosten und Nachfrage der Einsatz zur Dekarbonisierung weiterer Sektoren untersucht werden: die Produktion von Stahl mit grünem Wasserstoff und die Verwendung von aus grünem Wasserstoff gewonnenen, synthetischen Kraftstoffen als Ersatz für fossile Kraftstoffe in verschiedenen Sektoren, einschließlich Mobilität, Schifffahrt und Luftfahrt (Government of India, 2023). Die Gesamtkoordination und Umsetzung der Green Hydrogen Mission wird durch ein Missionssekretariat innerhalb des Ministeriums für neue und erneuerbare Energien Indiens verantwortet und durch sektorale Ministerien unterstützt. Zur Überwachung des Fortschritts und bei Bedarf Korrektur der Ziele der indischen Wasserstoffstrategie wurde ein Lenkungskreis unter Vorsitz des Kabinettssekretärs ins Leben gerufen. Eine Beratergruppe bestehend aus Experten aus wissenschaftlichen, industriellen und zivilgesellschaftlichen Organisationen unter dem Vorsitz des wissenschaftlichen Chefberaters der Regierung stehen dem Lenkungskreis beratend zur Seite.

Angestrebte Synergien und mögliche Risiken für die lokale Energiewende

Auch in Indien gibt es keine erhöhte Zahlungsbereitschaft für „grüne Premiumprodukte“. In einigen Industriezweigen, insbesondere der Düngemittelindustrie, welche bisher auf Importe angewiesen ist, gibt es angesichts der erwarteten Kostenreduktion für grünen Wasserstoff wirtschaftliche Gründe für die Produktionsumstellung auf Düngemittel basierend auf grünem Wasserstoff. Um Nachfrage zu schaffen und die Produktion von grünem Wasserstoff in Gang zu bringen, plant die indische Regierung einen Mindestanteil des Verbrauchs von grünem Wasserstoff oder seinen Folgeprodukten durch bestimmte Verbraucher als Energie oder Rohstoff festzulegen. Eine verpflichtende Beimischungsquote für grünen Wasserstoff in Betrieben, die eine hohe Nutzung von grauem Wasserstoff aufweisen, ähnlich wie

Beimischungsverpflichtungen bei Biokraftstoffen, könnte ein geeignetes regulatorisches Element sein, um den Einstieg in eine grüne Wasserstoffwirtschaft zu unterstützen.

Indiens Ambitionen, der größte Exporteur von grünem Wasserstoff in der Welt zu werden, können ein großes Momentum für den Ausbau erneuerbarer Energien mit sich bringen. Eine große Herausforderung ist hierbei die hohe Parzellierung des Landes sowie potenzielle Landnutzungskonflikte. Vor diesem Hintergrund werden auch der Ausbau von Offshore-Windenergie- und die Nutzung von Agri-Photovoltaikanlagen zur Erzeugung von grünem Wasserstoff erwogen. Konkrete Aussagen, wie Wasserstoffprojekte in Energieplanungsprozessen berücksichtigt werden sollen, liegen bisher kaum vor. In ersten Energieplanungen der zentralen Elektrizitätsplanungsbehörde wird Wasserstoff jedoch einbezogen (Government of India, 2023). Bei den angestrebten Produktionsvolumina für grünen Wasserstoff ist jedoch mit enormen zusätzlichen Erzeugungsbedarfen und Belastungen auf die bestehende Infrastruktur zu rechnen. Hinzukommen prognostizierte stark steigende Energiebedarfe der Bevölkerung und Industrie Indiens im Allgemeinen, deren Deckung durch erneuerbaren Strom im Hinblick auf den aktuell hohen Anteil von Kohlestrom bereits den Ausbau von Erneuerbare-Energie-Kapazitäten in enormen Umfang erfordert. Um den einhergehenden Herausforderungen beim Ausbau entsprechender Energieinfrastruktur begegnen zu können, hat die zentrale Elektrizitätsplanungsbehörde Indiens um internationale Unterstützung durch technische Zusammenarbeit gebeten.

Die Regierung Indiens plant die Auszahlung von Beihilfen nur für nationale Abnahme, also die lokale Nutzung von Wasserstoff. Daher ist es wahrscheinlich, dass auch exportorientierte Projekte so ausgelegt werden, dass sie sowohl nationale als auch internationale Interessen bedienen können, um staatliche Unterstützung bei Bau und Inbetriebnahme zu erhalten. Die Vorgaben der EU für zu importierende grüne Wasserstoffprodukte werden in Indien anerkannt. Zusätzlich wurde in Indien jedoch eine eigene Definition für grünen Wasserstoff erarbeitet, welche die Nutzung von Netzstrom zum Betrieb von Elektrolyseuren zumindest zeitweise ermöglicht, solange ein Emissionswert von 2 kg CO₂/kg H₂ nicht überschritten wird (National Green Hydrogen Mission, 2023). Im Hinblick auf den aktuell hohen Anteil von Kohlestrom im indischen Strommix würde jedoch bereits die kurzzeitige Nutzung von Netzstrom zur Elektrolyse zu einer Klimabilanz des erzeugten Wasserstoffs führen, welche schlechter als die Klimabilanz grauen Wasserstoffs ist. Lokale Wissensträger*innen gehen jedoch davon aus, dass der flexibilisierte Betrieb von Elektrolyseuren und die einhergehenden Treibhausgasemissionen zumindest vorübergehend notwendig seien, um den Markthochlauf in Indien insbesondere für die lokale Nutzung zu realisieren. Eine Verlangsamung des Kohleausstiegs durch Wasserstoffproduktion oder gar die Zementierung von fossiler Infrastruktur werden dennoch nicht befürchtet. Sobald grüner Wasserstoff tatsächlich eine einflussreiche Marktgröße erreicht habe, würden Maßnahmen und Korrekturen getroffen. Hierzu liegen jedoch bisher keine offiziellen Aussagen vor. Diese Position verdeutlicht das primär ökonomische Interesse Indiens am Entstehen eines grünen Wasserstoffmarktes.

4.4 Kenia

Nationale Zielvorgaben einer lokalen Energiewende

Die kenianische Energieversorgung basiert zu einem großen Teil auf erneuerbaren Energien. Im Jahr 2019 machten erneuerbare Energien 68,1 % des Endenergieverbrauchs aus. In der

Stromerzeugung hatten erneuerbare Energien im Jahr 2020 sogar einen Anteil von 93,5 % (International Energy Agency, 2023). Grund dafür ist vor allem die Nutzung von Erdwärme in der Stromerzeugung, welche zudem ein großes Ausbaupotenzial hat. Insgesamt hat Kenia ein Potenzial von etwa 10 GW zur Erzeugung von Strom aus Geothermie. Darüber hinaus ist der Energiemix Kenias sehr diversifiziert. Die Nutzung von Geothermie ermöglicht im Ausgleich zur volatilen Wind- und Solarenergie eine beständige Grundlast. Der universelle Zugang zu sauberer Energie ist in Kenia noch nicht erreicht. Im Jahr 2021 hatten 76,5 % der Haushalte Zugang zu Elektrizität (Worldbank, 2023). Das ursprüngliche Ziel, den universellen Zugang bis 2022 zu erwirken, wurde nicht erreicht und auf 2026 verschoben. Im September 2023 hat sich Kenia offiziell verpflichtet, bis 2050 Treibhausgasneutralität zu erreichen. Damit ist es eines der wenigen Länder weltweit, dessen Strategien und Maßnahmen als kompatibel mit dem Übereinkommen von Paris gewertet werden (Climate Action Tracker, 2023). Kenia verfolgt das Ziel, das nationale Energiesystem bis 2030 auf 100 % saubere Energien umzustellen, gibt aber zu verstehen, dass es darunter zwar überwiegend erneuerbare Energien, aber auch „sauberere“ Kraftstoffe für die Netzstabilisierung und als Grundlastversorgung wie Flüssigerdgas fasst. Zur Umsetzung dieses Ziels verfolgt Kenia seit 2018 eine nationale Energiestrategie, welche 2023 das erste Mal überarbeitet wird (Republic of Kenya, 2018). Hinzu kommen eine nationale Strategie für Elektrifizierung, eine Strategie für Energieeffizienz sowie sektorale Strategien zu sauberer Kochenergie und Biokraftstoffen. Die nationale Energiestrategie vereint dabei alle untergeordneten Strategien. Wasserstoff wird in der nationalen Energiestrategie bisher noch nicht berücksichtigt. Das Thema Energiesicherheit spielt in Kenia eine übergeordnete Rolle. Über viele Jahre wurde eine Niedrig-Stromtarif-Politik verfolgt, welche dem weiteren Ausbau erneuerbarer Energien entgegenwirkte. Da das nationale Energieversorgungsunternehmen aus verschiedenen Gründen seit einiger Zeit rote Zahlen schreibt, wurden die Strompreise im April 2023 erhöht. Dies hat auch ein Moratorium für neue Erneuerbare-Energie-Projekte zur Folge.

Rolle von Wasserstoff in einer nationalen Energiewende

Das kenianische Programm zur Entwicklung von Wasserstoff ist im Gange. Eine nationale Wasserstoff-Roadmap wurde im September 2023 veröffentlicht (Republic of Kenya, 2023). Darin sind noch keine expliziten Ziele für den Ausbau von Elektrolysekapazitäten oder sektorale Dekarbonisierungsziele durch Wasserstoffnutzung ausgegeben. Exportziele wurden ebenfalls noch nicht definiert. Für den Exportmarkt nach Europa schätzt sich Kenia durch die große Entfernung und inadäquate infrastrukturelle Anbindung als wenig kompetitiv ein und sieht eher Chancen im regionalen Markt. Insbesondere der Düngemittelsektor erscheint als gut zu realisierender Eintritt in den grünen Wasserstoffmarkt. Landwirtschaft macht in Kenia mit ca. 36 % den größten Anteil an Treibhausgasemissionen aus (Republic of Kenya, 2022). Durch den Ausbau der lokalen Düngemittelindustrie basierend auf grünem Wasserstoff könnten die Emissionen im Landwirtschaftssektor gesenkt werden. Für „grüne Premiumprodukte“ hingegen besteht in Kenia aktuell kein Markt. Eine erhöhte Zahlungsbereitschaft für klimafreundliche Produkte wird sich in Kenia vermutlich erst durch globale Mechanismen, wie eine globale CO₂-Steuer, entwickeln. Dennoch besteht auch in Kenia großes Interesse an Möglichkeiten für die Entwicklung einer grünen Stahlindustrie sowie nachhaltiger Flugtreibstoffe.

Standards oder regulative Anforderungen für die Erzeugung von grünem Wasserstoff gibt es in Kenia bisher noch nicht. Die Definitionen für grünen Wasserstoff der EU betreffen Kenias Wasserstoffproduktion auf Grund des regionalen Fokus der kenianischen Strategie zunächst nicht. Zu einem späteren Zeitpunkt ist der Einstieg in den Export jedoch nicht ausgeschlossen.

Regulatorische Rahmenbedingungen sollen im Zuge der Umsetzung der Wasserstoff-Roadmap entwickelt werden. Die deutsche Bundesregierung unterstützt diesen Prozess durch Projekte in der technischen Zusammenarbeit, die sich zusätzlich auf Ausbildung von Fachkräften konzentrieren.

Angestrebte Synergien und mögliche Risiken für die lokale Energiewende

In der Energieplanung soll Wasserstoffherzeugung als zusätzliche Stromnachfrage berücksichtigt werden. Hierfür sollen zunächst Überkapazitäten aus der Geothermie genutzt werden, doch auch der zusätzliche Ausbau von Erneuerbare-Energie-Kapazitäten soll weiter vorangetrieben werden. Die Kosten für die Erzeugung von Strom aus Geothermie sind im Allgemeinen höher als die niedrigsten Kosten von Wind- und PV-Strom. Die höheren Vollaststunden könnten aber dazu beitragen, die Kosten für Wasserstoff in Kenia zu senken. Laut einer Studie sind in Kenia derzeit wettbewerbsfähige Wasserstoffproduktionskosten von 3,7-9,9 Euro/kg H₂ erreichbar (Müller et al., 2023). Geografisch liegen sowohl die Potenziale für die weitere Erschließung von Geothermie als auch die für Wind- und Solarenergie eher im Norden des Landes. Die Stromübertragungskapazitäten von Nord nach Süd sowie nach Osten zur Küste sollen ausgebaut werden, wenn sich die Pläne zur grünen Wasserstoffherzeugung konkretisieren. Durch den Einstieg in den grünen Wasserstoffmarkt verspricht sich Kenia mittelfristig eine Verbesserung der nationalen Versorgungssicherheit. Ein durch das Interesse an grüner Wasserstoffherzeugung getriebener Netzausbau könnte Kenia unabhängiger von Stromimporten zur regionalen Netzstabilisierung aus den Nachbarländern machen und zugleich die Interkonnektivität eines ostafrikanischen Power-Trading-Pools schaffen. Versorgungssicherheit ist für Kenia das Hauptanliegen in Bezug auf grünen Wasserstoff. Darin spiegelt sich jedoch nicht nur das Ziel der Energiesicherheit wider, sondern auch die Hoffnung, durch grüne Düngemittel die Ernährungssicherheit im Land zu verbessern und sich so unabhängiger von globalen Lieferketten zu machen.

Eine große Herausforderung bei der Energiewende in Kenia sind die Nutzungskonflikte um Flächen, die sich für den Ausbau erneuerbarer Energien eignen. Fruchtbare Land ist in Kenia häufig in privater Hand, was die Vergabe oder Verpachtung an Projektentwickler relativ einfach macht. Flächen in ariden Gebieten, die sich gut für Solar- und Windparks eignen, werden oftmals treuhänderisch von den Regionalregierungen verwaltet. In den Gemeinden leben oft auch Viehzüchter, die Naturweidewirtschaft betreiben. Dies macht es für Projektentwickler schwierig, große zusammenhängende Flächen zu pachten, da der eindeutige Eigentümer des Grundstücks kaum identifiziert und entschädigt werden kann. Erneuerbare-Energie-Projekte und Wasserstoffprojekte werden daher zumindest teilweise um Land konkurrieren und könnten sich so gegenseitig ausbremsen. Die Finanzierung von Erneuerbare-Energie-Projekten ist in Kenia aufgrund des schlechten Kreditratings ohnehin problematisch. Da die Diskussionen um Wasserstoff im Land noch jung und die Entwicklungen unsicher sind, gibt es bisher noch kaum Investitionsinteresse. Mit einem One-Stop-Shop möchte Kenia jedoch frühzeitig eine zentrale Anlaufstelle aufbauen, welche die bürokratischen Schritte und Genehmigungsverfahren zur Umsetzung von Wasserstoffprojekten vereinfacht.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass Kenia sehr ernsthafte Ambitionen hat, das nationale Energiesystem bis 2030 auf ausschließlich saubere Energien umzustellen und seine Treibhausgasemissionen durch grünen Wasserstoff auch in anderen Sektoren, insbesondere der Landwirtschaft, zu reduzieren. Die Minderung von Risiken für private Investoren (De-Risiking) ist eine der größten Herausforderungen bei der Umsetzung der lokalen

Energiewende. Durch Weiterentwicklung gesetzlicher Vorgaben mit Fokus auf der regulatorischen und bürokratischen Leistungsfähigkeit könnten die Bedingungen für private Investitionen in erneuerbare Energie und in grünen Wasserstoff verbessert werden. Hier könnte eine Unterstützung durch internationale Partner ansetzen.

4.5 Marokko

Nationale Zielvorgaben einer lokalen Energiewende

Das marokkanische Energiesystem ist stark von konventioneller Energieerzeugung insbesondere aus Öl, Kohle und Erdgas abhängig. Der universelle Zugang zu Energie ist in Marokko auch in ländlichen Gebieten erreicht. Im gesamten Endenergieverbrauch machten erneuerbare Energien im Jahr 2019 einen Anteil von etwa 11 % sowie in der Stromerzeugung im Jahr 2021 einen Anteil von etwa 30 % aus (IRENA, 2022). Das Zwischenziel der Energiestrategie aus dem Jahr 2009, die einen Anteil erneuerbarer Energien in den installierten Stromerzeugungskapazitäten von 42 % im Jahr 2020 angestrebt hat, wurde klar nicht erreicht (Royaume du Maroc, 2009). Daher ist auch offen, ob weitere ambitionierte Ziele dieser Strategie, wie das Erreichen eines Anteils erneuerbarer Energien der installierten Stromerzeugungskapazitäten von 52 % im Jahr 2030 und 80 % im Jahr 2050 sowie das Ziel des „Neuen Entwicklungsmodells“, bis 2035 40 % des gesamten Endenergieverbrauchs aus erneuerbaren Quellen zu decken, erreicht werden können (Royaume du Maroc, 2021). Das Fehlen einer größeren Durchdringung der deutlich günstigeren erneuerbaren Energien im Elektrizitätsbereich liegt zumindest teilweise an bestehenden langfristigen Abnahmeverträgen (Power Purchase Agreements) für teuren und von Importkohle abhängigen Kohlestrom. Energiesicherheit spielt in Marokko eine größere Rolle als die Energiewende. Kostenanreize und Überzeugungsarbeit, dass auch ein vollkommen auf erneuerbaren Energien basierendes Energiesystem funktionsfähig und stabil ist, werden daher als wichtige Treiber der Energiewende in Marokko gesehen. Der Einstieg in den grünen Wasserstoffmarkt und dadurch entstehende wirtschaftliche Entwicklungschancen können ein zusätzlicher Anreiz zum Voranbringen der Energiewende in Marokko sein.

Rolle von Wasserstoff in einer nationalen Energiewende

Marokko war eines der ersten Nicht-OECD-Länder, das eine Wasserstoffstrategie auf den Weg gebracht hat. Die Roadmap „Feuille de route de hydrogène vert“ wurde im Januar 2021 veröffentlicht und soll im Laufe des Jahres 2023 aktualisiert werden (Royaume du Maroc, 2021). In der Roadmap werden die Ausbauziele in zwei Szenarien, einem Referenzszenario und einem optimistischen Szenario, angegeben. Demnach soll der Ausbau erneuerbarer Energiekapazitäten für die grüne Wasserstoffproduktion bis zum Jahr 2030 zwischen 8 und 14,6 GW und bis zum Jahr 2050 zwischen 78,2 und 131,5 GW liegen. Dafür wird mit einer Elektrolyseleistung von 2,8 bis 5,2 GW im Jahr 2030 bzw. 31,4 bis 52,8 GW im Jahr 2050 gerechnet. Exportchancen und lokale Nutzungsoptionen werden in der Roadmap gleichermaßen beschrieben. Im Gegensatz zu den meisten Strategien anderer Länder beinhaltet die marokkanische Wasserstoff-Roadmap klare sektorale Dekarbonisierungsziele. Kurzfristig soll grüner Wasserstoff demzufolge in der Industrie, längerfristig auch im Transport Anwendung finden. Dabei ist die Düngemittelindustrie der wahrscheinlichste erste Business Case, da Marokko aktuell einer der größten Ammoniakimporteure der Welt ist. Insbesondere im Hinblick auf die durch den russischen Angriffskrieg gestörten Lieferketten für Düngemittel

ist eine mögliche Unabhängigkeit von Ammoniakimporten ein vielversprechendes Ziel für Marokko. Der staatliche Düngemittelkonzern OCP hat etwa 13 Milliarden Euro Investitionen angekündigt und plant die Produktion von etwa 4 Millionen Tonnen grünem Ammoniak pro Jahr bis 2035.

Angestrebte Synergien und mögliche Risiken für die lokale Energiewende

Obwohl es noch keine klaren Abnehmer gibt, wird mit einem großen Exportmarkt für grüne Wasserstoffprodukte vor allem in die EU gerechnet. Laut lokalen Wissensträger*innen signalisiere zwar insbesondere Deutschland großen Bedarf, deutsche Projektentwickler seien jedoch bisher nicht vor Ort. Um die Anforderungen der EU zu erfüllen, soll ein marokkanisches Zertifizierungssystem für den internationalen Handel entwickelt werden. Dabei wird diskutiert, ob es zusätzliche nationale Standards bspw. für OCP geben soll oder ob sich die marokkanische Zertifizierung ausschließlich an internationalen Standards ausrichtet. Zweiteres gilt nach Einschätzung lokaler Wissensträger*innen als wahrscheinlicher. Es ist davon auszugehen, dass es auf absehbare Zeit zu zweckgebundenen und ausschließlich für grüne Wasserstoffprodukte vorgesehene Investitionen in Wind- und Solarparks kommt, da dadurch der Nachweis der Zusätzlichkeit einfach sein wird und netzferne Regionen besonders geeignet sind. Auch regulatorische Unsicherheiten und Kosten wie Netzentgelte und Anschlussprozeduren können dadurch vermieden werden. Zudem gelten in vielen netzfernen Regionen die Potenziale zur Erzeugung erneuerbarer Energien sowie die notwendige Flächenverfügbarkeit als sehr gut, sodass eine Standort- oder Investitionskonkurrenz zwischen dem Ausbau erneuerbarer Energien für die lokale Energiewende und deren Ausbau für die Wasserstoffproduktion nicht erwartet wird. Lokale Wissensträger*innen gehen daher derzeit davon aus, dass sich die Energiewende im Stromsektor und der Wasserstoffmarkthochlauf gegenseitig befruchten und es nicht zu einem nachlassenden Elan bei der „Stromwende“ kommt. Dennoch sind im Rahmen der marokkanischen Wasserstoffstrategie neben den dedizierten Insellösungen auch der Bezug von erneuerbaren Energien aus dem Stromnetz sowie Hybridlösungen relevant. Bis heute wurde die nationale Ausbaustrategie für erneuerbare Energien im Stromnetz nicht nach Raum, Zeit und Abfolge der Instrumente ausgearbeitet, obwohl eine solide mittel- und langfristige Energieplanung dies erfordern würde.

Ein Grund hierfür ist, dass Marokko nicht in größerem Umfang in den Wasserstoffmarkt investieren möchte, solange die tatsächliche Marktnachfrage nicht klar ist. Dies bedeutet für die marokkanische Energiewende, dass zunächst kaum Investitionen für erneuerbare Energien auf Wasserstoffprojekte umgelenkt werden und die direkte Elektrifizierung zur Dekarbonisierung sektorübergreifend klar priorisiert wird. Generell haben energiewirtschaftliche Erwägungen und Energiesicherheit lokalen Wissensträger*innen zufolge klaren Vorrang. Die internationale Zusammenarbeit solle daher darauf abzielen, Kostenanreize für die Energiewende in Marokko bspw. durch Klimafinanzierungen zu setzen, um so komparative Nachteile zu nivellieren. Dafür müssen auch konfliktträchtige Themen sowie die tatsächlichen Interessen internationaler Partner adressiert werden. Im Hinblick auf den Wasserstoffmarkthochlauf besteht in Marokko daher deutlich die Erwartung, dass Investitionen von privaten, ausländischen Akteuren kommen müssen. Marokko wird versuchen, diese Investitionen anzuziehen.

4.6 Namibia

Nationale Zielvorgaben einer lokalen Energiewende

Trotz seines enormen Potenzials zur Erzeugung erneuerbarer Energien ist Namibia aktuell auf Energieimporte angewiesen. Aktuell bezieht Namibia etwa 70 % seines Strombedarfes aus den Nachbarländern Südafrika, Sambia und Simbabwe. Dieser Strom basiert zu großen Teilen auf Kohleverstromung. Hinzu kommt ein großes Elektrifizierungsdefizit. Im Jahr 2015 hatten erst 51,6 % der Haushalte Zugang zu Stromversorgung. In ländlichen Gebieten liegt der Anteil sogar nur bei 31,3 % (Worldbank, 2023). Namibia strebt danach, seinen eigenen Strombedarf zu erschwinglichen Preisen und mit geringen Emissionen zu decken. Die nationale Elektrifizierungsstrategie sieht vor, dass der universelle Zugang zu Energie bis 2040 erreicht sein soll. Der National Integrated Resource Plan (NIRP) strebt die Reduktion der Stromimportabhängigkeit durch den Ausbau lokaler Stromerzeugungskapazitäten an und sieht bis zum Jahr 2028 Importunabhängigkeit vor. Erneuerbare Energien machten im Jahr 2019 mit 30,7 % am Endenergieverbrauch und mit 96,7 % der nationalen Stromerzeugung bereits einen wesentlichen Anteil des Energiemixes Namibias aus (International Energy Agency, 2023). Namibia hat sich zwar zum Ziel gesetzt, seine Treibhausgasemissionen bis 2030 um 91 % zu reduzieren, das Hauptziel der nationalen Energiewendestrategie, dem NIRP, besteht jedoch nicht darin, Treibhausgasneutralität zu erreichen, sondern die lokale Wirtschaft zu unterstützen. Erneuerbare Energien sind in Namibia klar die kostengünstigste Option, um die Energiebedarfe des Landes zu decken. Generell hat das Thema Energiewende in Namibia eine hohe politische Relevanz. Grüner Wasserstoff ist dabei ein neues und zusätzliches Thema und Namibia bringt gute Voraussetzungen mit zu einem Vorreiter für erneuerbare Energien und grünen Wasserstoff zu werden.

Rolle von Wasserstoff in einer nationalen Energiewende

Das Energieministerium Namibias hat im Herbst 2022 eine nationale Wasserstoffstrategie veröffentlicht, deren Entwicklung durch die deutsche Bundesregierung unterstützt wurde (Republic of Namibia, 2022). Die Ziele dieser Strategie sind klar exportorientiert. Namibia möchte vor allem Wasserstoffprodukte mit geringen Transportkosten via Schiff, wie Ammoniak, Methanol und synthetisches Kerosin, exportieren. Es gibt jedoch auch Ansätze, um lokale Nutzungsmöglichkeiten zur Dekarbonisierung des Verkehrssektors und nachhaltiger Industrialisierung zu realisieren. Namibia strebt die Schaffung einer großangelegten grünen Kraftstoffindustrie mit einem Produktionsziel von 10 bis 15 Millionen Tonnen grünen Wasserstoffs pro Jahr bei einer Elektrolysekapazität von 128 GW bis 2050 an. In Anbetracht der aktuell in Namibia installierten Leistung zur Stromerzeugung von etwa 700 MW sind zur Erreichung dieser Ziele ein enormer Ausbau der erneuerbaren Energien sowie drastische infrastrukturelle Veränderungen erforderlich (IRENA, 2023). Einhergehend ist die Hoffnung groß, dass Namibia durch das große Interesse internationaler Projektentwickler wirtschaftlichen Aufschwung erfährt und die lokalen Energieversorgungsprobleme quasi nebenbei beseitigt werden können. Projektentwickler wie „Hyphen Hydrogen Energy“, welche im Süden des Landes ein Projekt zur Erzeugung grünen Wasserstoffes mit 7 GW Erneuerbare-Kapazität und 3 GW Elektrolyseleistung planen, kündigen an, mit dem erzeugten Überschussstrom das gesamte namibische Stromnetz dekarbonisieren zu können (Hyphen, 2023).

Angestrebte Synergien und mögliche Risiken für die lokale Energiewende

Um derartige Ankündigungen tatsächlich zu realisieren, bedarf es in der Strategie der Regierung Namibias nach Einschätzung lokaler Wissensträger*innen einer Verbindung zwischen den Themen Wasserstoff und Energiezugang sowie klare Verantwortlichkeiten und explizite Anforderungen an Wasserstoffprojekte, den Energiezugang im Land zu verbessern. Die Wasserstoffstrategie Namibias solle zudem um einen Abschnitt erweitert werden, der explizit erklärt, wie die namibische Bevölkerung von den Großprojekten profitieren soll. Die Entwicklung lokaler Wertschöpfungsketten solle dem Land nachhaltige Wachstumsimpulse geben. Die Regierung kündigt zudem an, Einnahmen aus den Exporten zu nutzen, um sozio-ökonomischen Wandel durch grundlegende Investitionen in Bildung und Infrastruktur sowie gezielte Investitionen zur Entwicklung der Industrie voranzutreiben. Klare Richtlinien, wie und wohin diese Einnahmen fließen sollen, gibt es bisher jedoch nicht.

Primärer Handelspartner für wasserstoffbasierte Exportprodukte ist für Namibia die EU, doch auch China, Japan und Südkorea sind an Wasserstoffkooperationen mit Namibia interessiert. Die Anforderungen der EU bei der Erzeugung grüner Wasserstoffprodukte sollen in Namibia erfüllt werden. Bis März 2025 soll ein nationaler strategischer und legislativer Rahmen entwickelt werden. Dieser soll Anforderungen an synthetische Kraftstoffe sowie Rechtsvorschriften für Wasserstoffprojekte festlegen, um die Komptabilität mit internationalen Standards zu gewährleisten. Die Nutzung von Netzstrom kommt bei den genannten Größenordnungen der Exportziele für die Verbesserung der Elektrolyseurauslastung ohnehin kaum in Frage, sodass Projektentwickler auch im Hinblick auf große Flächenverfügbarkeiten mit geringer Nutzungskonkurrenz, einfache Landvergabeprozesse und dem Potenzial für hohe Volllaststunden ausschließlich auf zusätzliche, überdimensionierte PV- und Windkraftanlagen setzen. Durch ein Implementation Authority Office und angepasste Dienstleistungen sollen klare, transparente und benutzerfreundliche Prozesse für alle Beteiligten bei der Planung und Umsetzung von Wasserstoffprojekten entstehen.

Neben dem interkontinentalen Handel strebt Namibia die Schaffung eines integrierten, florierenden grünen Wirtschaftssystems im gesamten südlichen Afrika an. Dafür sollen Synergien in der gemeinsamen Infrastruktur, der Produktionszusammenarbeit und dem Stromexport geschaffen werden, z. B. mit Südafrika, Botswana, Sambia und Angola. Im Rahmen der Southern Corridor Development Initiative beteiligt sich Namibia am Aufbau einer Common Use Infrastructure für die ersten großen Wasserstoffprojekte in Subsahara-Afrika. Dazu sollen Überlandleitungen, Wasserinfrastruktur, Wasserstoffpipelines, Nebeninfrastruktur und Industriehafenkomplexe gehören.

Die Chancen einer grünen Wasserstoffindustrie für Namibia sind enorm, einhergehend auch die Erwartungen und die Herausforderungen im Land und der gesamten Region. Für den Einstieg in den grünen Wasserstoffmarkt benötigt Namibia jedoch verbindliche finanzielle und technische Unterstützung internationaler Geber, welche die Herausforderungen im Bereich Energiezugang dabei nicht außer Acht zu lassen dürfen.

4.7 Südafrika

Nationale Zielvorgaben einer lokalen Energiewende

Das südafrikanische Energiesystem beruht zu großen Teilen auf Kohle. Erneuerbare Energien (ohne Wasserkraft) machten mit ca. 7,3 % im Jahr 2022 einen relativ geringen Teil der Stromerzeugung aus (CSIR, 2023). Mit dem Ausbauplan für den Kraftwerkspark (Integrated Resource Plan, IRP) und dem nationalen Ausschreibungsprogramm für erneuerbare Energien (Renewable Energy Independent Power Producer Procurement Programme, REIPPPP) gibt es in Südafrika eine dedizierte Strategie, um den Anteil erneuerbarer Energien im Netz zu erhöhen. So sollen gemäß des letzten IRP aus 2019 Solar- und Windenergie bis 2030 einen gemeinsamen Anteil von 34 % am Energiemix ausmachen. Allerdings ist derzeit unklar, ob diese Ziele erreicht werden können, denn der Ausbau erneuerbarer Energien liegt hinter den Zwischenzielen zurück. Im „Integrated Energy Plan (IEP)“, welcher 2016 zuletzt aktualisiert wurde, wird Wasserstoff bisher nicht berücksichtigt (Republic of South Africa, 2016). Die Aktualisierung des IEP ist von entscheidender Bedeutung für die Steuerung der gesamten Energieplanung des Landes, einschließlich der Entwicklung einer Wasserstoffinfrastruktur. Sie ist ausschlaggebend für die Investitionen in die Energieinfrastruktur und die Entwicklung politischer Maßnahmen. Trotz Plänen, Zielen und Programmen fehlt das Engagement der Regierung, klare Anreize für den Kohleausstieg zu setzen. Viele Kohlekraftwerke müssen in den nächsten drei Jahrzehnten stillgelegt werden, wobei bis 2050 weniger als 10 GW der bestehenden Kapazität noch in Betrieb sein werden. Zudem sinkt die technische Verfügbarkeit des existierenden Kraftwerksparks aufgrund des hohen Durchschnittsalters kontinuierlich ab, während gleichzeitig der Ausbau der erneuerbaren Energien nur mit erheblichen Verzögerungen vorankommt. Dadurch kommt es seit Jahren zu erheblichen Lastabwürfen. Trotz deutlicher Verbesserungen beim Thema Netzzugang seit den 1990er Jahren besteht nach wie vor ein Elektrifizierungsdefizit. Im Jahre 2021 hatten etwa 89 % der Haushalte Zugang zu Energie (IRENA, 2023). Die Energiewende in Südafrika wird daher aktuell stärker durch die Frage der Energiesicherheit als durch die Notwendigkeit der Dekarbonisierung getrieben.

Rolle von Wasserstoff in einer nationalen Energiewende

Mit der globalen Aufmerksamkeit um Wasserstoff sieht Südafrika eine große Chance für den klimafreundlichen Umbau seiner Industrie. Das südafrikanische Kabinett hat im November 2022 die „Green Hydrogen Commercialisation Strategy“ verabschiedet (Republic of South Africa, 2022), welche die teils zu optimistischen Ziele der „Hydrogen Society Roadmap“ aus dem Jahr 2021 (Republic of South Africa, 2021) aktualisiert und konkretisiert. Die Strategie sieht eine Priorisierung des Exports von grünem Wasserstoff und grünen Chemikalien vor. Dafür soll insbesondere auf der Expertise von Sasol im Bereich der Fischer-Tropsch-Synthese aufgebaut werden. Sasol betreibt sowohl Gas-to-Liquids als auch Coal-to-Liquids Anlagen zur Erzeugung synthetischer Kraftstoffe, wobei Kohle den Großteil des Ausgangsmaterials ausmacht. Grüner Wasserstoff könnte diese Produktion grauer oder schwarzer synthetischer Kraftstoffe ersetzen. Der geplante Export von grünen Wasserstoffderivaten kann in Südafrika daher auch die Dekarbonisierung der lokalen Industrie vorantreiben. Neben der Petrochemie werden in Südafrika Nutzungsoptionen für grünen Wasserstoff in der Düngemittel- und Stahlindustrie, sowie in der Notstromversorgung und im Schwerlastverkehr und Bergbau verfolgt. Lokale Wissensträger*innen rechnen jedoch damit, dass grüne Wasserstoffprodukte auf dem südafrikanischen Markt ohne Anreizsysteme Schwierigkeiten haben werden. Durch

Emissionsgrenzen für Sektoren und Unternehmen, wie sie das südafrikanische Klimagesetz (Climate Change Bill) vorsieht, oder durch verbindliche Quotensysteme für synthetische Kraftstoffe soll der lokale Markt für grünen Wasserstoff in Südafrika angekurbelt werden. Eine eigene Definition für grünen Wasserstoff bzw. ein eigenes Zertifizierungsschema gibt es in Südafrika nicht. Die europäischen Anforderungen zur Erzeugung von Wasserstoffprodukten werden als sehr limitierend angesehen. Doch der Exportmarkt der EU hat für Südafrika große Bedeutung, insbesondere für Produkte wie grünen Stahl, welche eine hohe Wertschöpfung im Land ermöglichen sollen.

Angestrebte Synergien und mögliche Risiken für die lokale Energiewende

Lokale Wissensträger*innen gehen aktuell davon aus, dass die Produktion von grünem Wasserstoff aus zusätzlich aufgebauten Erzeugungskapazitäten erneuerbarer Energien gespeist werden wird und es vorerst keine Nutzung von Netzstrom geben wird. Es wird erwartet, dass die für Wasserstoffprojekte zusätzlich aufgebauten erneuerbaren Energien überdimensioniert werden und überschüssiger Strom ins Netz eingespeist werden könnte. Zur Optimierung der Auslastung der Elektrolyseure bewerten lokale Wissensträger*innen Batteriespeicher als Lösungsoption, die nicht von Versorgungsunsicherheiten bei der Nutzung von Netzstrom abhängt. Dedizierte Strategien oder spezifische Vorgaben hierzu bestehen bisher jedoch noch nicht.

Die Effekte von Wasserstoffprojekten auf die lokale Energieinfrastruktur können sowohl positiv als auch negativ sein. Der Ausbau der erneuerbaren Energien ist in Südafrika bereits heute erheblich durch Engpässe im Übertragungsnetz beschränkt, sodass aufgrund fehlender Übertragungskapazitäten nicht alle ausgeschriebenen Erzeugungskapazitäten realisiert werden können. Die Produktion von grünem Wasserstoff könnte diese Problematik verschärfen, insbesondere wenn die Standorte von Wind- und Solarkraftwerken und die Standorte der Elektrolyseure räumlich getrennt sind und knappe Übertragungsnetz-Kapazitäten genutzt werden müssten. Eine Möglichkeit, zusätzlichen Stress auf das Stromnetz zu vermeiden, könnte für die Dauer der Energiekrise ein regulatorisches Verbot von netzgebundenen Wasserstoffprojekten sein. Wasserstoffprojekte können jedoch auch als Anreiz dienen, den Netzausbau zu beschleunigen, um mehr Exportpotenziale auszuschöpfen. Es gibt auch teilweise konkrete Überlegungen, bspw. durch langfristig reduzierte Übertragungstarife für Wasserstoffprojektentwickler als Ankerabnehmer Anreize zu schaffen, den Netzausbau selbst durch Investitionen zu finanzieren, da der staatliche Netzbetreiber ESKOM zwar das Mandat hat, aber aktuell nicht über die finanziellen Mittel für den Netzausbau verfügt. Die Integration von Wasserstoff in die strategische Planung des nationalen Stromübertragungsnetzes (Transmission Development Plan) ist daher dringend notwendig, um sicherzustellen, dass in die Netzausbauplanung auch der Strombedarf von Wasserstoffprojekten einfließt. Gegenwärtig wird dies noch nicht berücksichtigt.

Auch in Bezug auf Landnutzungskonflikte sind die Effekte unklar. Land wird größtenteils von Landwirten direkt an Projektentwickler ohne Zutun von Regulierungsbehörden verpachtet. Projektentwickler müssen dabei lediglich nachweisen, dass keine Ansprüche anderer auf das Land bestehen. Viele unabhängige Stromerzeuger haben bereits vor Jahren Flächen mit hohem Potenzial zur Erzeugung erneuerbaren Stroms analysiert und teilweise Projekte genehmigt. Durch die langsamen staatlichen Ausbaupläne und Ausschreibungsverfahren für das lokale Stromsystem liegen viele dieser sehr guten Standorte jedoch seit Jahren brach. Die Wasserstoffproduktion bietet nun ein alternatives Geschäftsmodell. Eine Umwidmung dieser

Flächen kann jedoch längerfristig problematisch für die lokale Energieversorgung und somit für die Energiewende vor Ort werden. Dabei kann es nicht nur zu physischen Nutzungskonflikten kommen, sondern ein massiver Ausbau, der physisch möglich ist, kann unter Umständen Akzeptanzprobleme bei der (lokalen) Bevölkerung schaffen oder verstärken. Das Problem wird zum Teil vor Ort gesehen, aber noch nicht systematisch politisch adressiert.

Lokale Wissensträger*innen sehen die größte Chance für die lokale Energiewende durch Wasserstoff in einer Verbesserung der Investitionsmöglichkeiten Südafrikas. Grüner Wasserstoff bietet dem Land die Chance, die bestehende exportorientierte Wirtschaft zu schützen, Einnahmen zu erwirtschaften und im Zuge einer grünen Reindustrialisierung nachhaltige Investitionen in die marode Energieinfrastruktur des Landes zu begünstigen. Dafür seien jedoch regulative Vorgaben zur Verwendung der Exporteinnahmen sowie mehr Klarheit im Hinblick auf Rollen und Verantwortlichkeiten nötig. Die große internationale Aufmerksamkeit möchte Südafrika nutzen, um Investitionen anzuziehen. Internationale Kooperationen wie die Just Energy Transition Partnership zwischen Südafrika und diversen Entwicklungspartnern wie Deutschland, Frankreich, Großbritannien, USA und EU könnten durch Bereitstellung finanzieller Mittel für den Aufbau des Wasserstoffsektors in Südafrika unterstützen.

4.8 Tunesien

Nationale Zielvorgaben einer lokalen Energiewende

Trotz des großen Potenzials zur Erzeugung erneuerbarer Energien basiert das Energiesystem Tunesiens bisher größtenteils auf fossilen Energieträgern. Erneuerbare Energien machten im Jahr 2020 nur 3,9 % der Stromerzeugung aus (International Energy Agency, 2023). Der Anteil Erneuerbarer am Primärenergieverbrauch liegt sogar noch deutlich darunter. Der universelle Energiezugang ist zwar erreicht, doch ist Tunesien mit einem steigenden Energiedefizit konfrontiert, was sich langfristig auf die lokale Versorgungssicherheit auswirken könnte. Der wichtigste Primärenergieträger für das tunesische Energiesystem ist aus Algerien importiertes Erdgas. Im Oktober 2022 hat Tunesien eine Strategie zur kohlenstoffneutralen Entwicklung und Widerstandsfähigkeit an den Klimawandel veröffentlicht, die Pfade und Ansätze beschreibt, um bis 2050 Treibhausgasneutralität zu erreichen und somit seine internationalen Vereinbarungen im Übereinkommen von Paris einzuhalten (Republique tunesienne, 2023). Im März 2023 hat Tunesien neue Ziele im Hinblick auf seine Energiestrategie verkündet. Was erneuerbare Energien betrifft, plant Tunesien demnach bis zum Jahr 2035 eine zusätzliche Leistung von 8350 MW zu installieren (Webmanagercenter, 2023). Die Energiewende wird als sehr wichtig angesehen, dennoch fehlt es an klaren Verantwortlichkeiten, um die grundlegende Veränderung des tunesischen Energiesystems aktiv voranzutreiben. Im Bereich grüner Wasserstoff scheint unter der Aufsicht der Generaldirektion für die Elektrizitäts- und Energiewende des Ministeriums für Industrie, Energie Bergbau eine schnellere Entwicklung als bei den erneuerbaren Energien voranzutreiben.

Rolle von Wasserstoff in einer nationalen Energiewende

Tunesien hat Mitte 2022 mit der Entwicklung seiner nationalen Strategie für grünen Wasserstoff begonnen, die noch 2023 veröffentlicht werden soll. Die Wasserstoffstrategie und die Energiewendestrategie Tunesiens sollen über Workshops und Austauschformate eng

miteinander verknüpft werden, sodass die Wasserstoffaktivitäten mit den Initiativen für die Energiewende harmonisiert werden. Die Strategie sieht eine Wasserstoff Taskforce im Ministerium für Industrie, Energie und Bergbau für die Entwicklung des Wasserstoffsektors in Tunesien vor. Tunesien hat bereits angekündigt, dass es mithilfe der mittelfristigen Priorisierung des Exports den Markt für die lokale Nutzung entwickeln möchte. Dies soll nicht nur grünen Wasserstoff, sondern auch erneuerbare Energien als solche beinhalten. Die Strategie hat einen Export von 6 Millionen Tonnen grüner Wasserstoffprodukte bis 2050 zum Ziel und sieht zusätzlich etwa 2 Millionen Tonnen lokalen Bedarfs vor. Die EU ist dabei der zentrale Handelspartner. Tunesien plant die Unterzeichnung eines Abkommens, um langfristige Abnahmeverträge für grüne Wasserstoffprodukte mit der EU zu ermöglichen. Auch für den entsprechenden Infrastrukturausbau soll ein Großteil der Finanzierung aus EU-Fonds kommen. Eine Anbindung via Pipeline an den geplanten europäischen Wasserstoff-Backbone wird von beiden Seiten angestrebt (SouthH2Corridor, 2023). Die europäischen Anforderungen an grüne Wasserstoffprodukte sind durch den starken Fokus auf Exporte in die EU für Tunesien von großer Relevanz. Um diese Anforderungen erfüllen zu können, werden momentan vor allem netzunabhängige Projekte zur Erzeugung grünen Wasserstoffs geplant.

Außerdem ist Tunesien nach Marokko der größtem Ammoniakimporteure Afrikas. Chancen für die lokale Nutzung von grünen Wasserstoffprodukten sieht Tunesien daher aktuell vor allem in der Transformation seiner Düngemittelindustrie. Derzeit wird jedoch der Großteil der in Tunesien hergestellten Düngemittel nach Indien exportiert, wo aktuell noch kein Interesse an „grünen Produkten“ zu höheren Preisen besteht. Doch auch im Schiffsverkehr, der für den tunesischen Außenhandel enorme Bedeutung hat, wird großes Nutzungspotenzial gesehen. Mittels einer vorrausschauenden Planung wäre die Nutzung von grünem Ammoniak oder Methanol im Schiffsverkehr als Baustein der Dekarbonisierung Tunesiens denkbar. Hierfür muss zunächst die bestehende Hafinfrastruktur, die in den kommenden Jahren ohnehin dringend modernisiert werden muss, erweitert werden, um das Ziel der Dekarbonisierung Tunesiens zu erreichen (GIZ, 2021). Nach Möglichkeit sollen aber zur Dekarbonisierung direkte Elektrifizierungsmaßnahmen vor der Anwendung von Wasserstofffolgeprodukten priorisiert werden.

Angestrebte Synergien und mögliche Risiken für die lokale Energiewende

Es gibt einige Projekte in der internationalen Zusammenarbeit vor allem mit Deutschland, Österreich und der UNIDO, die Kompetenzentwicklung und den Hochlauf der lokalen Nachfrage unterstützen. Insbesondere bei der Entwicklung einer lokalen Wasserstoffwertschöpfungskette wünscht sich Tunesien jedoch mehr internationale Unterstützung, da hierfür nicht genügend staatliche Ressourcen zur Verfügung stehen. Doch der Fokus internationaler Kooperationen in Tunesien liegt klar bei der Implementierung von Großprojekten für den Export von Wasserstoffprodukten. Die potenziellen Einnahmen aus diesen Exporten sollen dazu beitragen, dass die lokalen Bemühungen zum Ausbau der erneuerbaren Energien Auftrieb erhalten. Dafür gibt es bisher zwar keine spezifischen Pläne, eine Studie zur Analyse der Vorteile einer Wasserstoffexportwirtschaft für Tunesien ist jedoch beauftragt. Deren Ausbau entwickelt sich in Tunesien nach wie vor schleppend, und die möglichen Wechselwirkungen zwischen dem Einstieg in eine Produktion von grünem Wasserstoff und dem Ausbau der Erneuerbaren sind derzeit schwer absehbar. Die grüne Wasserstoffstrategie wurde jedoch so entwickelt, dass sie mit anderen Strategien wie der Energiewendestrategie, der Wasserstrategie und der Dekarbonisierungsstrategie abgestimmt

ist. Das wirtschaftliche Interesse Tunesiens am Einstieg in die grüne Wasserstoffwirtschaft ist sehr groß und sorgt für politische und regulative Handlungsbereitschaft. So wurden bereits einige wichtige Prozesse angestoßen, um für eine Verbesserung der Planungs- und Umsetzungskapazitäten vor Ort zu sorgen. Davon kann auch der Ausbau erneuerbarer Energien für die lokale Energieversorgung profitieren. Allerdings könnte auch die Gefahr bestehen, dass die (begrenzten) Kapazitäten vor allem für die Produktion von grünem Wasserstoff genutzt werden und weniger für den Ausbau der erneuerbaren Energien für die lokale Energieversorgung. Die Konkurrenz um geeignete Standorte zwischen Erneuerbare-Energie-Projekten und Wasserstoffprojekten wird von lokalen Wissensträger*innen als größtes Risiko für die Umsetzung der lokalen Energiewende eingeschätzt, wenn Standorte primär für die exportorientierte Wasserstoffproduktion genutzt würden. Um Landnutzungskonflikte zu vermeiden, wurde in der grünen Wasserstoffstrategie die Gründung einer Agentur vorgeschlagen, die sich um Landvergaben für erneuerbare Energien kümmert und Genehmigungsverfahren beschleunigen soll. Diese Agentur, wie auch die oben genannte Taskforce, sollen sicherstellen, dass der Ausbau grüner Wasserstoffprojekte nicht das Wachstum der erneuerbaren Energie behindert.

5 Diskussion und Schlussfolgerungen

Ziel dieses Working Papers war es, mögliche Wechselwirkungen zwischen den nationalen Energiewenden und dem Aufbau einer (zumind. teilweise) exportorientierten Wasserstoffwirtschaft zusammenzustellen und wichtige Aspekte dieser Wechselwirkungen aufzuzeigen. In den Interviews mit den lokalen Wissensträger*innen zeigte sich, dass sich die Gesprächspartner nicht immer aller Wechselwirkungen bewusst sind. Wenn sie sich spezifischer Wechselwirkungen bewusst sind, ist der lokale politische und regulatorische Rahmen oft noch nicht so ausgestaltet, um diese Wechselwirkungen angemessen zu adressieren.

Die Klärung der Rolle von Wasserstoff in der jeweiligen nationalen Energiewende steht in vielen Ländern noch am Anfang. Sich stärker der Chancen und Risiken bewusst zu sein, ist ein erster Schritt, um diese in der weiteren Ausgestaltung der politischen und regulatorischen Rahmenbedingungen zu berücksichtigen. Chancen müssen aktiv erschlossen werden und Risiken aktiv gemanagt werden – für beides ist eine proaktiv steuernde Politik unabdingbar.

Die in diesem Working Paper dargestellten möglichen Wechselwirkungen müssen im jeweiligen Länderkontext im Detail untersucht werden. Eine solche detaillierte Analyse war im Rahmen dieses Working Papers nicht möglich. Stattdessen lag der Fokus darauf, aus den Ländern mögliche Wechselwirkungen abzuleiten und darzustellen. Auf dieser Basis werden im Folgenden einige grundsätzliche Empfehlungen abgeleitet:

- Das globale Ziel eines Einstiegs in die Wasserstoffwirtschaft muss stets im Auge behalten werden: Grüner Wasserstoff sollen zu einer Senkung der globalen CO₂-Emissionen beitragen. Dazu muss sichergestellt werden, dass der grüne Wasserstoff tatsächlich und in einer breiten Betrachtungsperspektive (weitestgehend) CO₂-neutral produziert wird. Das bedeutet in der Konsequenz auch, dass die Emissionsminderungen in den Ländern, die grünen Wasserstoff für ihre Energiewende importieren, nicht zu Lasten der Energiewende in den Exportländern gehen darf, d. h. es muss sichergestellt werden, dass deren Energiewende nicht behindert, sondern unterstützt wird. Dies ist auch eine Anforderung, die sich in der deutschen Nationalen Wasserstoffstrategie wiederfindet. Es muss vermieden werden, dass Wasserstoffprojekte, insbesondere wenn sie für den Export bestimmt sind, zu einer Verdrängung oder Verschiebung von bereits geplanten Energiewendeprojekten oder zu schwindender Akzeptanz für die Energiewendestrategie im eigenen Land führen. Auch muss vermieden werden, dass die lokalen Treibhausgasemissionen durch eine exportorientierte Wasserstoffwirtschaft ansteigen, z. B. wenn durch die Nutzung von Netzstrom der zusätzliche Strombedarf über fossile Energieträger gedeckt wird.
- Der Aufbau von Kapazitäten und Ausbildungsprogrammen für erneuerbare Energien muss die Bedarfe für die lokalen Energiewenden und den Einstieg in die Wasserstoffwirtschaft gleichermaßen berücksichtigen. Der eine Bereich darf nicht zulasten des anderen gehen. Entsprechendes gilt auch für den Aufbau von Ressourcen für Verwaltungs- und Genehmigungsprozesse oder für die politische Steuerung und Regulierung des Sektors.
- Der Einstieg in die Wasserstoffwirtschaft kann erhebliche Einflüsse auf das lokale Stromsystem haben. Diese sind häufig nur durch spezifische Netz- und

Betriebssimulationen abzuschätzen. Es kann sinnvoll sein, solche Simulationen bei der Planung von exportorientierten Wasserstoffprojekten zur systematischen Analyse der Auswirkungen auf das lokale Stromsystem zu fordern.

- Negative Auswirkungen auf die lokale Netzinfrastruktur können bei der Planung von exportorientierten Wasserstoffprojekten zwar durch Insellösungen zunächst umgangen werden. Mittel- bis langfristig sollten Wasserstoffproduktion und -nutzung jedoch in das lokale Energiesystem integriert werden und daher explizit adressiert werden und in die Netzausbauplanung einfließen.
- Die Nutzungsoptionen für grünen Wasserstoff müssen realistisch eingeschätzt werden. Entsprechende Analysen und Abwägungen sind in vielen Ländern bereits Teil des Prozesses zur Formulierung nationaler Wasserstoffstrategien. Da der Markt für grünen Wasserstoff und Wasserstoffbasierte grüne Produkte noch im Entstehen ist, müssen diese Analysen kontinuierlich fortgeschrieben und angepasst werden.
- In internationalen Kooperationen zur Förderung des Einstiegs in die Wasserstoffwirtschaft (sog. „Internationale Wasserstoffkooperationen“) sollten die in diesem Papier skizzierten Wechselwirkungen berücksichtigt werden. Dies ist auch in der Nationalen Wasserstoffstrategie so verankert, welche besagt, dass die Produktion von grünem Wasserstoff in Entwicklungsländern als Impulsgeber genutzt werden soll, um in diesen Staaten den schnellen Aufbau von Erzeugungskapazitäten für erneuerbare Energien voranzutreiben, die wiederum auch den lokalen Märkten zugutekommen (Bundesregierung, 2020).
- Es konnte in diesem Working Paper nur eine begrenzte Anzahl von Aspekten berücksichtigt werden. Auch die länderspezifischen Interviews konnten nur Schlaglichter auf die Themen werfen und erheben nicht den Anspruch auf Vollständigkeit. Es scheint angeraten, sowohl die länderspezifischen Analysen der Wechselwirkungen fortzuführen und zu vertiefen. Insbesondere sollten sie in die Entwicklung nationaler Wasserstoff- und Energiewendestrategien und deren Fortschreibungen einfließen. Auch im Rahmen der internationalen Diskussion zu Nachhaltigkeitskriterien und Zertifizierung dürfen diese Wechselwirkungen nicht ausgeblendet werden. Dies erhöht die Komplexität, trägt aber dazu bei, dass der Einstieg in eine grüne Wasserstoffwirtschaft wirklich nachhaltig ist und dann auch in der globalen Perspektive tatsächlich zu signifikanten Treibhausgasemissionsminderungen beiträgt.

Literaturverzeichnis

- BP (2021): Statistical Review of World Energy - India insights. Online verfügbar unter <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2021-india-insights.pdf>, zuletzt geprüft am 24.07.2023
- Bundesregierung (2020): Die Nationale Wasserstoffstrategie. Berlin: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi). Online verfügbar unter https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/die-nationale-wasserstoffstrategie.pdf?__blob=publicationFile&v=16, zuletzt geprüft am 10.05.2023
- Bundesregierung (2023): Fortschreibung der Nationalen Wasserstoffstrategie. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi). Online verfügbar unter https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/fortschreibung-nationale-wasserstoffstrategie.pdf?__blob=publicationFile&v=3, zuletzt geprüft am 01.08.2023
- Climate Action Tracker (2023): Brazil's Policies Action. Online verfügbar unter <https://climateactiontracker.org/countries/brazil/policies-action/>, zuletzt geprüft am 21.08.2023
- Climate Action Tracker (2023): Kenya's Policies Action. Online verfügbar unter <https://climateactiontracker.org/countries/kenya/targets/>, zuletzt geprüft am 22.07.2023
- Climate Transparency. (2021). Brazil - Climate Transparency Report: Comparing G20 Climate Action Towards Net Zero. Online verfügbar unter <https://www.climate-transparency.org/wp-content/uploads/2021/10/CT2021Brazil.pdf>, zuletzt geprüft am 21.08.2023
- CSIR (2023): Statistics on power generation in South Africa for 2022. Council for Scientific and Industrial Research. Online verfügbar unter <https://www.iea.org/countries/south-africa>, zuletzt geprüft am 21.07.2023
- Energy Research Office (EPE): (2021). Brazilian Energy Balance Summary Report 2021. Rio de Janeiro. Online verfügbar unter https://www.epe.gov.br/sites-en/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-231/BEN_S%C3%ADntese_2020_EN.pdf, zuletzt geprüft am 29.08.2023
- European Commission (2023): Delegated Acts pursuant to Article 27 and 28 of the Renewable Energy Directive. Online verfügbar unter https://ec.europa.eu/info/law/better-regulation/have-your-say/initiatives/7046068-Production-of-renewable-transport-fuels-share-of-renewable-electricity-requirements-_en, zuletzt geprüft am 10.07.2023
- Fraunhofer ISI, C. i. (2022): Langfristszenarien. Online verfügbar unter <https://langfristszenarien.de/enertile-explorer-de/index.php>, zuletzt geprüft am 11.05.2023
- GIZ (2021): Studies on the opportunities of "Power-to-X" in Tunisia. Online verfügbar unter https://www.giz.de/en/downloads_els/GIZ%20PtX%20Tunisia%20report-Web.pdf, zuletzt geprüft am 29.07.2023
- Gobierno de Chile (2020): National Green Hydrogen Strategy. Online verfügbar unter https://energia.gob.cl/sites/default/files/national_green_hydrogen_strategy_-_chile.pdf, zuletzt geprüft am 10.08.2023
- Gobierno de Chile (2022): Actualización 2022 Política Energética Nacional. Ministerio de Energía. Online verfügbar unter <https://energia.gob.cl/energia2050>, zuletzt geprüft am 02.08.2023
- Gobierno de Chile (14. 08 2023): PELP - Planificación energética de largo plazo. Ministerio de Energía. Online verfügbar unter <https://energia.gob.cl/pelp>, zuletzt geprüft am 02.08.2023
- Gobierno de Chile (2023): Plan de Descarbonización. Ministerio de Energía. Online verfügbar unter https://energia.gob.cl/sites/default/files/documentos/20230801_jornada_mesa_descarbonizacion_vfinal.pdf, zuletzt geprüft am 02.08.2023
- Government of India (2023): National green hydrogen mission. Ministry of new and renewable energy. Online verfügbar unter https://mnre.gov.in/img/documents/uploads/file_f-1673581748609.pdf, zuletzt geprüft am 25.07.2023

- Government of India (2023): Report on optimal Generation Capacity Mix for 2029-30. Central Electricity Authority, Ministry of Power. Online verfügbar unter https://cea.nic.in/wp-content/uploads/irp/2023/05/Optimal_mix_report_2029_30_Version_2.0_For_Uploading.pdf, zuletzt geprüft am 04.09.2023
- Green Hydrogen Organisation (2023): Country Profile Kenya. Online verfügbar unter <https://gh2.org/countries/kenya>, zuletzt geprüft am 29.07.2023
- Gubinelli, G. (2021): Con 60 proyectos Chile apuesta a exportar más hidrógeno que cobre. Energía Estratégica. Online verfügbar unter <https://www.energiaestrategica.com/con-60-proyectos-chile-apuesta-a-exportar-mas-hidrogeno-que-cobre/>, zuletzt geprüft am 10.08.2023
- Hyphen (2023): Hyphen Africa Projects. Online verfügbar unter <https://hyphenafrika.com/projects/>, zuletzt geprüft am 30.07.2023
- International Energy Agency (2023): Country Profile India. Online verfügbar unter <https://www.iea.org/countries/india>, zuletzt geprüft am 24.07.2023
- International Energy Agency (20. July 2023): Country Profile Kenya. Online verfügbar unter <https://www.iea.org/countries/kenya>, zuletzt geprüft am 29.07.2023
- International Energy Agency (2023): Country Profile Namibia. Online verfügbar unter <https://www.iea.org/countries/namibia>, zuletzt geprüft am 21.07.2023
- International Energy Agency (25. 07 2023): Country Profile Tunisia. Online verfügbar unter <https://www.iea.org/countries/tunisia>, zuletzt geprüft am 29.07.2023
- IRENA (2022): Energy Profile Chile. Online verfügbar unter https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Statistics/Statistical_Profiles/South%20America/Chile_South%20America_RE_SP.pdf, zuletzt geprüft am 20.07.2023
- IRENA (2022): Energy Profile Morocco. Online verfügbar unter https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Statistics/Statistical_Profiles/Africa/Morocco_Africa_RE_SP.pdf, zuletzt geprüft am 20.07.2023
- IRENA (2023): Energy Profile Namibia. Online verfügbar unter https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Statistics/Statistical_Profiles/Africa/Namibia_Africa_RE_SP.pdf, zuletzt geprüft am 19.07.2023
- IRENA (2023): Energy Profile South Africa. Online verfügbar unter https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Statistics/Statistical_Profiles/Africa/South%20Africa_Africa_RE_SP.pdf, zuletzt geprüft am 28.08.2023
- Joint Research Centre (2019): Hydrogen use in EU decarbonisation scenarios.
- National Green Hydrogen Mission (2023). Office Memorandum No. 353/35/2022-NT. New Dehli: Ministry of New and Renewable Energy. doi:https://mnre.gov.in/img/documents/uploads/file_f-1692368402544.pdf
- Quarton, C. J.; Tlili, O.; Welder, L.; Mansilla, C.; Blanco, H.; Heinrichs, H.; Samsatli, S. (2020). The curious case of the conflicting roles of hydrogen in global energy. *Sustainable Energy & Fuels*, S. 80-95.
- Republic of Kenya (2018): National Energy Policy. Ministry of Energy and Petroleum. Online verfügbar unter https://repository.kippra.or.ke/bitstream/handle/123456789/1947/BL4PdOqKtxFT_National%20Energy%20Policy%20October%20%202018.pdf?sequence=1&isAllowed=y, zuletzt geprüft am 07.11.2023
- Republic of Kenya (2022): Baseline study on the potential for power-to-x / green hydrogen in Kenya. Ministry of Energy and Petroleum, Tractebel. Online verfügbar unter https://energypedia.info/images/6/65/PtX-Baseline_Study-KE_Report.pdf, zuletzt geprüft am 07.11.2023
- Republic of Kenya (2023): Green Hydrogen Strategy and Roadmap for Kenya. Ministry of Energy and Petroleum. Online verfügbar unter https://energy.go.ke/sites/default/files/KAWI/Other%20Downloads/GREEN%20HYDROGEN%20EXEC_PRINT.pdf, zuletzt geprüft am 11.09.2023

- Republic of Namibia (2022): Namibia. Green Hydrogen and Derivatives Strategy. Windhoek: Ministry of Mines and Energy Namibia. Online verfügbar unter https://gh2namibia.com/gh2_file_uploads/2022/11/Namibia-GH2-Strategy-Rev2.pdf, zuletzt geprüft am 29.07.2023
- Republic of South Africa (2016): Integrated Energy Plan. Departement of Energy. Online verfügbar unter <https://www.energy.gov.za/files/IEP/2016/Integrated-Energy-Plan-Report.pdf>, zuletzt geprüft am 16.07.2023
- Republic of South Africa (2021): Hydrogen Society Roadmap for South Africa. Departement of Science and Innovation. Online verfügbar unter https://www.dst.gov.za/images/South_African_Hydrogen_Society_RoadmapV1.pdf, zuletzt geprüft am 24.05.2023
- Republic of South Africa (2022): Green Hydrogen Commercialisation Strategy. Trade, Industry and Competition Department. Online verfügbar unter <http://www.thedtic.gov.za/green-hydrogen-commercialisation-strategy/>, zuletzt geprüft am 28.05.2023
- República Federativa do Brasil (2019): Plano decenal de expansao de energia 2029. Ministério de Minas e Energia, Empresa de pesquisa Energética. Online verfügbar unter <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-422/PDE%202029.pdf>, zuletzt geprüft am 15.08.2023
- República Federativa do Brasil (2021): PNH2 - Programa Nacional do Hidrogênio - Proposta de Diretrizes. Ministério de Minas e Energia. Online verfügbar unter <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/mme-apresenta-ao-cnpe-proposta-de-diretrizes-para-o-programa-nacional-do-hidrogenio-pnh2/HidrogenioRelatriodiretrizes.pdf>, zuletzt geprüft am 15.08.2023
- Republique tunesienne (2023): Stratégie de Développement Neutre en Carbone et Résilient aux Changements Climatiques à l'horizon 2050. Ministère de l'Environnement. Online verfügbar unter <https://cc-tunisie.com/strategie-bas-carbone/>, zuletzt geprüft am 06.09.2023
- Riemer, M.; Zheng, L.; Pieton, N.; Eckstein, J.; Kunze, R.; Wietschel, M. (2022). Future hydrogen demand: A cross-sectoral, multiregional meta-analysis. Karlsruhe: Fraunhofer ISI (ed.).
- Royaume du Maroc (2021): Feuille de Route de l'Hydrogène Vert. Ministère de l'Énergie des Mines et de l'Environnement. Online verfügbar unter https://www.mem.gov.ma/Lists/Lst_rapports/Attachments/36/Feuille%20de%20route%20de%20hydrog%C3%A8ne%20vert.pdf, zuletzt geprüft am 23.06.2023
- Royaume du Maroc (2021): Le nouveau modele de developpement. Online verfügbar unter https://www.csmd.ma/documents/Rapport_General.pdf, zuletzt geprüft am 14.07.2023
- Royaume due Maroc (2009): Stratégie Energétique Nationale Horizon 2030. Ministère de l'énergie, des Mines, de l'eau et de l'Environnement. Online verfügbar unter https://fesmeknesinvest.ma/wp-content/uploads/2021/09/strategie_energetique_nationale_maroc_2030.pdf, zuletzt geprüft am 14.07.2023
- South2Corridor (2023): Online verfügbar unter <https://www.south2corridor.net/south2>, zuletzt geprüft am 07.08.2023
- Webmanagercenter (2023): La stratégie énergétique 2035 garantira à la Tunisie une énergie sûre, accessible et adorable. Online verfügbar unter <https://www.webmanagercenter.com/2023/03/03/503023/la-strategie-energetique-2035-garantira-a-la-tunisie-une-energie-sure-accessible-et-abordable/>, zuletzt geprüft am 06.09.2023
- Wietschel, M.; Zheng, L.; Arens, M.; Hebling, C.; Ranzmeyer, O.; Schaadt, A. et al. (2021). Metastudie Wasserstoff – Auswertung von Energiesystemstudien. Karlsruhe, Freiburg, Cottbus: Studie im Auftrag des Nationalen Wasserstoffrats; Fraunhofer ISI, Fraunhofer ISE Fraunhofer IEG.
- World Energy Council (2020): International hydrogen strategies. Ludwig Bölkow Systemtechnik. Online verfügbar unter https://www.weltenergieerat.de/wp-content/uploads/2020/10/WEC_H2_Strategies_finalreport.pdf, zuletzt geprüft am 11.05.2023
- World Energy Council (2021): Hydrogen Demand and Cost Dynamics. Online verfügbar unter https://repository.kippra.or.ke/bitstream/handle/123456789/1947/BL4PdOqKtxFT_National%20Energy%20Policy%20October%2020202018.pdf?sequence=1&isAllowed=y, zuletzt geprüft am 20.07.2023

Worldbank (2023): Electrification Indicator Brazil. Online verfügbar unter <https://data.worldbank.org/indicator/EG.ELC.ACCS.ZS?locations=BR>, zuletzt geprüft am 15.08.2023

Worldbank (2023): Electrification Indicator India. Online verfügbar unter <https://data.worldbank.org/indicator/EG.ELC.ACCS.ZS?locations=IN>, zuletzt geprüft am 02.08.2023

Worldbank (2023): Electrification Indicator Kenya. Online verfügbar unter <https://data.worldbank.org/indicator/EG.ELC.ACCS.ZS?locations=KE>, zuletzt geprüft am 17.07.2023

Worldbank (2023): Electrification Indicator Namibia. Online verfügbar unter <https://data.worldbank.org/indicator/EG.ELC.ACCS.RU.ZS?end=2015&locations=NA&start=1971&view=chart>, zuletzt geprüft am 19.07.2023

Worldbank (2023): Electrification Indicator South Africa. Online verfügbar unter <https://data.worldbank.org/indicator/EG.ELC.ACCS.ZS?end=2015&locations=ZA&start=1971&view=chart>, zuletzt geprüft am 21.07.2023

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1	Allgemeine Chancen und mögliche Risiken von internationalen Wasserstoffkooperationen bei der Umsetzung einer lokalen Energiewende	14
-----------	---	----