

---

---



# H<sub>2</sub> Potential

Globaler H<sub>2</sub>-Potentialatlas

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 02/2022

## **Import von Wasserstoff und Wasserstoffderivaten: Exportländer**

Autorinnen und Autoren:

Barbara Breitschopf, Jana Thomann, Joshua Fragoso Garcia, Christoph Kleinschmitt, Tim Hettesheimer, Felix Neuner, Florian Wittmann, Florian Roth (Fraunhofer ISI)

Natalia Pieton, Veronika Lenivova (Fraunhofer IEG)

Zarah Thiel (Ruhr-Universität Bochum, Lehrstuhl Umwelt-/Ressourcenökonomik und Nachhaltigkeit)

Rita Strohmaier, Andreas Stamm (DIE)

Ludger Lorych (GIZ)



Deutsches Institut für  
Entwicklungspolitik



German Development  
Institute



Deutsche Gesellschaft  
für Internationale  
Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

# Import von Wasserstoff und Wasserstoffderivaten: Exportländer

## Förderung

Das Projekt HYPAT – H<sub>2</sub>-POTENTIALATLAS – wird im Rahmen des Ideenwettbewerbs »Wasserstoffrepublik Deutschland« im Modul Grundlagenforschung Grüner Wasserstoff vom Bundesministerium für Bildung und Forschung BMBF gefördert. Die Projektlaufzeit beträgt drei Jahre, 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](mailto:martin.wietschel@isi.fraunhofer.de)

## Projekt-Webseite

[www.hypat.de](http://www.hypat.de)

## Zitierempfehlung

Breitschopf, B.; Thomann, J.; Fragoso Garcia, J.; Kleinschmitt, C.; Hettesheimer, T.; Neuner, F.; Wittmann, F.; Roth, F.; Pieton, N.; Lenivova, V.; Thiel, Z.; Strohmaier, R.; Stamm, A.; Lorych, L. (2022): Import von Wasserstoff und Wasserstoffderivaten: Exportländer. HYPAT Working Paper 02/2022. Karlsruhe: Fraunhofer ISI (Hrsg.).

## Veröffentlicht

Datum	Version	Änderung
Mai 2022	01	
April 2023	02	neuer Disclaimer

## 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

<b>1</b>	<b>Einleitung und Zielsetzung</b> .....	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>Vorgehen</b> .....	<b>6</b>
<b>2.1</b>	<b>Indikatorbasierter Ansatz</b> .....	<b>6</b>
2.1.1	Compliance.....	7
2.1.2	Mindestvoraussetzungen.....	8
2.1.3	Indikatoren.....	12
2.1.4	Multikriterielle Auswertung.....	30
2.1.5	Analysetool.....	33
2.1.6	Qualitative Kriterien.....	34
<b>2.2</b>	<b>Expertenbasierter Ansatz</b> .....	<b>35</b>
2.2.1	Fokusgruppen.....	35
2.2.2	Diskussion HYPAT-Beirat und -Projektteam.....	37
<b>3</b>	<b>Ergebnisse</b> .....	<b>38</b>
<b>3.1</b>	<b>Indikator-basierte Ergebnisse</b> .....	<b>38</b>
3.1.1	Ergebnisse in den einzelnen Kategorien.....	38
3.1.2	Multi-kriterielle Analyse.....	42
<b>3.2</b>	<b>Ergebnisse der Fokusgruppendifkussion</b> .....	<b>48</b>
<b>3.3</b>	<b>Politische Prioritäten und Lieferbeziehungen</b> .....	<b>48</b>
3.3.1	Verlässlichkeit.....	48
3.3.2	Entwicklungspolitische Ziele und Prioritäten.....	53
3.3.3	Sicherheitspolitische Perspektive.....	53
<b>4</b>	<b>Zusammenfassung und Schlussfolgerungen</b> .....	<b>54</b>
<b>5</b>	<b>Literaturverzeichnis</b> .....	<b>56</b>
<b>6</b>	<b>Abbildungsverzeichnis</b> .....	<b>60</b>
<b>7</b>	<b>Tabellenverzeichnis</b> .....	<b>61</b>
	<b>Appendix</b> .....	<b>62</b>
<b>A.1</b>	<b>Ergänzende Informationen zum Vorgehen</b> .....	<b>62</b>
A.1.1	Mindestvoraussetzung: Länder/Territorien mit weniger als 100 TWh Netto-EE-Potential mit Kosten über 70 Euro/MWh im Jahr 2050.....	62
A.1.2	Indikator-basierter Ansatz.....	63
A.1.3	Expertenbasierter Ansatz.....	67
A.1.4	Übersicht über Struktur des Analysetools.....	68

<b>A.2</b>	<b>Ergänzende Informationen zu den Ergebnissen .....</b>	<b>69</b>
<b>A.2.1</b>	<b>Ranking der sozio-institutionellen Kategorie .....</b>	<b>69</b>
<b>A.2.2</b>	<b>Gewichtetes Ranking .....</b>	<b>71</b>
<b>A.2.3</b>	<b>Ranking mit Grenzwert .....</b>	<b>72</b>

# 1 Einleitung und Zielsetzung

---

Im Zuge der Energiewende und des Klimaschutzes sowie mit Blick auf geopolitische Strategien gewinnt Wasserstoff zunehmend an Bedeutung als Energieträger und Einsatzstoff für verschiedene Energie- und Nicht-Energieprodukte. In verschiedenen Szenarien – z. B. BMWi Langfristszenarien (BMWi 2021), Szenarien des Ariadne Projekts (Luderer et al. 2021) – wird von einer nationalen Wasserstoffnachfrage insbesondere im Bereich Industrie und Verkehr ausgegangen, die voraussichtlich nicht durch eine nationale Produktion gedeckt werden kann, sondern Wasserstoffimporte erfordert. Ähnliche Szenarien liegen für die EU(27) vor, z. B. Szenarien aus dem Impact Assessment Report 2021 der Europäischen Kommission oder dem PAC Scenario des Climate Action Network Europe (PAC 2020). Daraus leitet sich die Frage ab, welche Länder sich aus der Perspektive Deutschlands und Europas als Wasserstofflieferanten anbieten. Einen grundlegenden Rahmen für die möglichen Entwicklungspfade bei der Wasserstofferzeugung bilden die Agenda 2030 (Sustainable Development Goals SDG), das Paris Agreement sowie die Nationale und Europäische Wasserstoffstrategie.

Mit Beginn des Ukraine-Krieges (März 2022) kristallisiert sich heraus, dass die Strategie zum Import von Wasserstoff sowie Derivaten und Syntheseprodukten neu aufzustellen ist (HYPAT 2022). Im Sinne einer Risikostreuung bei strategischen Ressourcen ist eine diverse Gruppe von Lieferländern in den Blick zu nehmen, selbst wenn dies erhöhte Importkosten zur Folge haben könnte. Die Bundesregierung hat diesbezüglich bereits wichtige Schritte getan, indem Wasserstoffpartnerschaften mit unterschiedlichen Ländern wie Australien, Chile, Kanada, Marokko, Namibia, Saudi-Arabien, Südafrika und jüngst den Vereinigten Arabischen Emiraten eingegangen wurden. Eine zentrale Herausforderung bei der Auswahl von Lieferländern besteht darin, die verschiedenen Zielbereiche wie Umwelt, Soziales, Politik, Menschenrechte, Ressourcen und Wirtschaft abzuwägen.

Ziel dieser Studie ist die Entwicklung und Anwendung eines Analyserasters zur Bewertung möglicher Wasserstoff-Produktions- und Exportländer. Grundlage dieses Rasters bilden die Anforderungen an die Nachhaltigkeit im weitesten Sinne, d. h. die ökonomische, ökologische und soziale Nachhaltigkeit.

Nachfolgend wird zunächst das Vorgehen zur Identifikation möglicher Wasserstofflieferländer vorgestellt, das sich aus einer indikatorgestützten Analyse (Kapitel 2.1) sowie einem auf Expertenwissen basierenden Ansatz (Kapitel 2.2) zusammensetzt. Kapitel 3 stellt die Ergebnisse des jeweiligen Ansatzes vor (Kapitel 3.1 und 3.2) und diskutiert die Ergebnisse anschließend vor dem Hintergrund einer sich verändernden sicherheitspolitischen Bewertung im Zuge des Ukraine-Konflikts (Kapitel 3.3). Im letzten Kapitel erfolgt eine kurze Zusammenfassung des Vorgehens und der Ergebnisse.

## 2 Vorgehen

---

Zur Bewertung möglicher Wasserstoffproduktions- und Exportländer – nachfolgend als H<sub>2</sub>-Länder bezeichnet – wird ein multi-kriterieller Ansatz gewählt, der qualitative und quantitative Indikatoren umfasst, die sich an der Agenda 2030, dem Paris Agreement sowie der Nationalen und Europäischen Wasserstoffstrategie orientieren, sowie weitere qualitative Aspekte aufgreift, die im Rahmen eines diskursiven Prozesses gesammelt und im Expertenkreis diskutiert werden. Im Einzelnen umfasst der Ansatz folgende Bausteine:

- 1) Indikatorbasierte Analyse:
  - quantitative Kriterien, die sich an folgenden internationalen Vereinbarungen und nationalen Strategien orientieren:
  - Agenda 2030 mit seinen 17 SDGs
  - Paris Agreement
  - Nationale Wasserstoffstrategie
  - qualitative Kriterien, die ergänzend zu den quantitativen Kriterien herangezogen werden und geopolitische Interessen, vorliegende Partnerschaften und Strategien sowie laufende Informationen zu Projekten und Studien aufgreifen.
- 2) Expertenbasierte Analyse: Expertenwissen zu den verschiedenen Ländern wird berücksichtigt und mit der indikatorbasierten Analyse verknüpft. Dies dient neben der Ergänzung möglicher Informationen auch der Validierung der Ergebnisse der ersten Stufe. Der expertenbasierte Ansatz umfasst
  - Diskussionen im Projektteam und im HYPAT-Beirat zu den H<sub>2</sub>-Ländern
  - Fokusgruppendifkussion zu den H<sub>2</sub>-Ländern mit regionalen Experten.

### 2.1 Indikatorbasierter Ansatz

Dieser Ansatz beruht auf quantifizierbaren Daten zur Abschätzung eines Landes als H<sub>2</sub>-Exporteur. Der Grundgedanke dabei ist, mittels eines umfassenden Datensatzes zu verschiedenen Bewertungskriterien ein transparentes und nachvollziehbares Ranking zu erhalten, das auf objektiven Werten basiert. In einem ersten Schritt wird geprüft, inwieweit eine mögliche Wasserstoffproduktion in den H<sub>2</sub>-Ländern sich auf die Einhaltung oder Erreichung der SDG und die Zielsetzungen internationaler Vereinbarungen negativ auswirken könnte. In einem zweiten Schritt identifizieren wir Mindestvoraussetzungen hinsichtlich der Ressourcenverfügbarkeit und politischen Stabilität eines Landes, ohne die eine H<sub>2</sub>-Produktion nicht stattfinden kann. In einem weiteren Schritt werden quantitative Indikatoren, welche zur Beurteilung eines Landes als H<sub>2</sub>-Land herangezogen werden, je Kategorie – Technologie und Ressourcen, Soziales, Umwelt, Infrastruktur, Wirtschaft, Politik und Gesellschaft – erarbeitet. Schließlich werden im Rahmen eines Analyserasters diese Indikatoren miteinander verknüpft, wobei zunächst alle Kategorien gleich gewichtet werden und erst in einer zweiten Analyserunde Gewichtungsfaktoren multiplikativ und additiv Eingang finden, die aus einer Fokusgruppendifkussion mit Regionalexperten resultieren.

## 2.1.1 Compliance

Die Nutzung von Wasserstoff ist Mittel zum Zweck, wobei primär Klimaschutz und nachhaltige Entwicklung verfolgt werden. In jüngster Zeit gewinnt zudem die Versorgungssicherheit an Bedeutung. In den meisten Ländern können Treibhausgasreduktionen von rund 70 bis 90 % bereits ohne den Umweg über Wasserstoff erreicht werden (BMZ 2021). Vor diesem Hintergrund sind Kooperationen im Bereich Wasserstoff auf internationale und nationale Abkommen auszurichten. Von zentraler Bedeutung ist die Nationale Wasserstoffstrategie (NWS), die von der Bundesregierung<sup>1</sup> nach intensiven Abstimmungen zwischen BMWi, BMU, BMVI, BMBF und BMZ im Juni 2020 vorgestellt wurde und die u. a. auch das Forschungsvorhaben HYPAT ausgelöst hat.

Die NWS bildet den Handlungsrahmen für Erzeugung, Transport, Nutzung und Weiterverwendung von grünem Wasserstoff in Deutschland. Dabei bekennt sich die Bundesregierung zu Deutschlands globaler Verantwortung für die Reduktion von Treibhausgasemissionen. Vor diesem Hintergrund wurde in der NWS u. a. vereinbart, dass durch Wasserstoffkooperationen die Energiewenden in den Partnerländern unterstützt werden müssen und gerade in Entwicklungsländern weder lokale Energieversorgungen eingeschränkt noch Anreize für fossile Energiequellen auslöset werden dürfen. Zudem sind nachhaltige Wachstums- und Entwicklungschancen zu schaffen.

Explizit verwiesen wird in der NWS auf das Pariser Klimaschutzabkommen. Dieser völkerrechtliche Vertrag zielt darauf ab, den durchschnittlichen Temperaturanstieg der Erde deutlich unter 2 °C gegenüber dem vorindustriellen Niveau zu halten und weitere Anstrengungen zur Begrenzung des Temperaturanstieges auf maximal 1,5 °C zu unternehmen. Mit diesem Ziel sollen auch Finanzmittelflüsse in Einklang gebracht werden, womit Finanzmittelflüsse für Investitionen in Wasserstoffinfrastrukturen eingeschlossen sind.

Zudem hat die Weltgemeinschaft mit der Agenda 2030 eine sozial, wirtschaftlich und ökologisch nachhaltige Umgestaltung der Volkswirtschaften vereinbart. Sie trat am 1. Januar 2016 mit einer Laufzeit von 15 Jahren in Kraft, gilt für alle Mitgliedsstaaten der Vereinten Nationen und beinhaltet 17 Ziele für nachhaltige Entwicklung (Sustainable Development Goals SDG). Diese sind mit Indikatoren unterlegt und sollen mit ihren Wechselwirkungen in Gesamtheit adressiert werden. Exemplarisch genannt werden an dieser Stelle die Verfügbarkeit und nachhaltige Bewirtschaftung von Wasser und Sanitärversorgung für alle (SDG 6), der Zugang zu bezahlbarer, verlässlicher, nachhaltiger und moderner Energie für alle (SDG 7), eine widerstandsfähige Infrastruktur, nachhaltige Industrialisierung und Innovation (SDG 9) sowie die Bekämpfung des Klimawandels und seiner Auswirkungen (SDG 13). Die Agenda 2030 ist in die Gestaltung der NWS eingeflossen. Insbesondere wird unter Energiewende die Transformation und ggf. der notwendige Ausbau eines Energiesystems im Sinne der Agenda 2030 und des Pariser Klimaabkommens und damit eine für alle ausreichende, klimaneutrale und nachhaltige Versorgung mit Energie verstanden (BMZ 2021).

---

<sup>1</sup> Ressortbezeichnungen zum Zeitpunkt der Verabschiedung der NWS: BMWi – Bundesministerium für Wirtschaft und Energie; BMU – Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit; BMVI – Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur; BMBF – Bundesministerium für Bildung und Forschung sowie BMZ – Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung.

Auch in der europäischen Wasserstoffstrategie wird die Bedeutung von Kooperationen im Bereich des sauberen (erneuerbaren) Wasserstoffs mit Nachbarländern und -regionen hervorgehoben. Daher soll das Thema Wasserstoff auf der außenpolitischen Agenda prioritär behandelt werden. Insbesondere soll damit auch zum Übergang zu sauberer Energie beigetragen sowie nachhaltiges Wachstum und Entwicklung gefördert werden. Angesichts natürlicher Ressourcen, physischer Verbindungen und technischer Entwicklung sollen Länder der östlichen und südlichen Nachbarschaft vorrangige Partner sein. Exemplarisch werden die Ukraine und Nordafrika genannt. Die Vorgaben der Europäischen Wasserstoffstrategie stehen grundsätzlich im Einklang mit der NWS. Rahmenbedingungen an mögliche Kooperationen werden in der NWS jedoch stärker konkretisiert.

Vor diesem Hintergrund werden die folgenden grundlegenden Leitplanken zur Gestaltung von Wasserstoffkooperationen gesehen:

- Lokale Energie- und Wasserversorgungen dürfen zu keiner Zeit eingeschränkt oder gefährdet werden.
- Es ist zu gewährleisten, dass zu keiner Zeit direkte oder indirekte Anreize für konventionelle Kraftwerke ausgelöst werden. Stattdessen müssen Synergien mit lokalen Energiewenden realisiert werden.

Auf Grundlage nachhaltiger Wertschöpfungsketten sollten nach Möglichkeit maximale Synergien mit den in der Agenda 2030 formulierten Zielen (SDGs) umgesetzt werden.

Handlungsleitend sollte daher die Installation zusätzlicher Kapazitäten an erneuerbaren Energien und nach Bedarf auch zur Wasserversorgung sein.

## 2.1.2 Mindestvoraussetzungen

Aus den im vorigen Abschnitt abgeleiteten Leitplanken lassen sich Mindestanforderungen an die Wasserstoffproduktion ableiten. Diese Mindestansprüche beziehen sich in erster Linie auf eine nachhaltige saubere Energieversorgung vor Ort und damit auf die natürlichen Ressourcen für erneuerbare Energien wie Sonne und Windenergie und Wasser sowie auf die politische Stabilität, die einen stabilen Rahmen für die Umsetzung einer sauberen Energieerzeugung legt. Um als mögliches H<sub>2</sub>-Land in Betracht zu kommen – nicht nur im Rahmen des Projekts HYPAT –, müssen diese Ansprüche erfüllt sein. Die Mindestvoraussetzungen konkretisieren sich in den folgenden Anforderungen:

### a) Erneuerbaren-Potentiale

Der Strom aus erneuerbaren Energien ist eine Schlüsselkomponente für die Herstellung von grünem Wasserstoff durch Elektrolyse. Daher wurden die Potentiale für erneuerbare Energien und der Energiebedarf für die verschiedenen Länder im Jahr 2050 berechnet (für weitere Einzelheiten siehe Abschnitt 2.1.3 (Technische und natürliche Aspekte). Hierbei sind Wasserkraft, Geothermie, Wind- und Solarenergie berücksichtigt. Die Nachfrage wurde auf Basis des gegenwärtigen Verbrauchs und zukünftiger Entwicklungen ebenfalls geschätzt und von den Potentialen abgezogen, um das Nettopotential zu erhalten. Der Wasserstoffbedarf in Deutschland liegt laut der nationalen Wasserstoffstrategie zwischen 90 und 110 TWh (BMWi 2020) in 2030. Daher ist ein Mindest-Nettopotential von 100 TWh mit Kosten bis zu 70 Euro/MWh als Grenzwert für die Länder angesetzt, um für eine vertiefende Analyse in Frage zu kommen. Die Wahl

der Kostenschwelle von 70 Euro/MWh für die Potentiale wird damit begründet, dass auch et-  
was teurere Technologien wie Solarthermie (CSP) und Windtechnologien für verschiedene Län-  
der Eingang finden, da die niedrigsten Kostenstufen überwiegend die Photovoltaik betreffen.

Insgesamt fallen auf Basis dieser Mindestanforderung 118 Länder/Territorien, deren Netto-EE-  
Potential unter der Marke von 100 TWh liegt, heraus. Diese Liste findet sich im Anhang A1.1.

## **b) Wasserressourcen**

Die Mindestvoraussetzungen bezüglich Wasserressourcen berücksichtigen drei Kriterien: den  
Meereszugang eines Landes, die verfügbaren erneuerbaren Wasserressourcen pro Einwohner  
und Jahr und das Trockenheitsrisiko innerhalb des Landes.

Für die Beurteilung der Wasserressourcen wird der Indikator „renewable water resources: total“  
des SDG 6 Data Portal<sup>2</sup> und die Bevölkerungsanzahl im zugehörigen Jahr (2017) aus UNData<sup>3</sup>  
verwendet. Aus diesen Daten wird der Wert für die verfügbaren Wasserressourcen pro Einwoh-  
ner pro Jahr berechnet. Die erneuerbaren Wasserressourcen sind definiert als die maximale  
jährlich verfügbare Wassermenge eines Landes. Dies beinhaltet Oberflächenwasser und Grund-  
wasser. Der Ursprung des Wassers kann sowohl innerhalb als auch außerhalb des betrachteten  
Landes liegen. Liegt die Wasserverfügbarkeit unterhalb des derzeit üblichen Grenzwerts von  
1.700 m<sup>3</sup>/(Einwohner\*Jahr) (Damkjaer et al. 2017), spricht man von Wasserknappheit.

Das Trockenheitsrisiko eines Landes bildet der Indikator „Drought Risk“ des World Resources  
Institute (WRI) ab<sup>4</sup> (Hofste et al. 2019). Der Indikator kombiniert Daten zur Gefährdung, Expo-  
sition und Vulnerabilität und gibt eine Wahrscheinlichkeit für Trockenheit bzw. Dürren je be-  
trachtetem Gebiet an. Je höher der Wert dieses Indikators, desto höher ist das Risiko für Tro-  
ckenheit in einem Land. Das WRI gibt eine Einteilung in Risikokategorien an, die in 20%-Schrit-  
ten von „low“ (0 % bis 20 %) über „low-medium“, „medium“ und „medium-high“ bis „high“  
(80 % bis 100 %) reicht. Für das Analyseraster von HYPAT werden Länder mit einem Trocken-  
heitsrisiko von mindestens 60 % von weiteren Betrachtungen ausgeschlossen, sofern sie auch  
unter die anderen zwei wasserbezogenen Ausschlusskriterien fallen.

Somit wird ein Land für weitere Betrachtungen in HYPAT ausgeschlossen, wenn

- es keinen Meereszugang<sup>5</sup> hat und
- weniger als 1.700 m<sup>3</sup>/(Einwohner\*Jahr) an erneuerbaren Wasserressourcen zur Verfügung  
hat und
- ein Trockenheitsrisiko von über 60 % (Risikokategorien „medium-high“ und „high“) be-  
sitzt.

Burundi, Ruanda, Tschechien und Usbekistan fallen unter diese Kriterien und werden deshalb  
in HYPAT nicht weiter betrachtet. Für das Land Niger gibt es keine Angabe zum Trockenheits-  
risiko. Allerdings ist es ein Binnenland und die verfügbaren Wasserressourcen sind geringer als

---

<sup>2</sup> <https://www.sdg6data.org/maps>

<sup>3</sup> <http://data.un.org/Default.aspx>

<sup>4</sup> WRI Aqueduct

<sup>5</sup> auch ohne Zugang zum Kaspischen Meer

1.700 m<sup>3</sup>/Einwohner/Jahr. Deshalb wird auch Niger für weitere Betrachtungen im Rahmen des Projekts HYPAT ausgeschlossen.

### **c) Politische Stabilität**

Politische und institutionelle Faktoren sind wesentliche Treiber für die Entwicklung und den Ausbau einer Wasserstoffproduktion. Hierbei ist es essentiell, politische Stabilität als multidimensionales Konstrukt zu erfassen, das nicht nur das gegenwärtige politische Regime – dessen Legitimität, menschenrechts- und völkerrechtskonforme Verhalten –, sondern auch die Beschaffenheit und Effektivität staatlicher Institutionen berücksichtigt. Zu diesem Zweck werden im Rahmen der gegenständlichen Analyse fünf Kompositindikatoren herangezogen, die einem solchen systemischen Ansatz Rechnung tragen. Vier Indizes messen im weiteren Sinne staatliches Versagen, d. h. die Unfähig- bzw. Unwilligkeit eines Staates, wesentliche Kernfunktionen wie Sicherheit und soziale Grundversorgung zu erfüllen; während der Index „Political Stability and Absence of Violence/Terrorism“ der Weltbank das Gefährdungspotential von Staaten hinsichtlich innerer politischer Konflikte abbildet. Die Indizes sowie deren Länderspektrum und Erfassungszeitraum sind kurz in Tabelle 1 dargestellt.

In Bezug auf jeden Index wurden die 20 Länder gewählt, die in der letzten verfügbaren Berichtsperiode ( $T$ ) am schlechtesten bewertet wurden. Um einer möglichen Veränderung über die Zeit Rechnung zu tragen und eine Verzerrung durch kurzfristige Ausreißer zu vermeiden, haben wir für diese Länder – soweit verfügbar – Zeitreihendaten ab 2005 abgerufen und die relativen Veränderungen innerhalb eines Fünf- bzw. Zehnjahresintervalls vor der Referenzperiode  $T$  (d. h. des letzten Berichtszeitraums) berechnet. Als weiterer Trendindikator wurde der Durchschnitt der relativen Veränderungen zwischen zwei aufeinanderfolgenden Jahren über den Berichtszeitraum hinweg herangezogen.

Als letzter Schritt wurde die Schnittmenge zwischen den einzelnen Datensets ermittelt, wobei unterschiedliche Cut-Off-Kriterien angewendet wurden. Hieraus ergeben sich unterschiedliche Listen von Ländern, die in einem breiten Konsens als politisch instabil wahrgenommen werden:

- 1) Schnittmenge zwischen vier Indizes (exkl. Index of State Weakness, der nur für 2005 ausgewiesen ist); Ergebnis: 10 Länder (in alphabetischer Reihenfolge): Afghanistan, Burundi, DR Kongo, Irak, Jemen, Nigeria, Somalia, Süd Sudan, Sudan, Zentralafrika
- 2) Schnittmenge zwischen allen fünf Indizes; Ergebnis: 7 Länder: Afghanistan, Burundi, Irak, DR Kongo, Somalia, Sudan, Zentralafrika
- 3) Trendberücksichtigung: Staaten in (1) und (2), die bei mindestens einem der Indizes einen positiven Trend aufweisen, werden aufgrund ihres positiven Trends doch berücksichtigt und verbleiben in der Liste der politisch stabilen Staaten; Ergebnis: 2 Länder: Afghanistan, Zentralafrika

Auf die Ergebnisse unter 1) zurückgreifend, schließen wir diese zehn Länder aufgrund politischer Instabilitäten aus.

**Tabelle 1: Indizes politischer (In-)Stabilität**

Index	Beschreibung	Herausgeber	Erfassungszeitraum	Länderanzahl	Referenzperiode
Constellations of State Fragility	Messung <b>staatlicher Fragilität</b> anhand von drei Hauptaspekten: 1) Autorität: Fähigkeit, Gewalt zu kontrollieren; 2) Kapazität: Fähigkeit, die Grundversorgung (etwa Zugang zu Wasser) sicherzustellen; 3) Legitimität: Zustimmung und Freiheit der Bevölkerung (Pressefreiheit, Einhaltung der Menschenrechte etc.)	Deutsches Institut für Entwicklungspolitik	2005-2015	171	2015
Fragile States Index	Messung <b>staatlicher Vulnerabilität</b> auf Basis von 4 Hauptdimensionen und 12 Konfliktrisikoindikatoren: 1) Kohäsion: Sicherheitsapparat, Eliten, Gruppenkonflikte; 2) Wirtschaft: wirtschaftlicher Niedergang, ungleiche Entwicklung, Flucht und Fachkräfteabwanderung; 3) Politik: staatliche Legitimation, öffentliche Dienste, Menschenrechte und Rechtsstaatlichkeit; 4) soziale und Querschnittsthemen: Bevölkerungsdruck, Flüchtlinge und Binnenvertriebene, externe Intervention.	Fund for Peace	2006-2021	179	2021
Index of State Weakness	Messung der <b>staatlichen Leistungsfähigkeit</b> in vier Kernbereichen (Wirtschaft, Politik, Sicherheit und soziale Wohlfahrt) und mittels 20 Subindikatoren: 1) Wirtschaft: Wirtschaftswachstum, Wirtschaftspolitik, Förderung des Privatsektors, gerechte Einkommensverteilung; 2) Politik: politische Institutionen, Legitimität (Rechenschaftspflicht der Regierung, Rechtsstaatlichkeit, Korruption, Demokratisierung, Meinungs- und Vereinigungsfreiheit, Bürokratie; 3) Sicherheit: gewaltsame Konflikte und deren Konsequenzen, illegale Übernahme politischer Macht, politische Instabilität, politische Gewalt, Menschenrechtsverletzungen; 4) soziale Wohlfahrt: Ernährung, Gesundheit, Bildung und Zugang zu sauberem Wasser und sanitären Einrichtungen.	Brookings	2005	141	2005
State Fragility Index	Messung der staatlichen Fragilität in Bezug auf Effektivität und Legitimität in jeweils vier Bereichen: 1) Sicherheit: Krieg, staatliche Repression; 2) Politik: Stabilität und Legitimität des Regimes/der Regierung; 3) Wirtschaft: BIP, Exportanteil in Industriegütern; 4) soziale Wohlfahrt: Humankapitalentwicklung und -fürsorge	Center for Systemic Peace	1995 - 2018	167	2018
Political Stability and Absence of Violence/Terrorism	Messung von <b>politischer Stabilität</b> und <b>Abwesenheit von Gewalt/Terrorismus</b> anhand von 352 Variablen, z. B. ordnungsgemäße Machtübergabe, bewaffnete, interne bzw. soziale und ethnische Konflikte, soziale Unruhen, internationale Spannungen, politischer Terror, Sicherheitsrisiko, Stabilität der Regierung, innerstaatlicher und Bürgerkrieg, Menschenrechte	Weltbank	1996-2019	214	2019

## 2.1.3 Indikatoren

Aus den SDGs sowie dem PA lassen sich verschiedene Kriterien ableiten, anhand derer eine nachhaltige H<sub>2</sub>-Produktion im weitesten Sinne abgebildet wird. Diese Kriterien sind in den nachfolgenden Kategorien zusammengefasst und werden in den weiteren Abschnitten ausführlich dargelegt:

- Technisch-natürliche Ressourcen, welche für die Erzeugung von erneuerbarem Strom und Wasserstoff ausschlaggebend sind.
- Umweltaspekte wie Wasserverfügbarkeit, Umweltschutz und Umgang mit Umweltbelastungen.
- Infrastruktur, die erforderlich ist für den Aufbau und Betrieb einer H<sub>2</sub>-Erzeugung sowie für den Transport von Wasserstoff.
- Sozio-institutionelle Kriterien wie politische Stabilität, verlässliche Institutionen, regulatorische Qualität und effektive Kontrolle, Energiepolitik, die zu politischen und sozialen, demokratischen Rahmenbedingungen beitragen.
- Wirtschaftliche Aspekte umfassen Indizes zur Produkt- und Arbeitsmarktsituation, zum Finanzsystem und zu Risiken hinsichtlich Investitionen sowie Verteilungsaspekte.

### 2.1.3.1 Technische und natürliche Ressourcen

Technische und natürliche Ressourcen umfassen zum einen die Fähigkeiten eines Landes, vorhandene Technologien und Ressourcen für die Erzeugung und den Transport von Wasserstoff zu nutzen, zum anderen die Verfügbarkeit natürlicher Ressourcen für die Erzeugung erneuerbaren Stroms und Wasserstoffs.

#### **Erneuerbaren-Potentiale und Energienachfrage**

Die Nettopotentiale errechnen sich aus der Differenz der zukünftigen Nachfrage und den vorhandenen Erneuerbaren-Potentialen. Die Nettopotentiale sind für verschiedene Preisstufen von 20 Euro/MWh bis 60 Euro/MWh in 10 Euro/MWh-Schritten angegeben.

- Potentiale erneuerbarer Energien

Die Abschätzung der Potentiale erneuerbarer Energien (EE) erfolgt mittels zweier unterschiedlicher, sich ergänzender Ansätze: i) Das Erzeugungspotential von Photovoltaik auf Freiflächen, Solarthermie (CSP), Wind an Land (onshore) und Wind auf See (offshore) wurden mit dem Modell Enertile berechnet. ii) Die Potentiale für Geothermie und Wasserkraft wurden durch eine Literaturrecherche ermittelt.

Das Modell Enertile verwendet globale Wetterdaten aus der Reanalyse ERA5 für das Jahr 2010. Hierzu ist die Welt in ca. 12 Millionen Modellkacheln zu je 6,5 x 6,5 km<sup>2</sup> unterteilt. Für jede Kachel wird die Art der Landnutzung anhand des Datensatzes GlobCover2009 ermittelt. Anschließend wird für jede Landnutzungskategorie und jede EE-Technologie ein Nutzungsfaktor definiert, der besagt, welcher Anteil der Fläche für die EE-Erzeugung genutzt werden kann. Die für diese Berechnung verwendeten Nutzungsfaktoren entsprechen denjenigen, die für das Projekt der Langfristszenarien verwendet wurden. Flächen, auf denen Schutzgebiete der Kategorien Ia, Ib und II nach der „International Union for Conservation

of Nature and Natural Resources“ (IUCN) ausgewiesen sind, werden bei der Potentialberechnung nicht berücksichtigt.<sup>6</sup>

Für die Berechnung der Stromgestehungskosten wurde ein sozialer Diskontsatz von 2 % für alle betrachteten Länder und Technologien verwendet. Weitere Einzelheiten zur Methodik finden sich in Lux et al. (2022).

- **Energienachfrage**

Im Sinne der SDGs und des PA ist die heimische Energienachfrage potentieller Exportländer ebenfalls über CO<sub>2</sub>-neutrale, erneuerbare Ressourcen zu decken. Daher wird das Potential erneuerbarer Energien eines Landes um die erwartete Energienachfrage bereinigt und das sogenannte Nettopotential ausgewiesen. Zur Abschätzung der Energienachfrage wird der Primärenergieverbrauch des Landes im Jahr 2050 im 1,5 °C-Szenario des „Global Energy and Climate Outlook 2020“ des JRC (European Commission 2020) herangezogen: ein global konsistentes und ambitioniertes Szenario für 23 einzelne Länder und 14 zusammengefasste Weltregionen, das die Energienachfrage über den Zeithorizont bis 2050 abdeckt. Für die Länder, die in diesem Szenario nicht explizit ausgewiesen sind, wird die Energienachfrage im Jahr 2050 anhand der UN-Bevölkerungsprognose (Medium-Szenario) (United Nations 2019), des BIP pro Kopf und der Energieintensität des BIP abgeschätzt. BIP pro Kopf und Energieintensität des BIP im Jahr 2050 werden in diesem Fall aus den historischen Werten des Jahres 2019<sup>7</sup> und dem Trend für die im JRC-Szenario ausgewiesenen Länder derselben Weltregion abgeleitet. Mit diesem Ansatz kann für 172 Länder der Welt die zukünftige Energienachfrage abgeschätzt und somit das Nettopotential für erneuerbare Energien ermittelt werden.

## **PV-Saisonalitätsindex**

Der Saisonalitätsindex ist das Verhältnis zwischen den höchsten und niedrigsten monatlichen PV-Potentialen. Ein niedrigerer Wert spiegelt ein gleichmäßigeres Potential im Jahresverlauf wider. Die Daten stammen aus den monatlichen Potentialen (PVOUT), die von der Weltbank berechnet wurden. PVOUT steht für die Energiemenge (kWh), die pro installierter Photovoltaikkapazität (kWp) erzeugt wird. Der niedrigste Wert liegt in Haiti mit 1,17. Den höchsten Wert hat Norwegen mit 14,97.

---

<sup>6</sup> Nach WWF (2008) umfasst die Schutzgebietskategorie Ia strikt geschützte Gebiete, deren Nutzung durch Menschen und Auswirkungen durch die Nutzung streng kontrolliert und beschränkt werden. Hierbei geht es vor allem darum, Biodiversität und geologische oder geomorphologische Eigenschaften zu schützen. Kategorie Ib enthält sogenannte „Wildnisgebiete“. Dabei handelt es sich um meist großräumige, durch den Menschen größtenteils unveränderte oder nur geringfügig veränderte Gebiete, deren natürlicher Zustand erhalten werden soll. Kategorie II umfasst sogenannte Nationalparks, welche aus großen natürlichen oder naturnahen Gebieten bestehen und in denen umfassende ökologische Prozesse geschützt werden sollen. Nationalparks im Sinne von Kategorie II nach IUCN sind allerdings nicht gleichzusetzen mit den deutschen Nationalparks und im Allgemeinen sind deutschen Schutzgebiete nicht direkt kompatibel mit den IUCN-Schutzgebietskategorien. Alle Nationalparks in Deutschland gelten (Stand 2015) als sogenannte Entwicklungsnationalparks, d. h. sie sind als Kategorie II bei der IUCN gemeldet, aber nicht alle von ihnen erfüllen sämtliche Anforderungen dieser Kategorie.

<sup>7</sup> Enerdata Global Energy and CO<sub>2</sub> Data [Market Data & CO<sub>2</sub> Emissions | Energy Database | Multi Energy Approach \(enerdata.net\)](https://www.enerdata.net/)

## **Erneuerbare Energien installierte Kapazität**

Die aktuell installierte Kapazität der erneuerbaren Energien je Land ist der Internationalen Agentur für erneuerbare Energien (IRENA) entnommen, die hierzu eine umfassende Übersicht erstellt. Die Daten zeigen die installierte Kapazität für jede Technologie am Ende des Jahres. Die Daten werden aus verschiedenen Quellen wie nationalen Statistiken, Berichten von Industrieverbänden usw. zusammengetragen (IRENA 2021). Folgende Technologien werden berücksichtigt: Wasserkraft, Photovoltaik, Windkraft on- und offshore Wellen/Gezeitenkraft, Solarthermie (CSP), Bioenergie, feste Biobrennstoffe, erneuerbare Siedlungsabfälle, andere feste Biobrennstoffe, Biogas, Geothermie. Für diese Studie wurde die gesamte installierte Kapazität verwendet.

## **Ausfuhren von Chemikalien**

Die Höhe der Ausfuhren an Chemikalien steht als Proxy für die technische Fähigkeit eines Landes hinsichtlich der Erzeugung und des Transports von Chemikalien. Als Quelle dient die Datenbank der Weltbank zu Exporten (The World Bank 2019). Der Hauptexporteur von chemischen Erzeugnissen sind die Vereinigten Staaten mit 345 Mrd. USD.

## **GCI: Technologische Bereitschaft**

Er misst die generelle, technische Fähigkeit des jeweiligen Landes (Qualifikation der Arbeitskräfte und Unternehmen), Innovationen aufzugreifen und für die eigene Produktion zu übernehmen. Die GCI<sup>8</sup>-Kriterien bilden die neunte Säule des globalen Wettbewerbsindex. Als Quelle werden die Daten des Weltforums zur Wettbewerbsfähigkeit herangezogen (World Economic Forum 2017). Luxemburg weist hierbei den höchsten Wert auf.

## **Risiko von Katastrophen in Folge von extremen Naturereignissen**

Der Weltrisikoindex gibt das Risiko von Katastrophen in Folge von extremen Naturereignissen (Erdbeben, Stürme, Überschwemmungen, Dürren und Meeresspiegelanstieg) für die verschiedenen Länder an. Als Quelle wird der Weltrisikobericht herangezogen (Bündnis Entwicklung Hilft 2021). Er gliedert sich in die Teile Exposition und Anfälligkeit. Während die Exposition Risikobereiche umfasst wie Anstieg des Meeresspiegels, Wirbelstürme, Erdbeben, Überschwemmungen und Trockenheit, besteht die Anfälligkeit aus den folgenden drei Komponenten:

- **Vulnerabilität:** gibt die Wahrscheinlichkeit an, durch ein Naturereignis Schaden zu erleiden.
- **Bewältigung:** gibt die Fähigkeit der Gesellschaft an, die negativen Auswirkungen von Naturkatastrophen und Klimawandel zu minimieren.
- **Anpassung:** vorbeugende Maßnahmen (langfristig) zur Verringerung der negativen Auswirkungen von Naturkatastrophen.

Hinsichtlich des Risikos von Katastrophen in Folge von extremen Naturereignissen liegt der niedrigste Risikoindex bei Katar mit einem Wert von 0,85. Der höchste Wert wird dagegen von Vanuatu mit 82,55 erreicht.

---

<sup>8</sup> Global Competitiveness Indicators

### 2.1.3.2 Umweltindikatoren

Für das Analyseraster werden Umweltindikatoren herangezogen, um den Umweltschutz für ein Land allgemein zu beurteilen. Hierfür werden die Bereiche Landnutzung/Schutzgebiete, Abfall und Abwasser, Luftemissionen, Biodiversität und Wassernutzung/-ressourcen betrachtet.

#### Schutzgebiete

Analog zur Kategorie „technische und natürliche Aspekte“ in Abschnitt 2.1.3 werden bei den Umweltindikatoren die Schutzgebietskategorien der „International Union for Conservation of Nature and Natural Resources“ (IUCN o. J.)<sup>9</sup> verwendet und Gebiete, die zu den Schutzgebietskategorien Ia, Ib und II gehören, für die Nutzung durch Wasserstoffproduktionsanlagen und Wasserstoffinfrastruktur ausgeschlossen. Die zugehörigen Daten sind in verschiedenen Formaten, unter anderem als GIS-Daten, bei der World Database on Protected Areas (WDPA)<sup>10</sup> verfügbar und werden fortlaufend aktualisiert.

Anhand der Kategoriendefinition von IUCN (siehe Abschnitt 2.1.3 unter natürliche technische Indikatoren) wäre es auch möglich, alle Schutzgebietskategorien Ia-VI für eine Nutzung durch Wasserstoffproduktionsanlagen oder zugeordnete Anlagen auszuschließen, da selbst die „schwächste“ Kategorie VI nur „low-level non-industrial use of natural resources compatible with nature conservation“ erlaubt. Dies würde einen Ausschluss von vielen Flächen bedeuten und somit das Potential zur Wasserstoffproduktion bezüglich der Flächenverfügbarkeit bereits in diesem ersten Schritt der Länderauswahl stark beschränken. Zudem, auch wenn die Schutzgebietskategorien in Deutschland nicht kompatibel mit den IUCN-Kategorien sind, entspräche eine derartige restriktive Handhabung der Schutzgebiete nicht der Handhabung innerhalb Deutschlands. Zwar weist das Bundesamt für Naturschutz (BfN) darauf hin, dass Schutzgebiete ein wichtiges naturschutzrechtliches Instrument zur Erhaltung der Biodiversität sind und EE-Anlagen erhebliche Beeinträchtigungen und Konflikte bzgl. Artenschutz, Erhalt von Lebensräumen und Veränderung der Landschaft mit sich bringen können, berichtet aber dennoch, dass in Deutschland innerhalb von Schutzgebieten (außer in Nationalparks) EE-Anlagen errichtet werden. Allerdings erfolgt die Errichtung von EE-Anlagen in Schutzgebieten in Deutschland nach Einzelfallentscheidungen gemäß geltender Schutzverordnungen (Bundesamt für Naturschutz 2020). Für die vertiefende Länderanalyse ist es deshalb empfehlenswert, konkrete Standorte für Wasserstoffproduktionsanlagen, EE-Anlagen, Meerwasserentsalzungsanlagen oder andere der Wasserproduktion zugeordneten Anlagen im Hinblick auf geltende lokale Schutzverordnungen zu prüfen (siehe auch Lattemann 2010).

#### Abfallmanagement

Nach aktuellem Stand werden bei der Wasserstoffproduktion selbst keine nennenswerten Abfälle produziert. Durch andere Anlagen entlang der Wertschöpfungskette von Wasserstoff können aber durchaus Belastungen durch Abfälle oder Abwässer entstehen, etwa durch die Sole bzw. das Salzkonzentrat von Meerwasserentsalzungsanlagen. Deshalb werden für das Analyseraster auch Indikatoren zur Beurteilung des generellen Umgangs mit Abfall und Abwasser

---

<sup>9</sup> <https://www.iucn.org/theme/protected-areas/about/protected-area-categories>

<sup>10</sup> <https://www.protectedplanet.net/en/thematic-areas/wdpa?tab=WDPA>

innerhalb eines Landes einbezogen. Hierfür werden die beiden Indikatoren „waste management“ und „water resources“ des Environmental Performance Index (EPI) (Wendling et al. 2020) von 2020 betrachtet. Die Indikatoren sind für je 144 Länder verfügbar. Beide Indikatoren geben eine Punktzahl im Bereich 0 bis 100 an, wobei ein hoher Wert eine gute Bewertung beschreibt und ein niedriger Wert eine schlechte Bewertung.

- Der Indikator „waste management“ gibt den Anteil von Siedlungsabfällen an, der kontrolliert gesammelt und weiterbehandelt/-verwertet wird, z. B. durch Recycling, Kompostierung, Verbrennung, Deponien.
- Der Indikator „water resources“ gibt unter Berücksichtigung der Verbreitung von Abwasserkanalisationen den Anteil von Abwasser an, das zumindest einer Erstbehandlung unterzogen wird.

Diese beiden Indikatoren ergänzen den Indikator „government effectiveness“ (World Bank), der bei den sozialen und institutionellen Rahmenbedingungen (siehe Abschnitt „Sozio-institutionelle Rahmenbedingungen“ auf den Folgeseiten) verwendet wird. Er enthält einen Subindikator „waste und wastewater management“ und wird durch Expertenbefragung ermittelt. Die EPI-Indikatoren sind quantitative Indikatoren, die diesen gut ergänzen. Der EPI-Indikator für Abfallmanagement dient ebenfalls als Indikator für die Qualität der Infrastrukturen.

### **Luftemissionen**

Zur Beurteilung der Entwicklung von Luftemissionen innerhalb eines Landes wird der Indikator „pollution emissions“ des EPI von 2020 verwendet (siehe Abfallmanagement). Dieser Indikator ist für 180 Länder verfügbar und gibt ebenso wie die bereits erwähnten EPI-Indikatoren eine Punktzahl im Bereich 0 bis 100 an (hoher Wert gute Bewertung, niedriger Wert schlechte Bewertung). Der Indikator gibt die durchschnittliche jährliche Wachstumsrate der Emissionen von SO<sub>2</sub> und NO<sub>x</sub> im Zeitraum 2005 bis 2014 an. Das Bruttoinlandsprodukt (BIP) geht dabei als Korrekturfaktor ein, um zu verhindern, dass Länder, in denen die Emissionen stark an das BIP gebunden sind, besser abschneiden als Länder, in denen es gelungen ist, die Emissionen vom Wirtschaftswachstum zu entkoppeln.

In der Recherche wurden weitere Indikatoren zu CO<sub>2</sub>-Ausstoß und Anteilen von Stromimporten, Kohleinsatz, fossilen und erneuerbaren Anteilen am Strommix eines Landes gesammelt. Derartige Indikatoren werden hier allerdings nicht berücksichtigt, da einerseits die Interpretation schwierig ist – ein hoher fossiler Anteil am Energiemix könnte als Handlungsdruck bzw. Motivation oder als Hemmnis bzw. Lock-in-Effekt interpretiert werden – und andererseits können derartige Implikationen besser durch die nationalen Klimaschutzziele der Länder (NDC) einbezogen werden, welche bei den sozio-institutionellen Rahmenbedingungen (siehe Abschnitt „Sozio-institutionelle Rahmenbedingungen“ auf den Folgeseiten) berücksichtigt werden.

### **Biodiversität**

Zur Beurteilung der Biodiversität innerhalb eines Landes wurden die beiden Indikatoren „biodiversity & habitat“ und „ecosystem services“ des EPI (siehe Abfallmanagement) von 2020 ausgewählt. Die Indikatoren sind für je 180 Länder verfügbar und geben ebenso wie die bereits genannten EPI-Indikatoren eine Punktzahl im Bereich 0 bis 100 an (hoher Wert gute Bewertung, ein niedriger Wert schlechte Bewertung). Der Indikator „biodiversity & habitat“ bietet eine Überblicksbewertung zur Situation der Schutzgebiete und Biodiversität innerhalb eines Landes

und ist aus mehreren Unterindikatoren zusammengesetzt („terrestrial biome protection“, „marine protected areas“, „protected area representativeness index“, „species habitat index“, „species protection index“, „biodiversity habitat index“). Der Indikator „ecosystem services“ beschreibt die Situation und Veränderung wichtiger Ökosysteme innerhalb eines Landes. Er setzt sich zusammen aus Unterindikatoren zum Verlust des Baumbestandes, von Grasland und Feuchtgebieten.

Wichtige Konventionen im Zusammenhang mit Biodiversität sind u. a. CBD<sup>11</sup>, CITES<sup>12</sup> und Ramsar<sup>13</sup>. Da diese bei den sozio-institutionellen Rahmenbedingungen (siehe Abschnitt „Sozio-institutionelle Rahmenbedingungen“ auf den Folgeseiten) des Analyserasters berücksichtigt werden, sind sie nicht Teil der Umweltindikatoren.

### **Wasserverfügbarkeit**

Zur Beurteilung der Wasserverfügbarkeit innerhalb eines Landes werden die Indikatoren genutzt, die bereits im Rahmen der Mindestvoraussetzungen bzgl. Wasserressourcen in Abschnitt 2.1.2 erläutert wurden. Dies sind: i) Land ist ein Binnenland oder hat Meereszugang, ii) das Trockenheitsrisiko (WRI Drought Risk) und iii) die verfügbaren erneuerbaren Wasserressourcen je Einwohner innerhalb eines Jahres. Zusätzlich wird der Indikator „baseline water stress“ des WRI Aqueduct Water Risk Atlas (2019) verwendet. Er gibt das Verhältnis zwischen Wasserentnahme und verfügbaren erneuerbaren Oberflächen- und Grundwasservorräten als prozentualen Wert an. Die Wasserentnahmen beziehen sich dabei auf den Haushaltsbereich, die Industrie, Bewässerung und Nutztiere. Es sind sowohl verbrauchende als auch nichtverbrauchende Wasserentnahmen enthalten. Letztere finden, für gewöhnlich nachgelagert, wieder Eintrag in das Gewässer. Diese Wasserressourcen stehen also nicht unmittelbar zur Nutzung zur Verfügung. Ein höherer Wert dieses Indikators steht für eine höhere Konkurrenz bei der Nutzung der Wasserressourcen.

### **2.1.3.3 Sozio-institutionelle Rahmenbedingungen**

Damit Länder das Potential der Wasserstofferzeugung und -nutzung freisetzen können, spielt der institutionelle Rahmen eine bedeutende Rolle. Auf Basis einer Literaturrecherche zu den Auswirkungen institutioneller Aspekte auf die Erzeugung und Verbreitung erneuerbarer Energien in Entwicklungsländern wurden zunächst die wesentlichsten Kriterien identifiziert, die die Energiewende beeinflussen. Dazu gehören unter anderem die Qualität der Bürokratie, vorhandene institutionelle Kapazitäten und Koordination sowie die Verfügbarkeit an qualifizierten Arbeitskräften. Wie in Abbildung 1 dargestellt, wurden die Kriterien anschließend in neun Bereiche gruppiert, welche die drei Dimensionen von Politik – Inhalte, Strukturen und Abläufe – abbilden sollen. Zur empirischen Messung dieser Variablen wurden schließlich elf Indikatoren ausgewählt, die im Wesentlichen drei Kategorien zugeordnet werden können:

- 1) dem allgemeinen institutionellen Umfeld
- 2) der Energiepolitik
- 3) der Wissensgenerierung, -verbreitung und -normung.

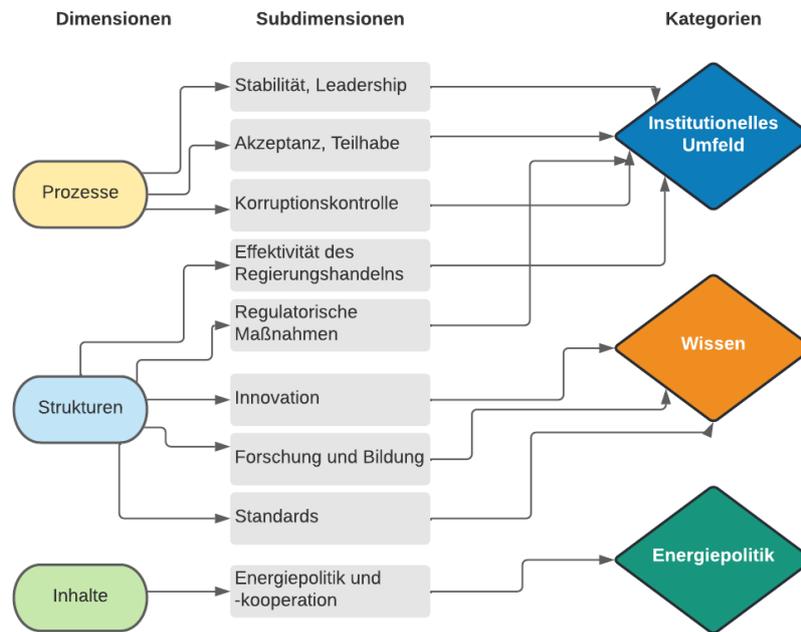
---

<sup>11</sup> <https://www.cbd.int/nbsap/introduction.shtml>

<sup>12</sup> <https://cites.org/eng/disc/parties/chronolo.php>

<sup>13</sup> <https://www.ramsar.org/country-profiles>

**Abbildung 1: Berücksichtigte sozio-institutionelle Rahmenbedingungen für eine erfolgreiche Wasserstoffwirtschaft**



Quelle: eigene Darstellung DIE

Zum Überblick sind in Tabelle 2 die verschiedenen Säulen, die zugeordneten Indikatoren, ihre Länderbandbreite, der letzte verfügbare Bezugszeitraum sowie der Link zur Quelle aufgeführt.

**Tabelle 2: Gewählte Indikatoren für sozio-institutionelle Rahmenbedingungen. WGI: WorldBank Governance Indicators; GII: Global Innovation Index; GQII: Global Quality Infrastructure Index**

Kategorie	Indikator	Länderanzahl	quantitativ / qualitativ	Referenz periode	Quelle
General institutional environment	1 WGI Politische Stabilität	214	qualitativ	2019	<a href="http://info.worldbank.org/governance/wgi/">http://info.worldbank.org/governance/wgi/</a>
	2 WGI Effektivität des Regierungshandelns	214	qualitativ	2019	<a href="http://info.worldbank.org/governance/wgi/">http://info.worldbank.org/governance/wgi/</a>
	3 WGI Rechtsstaatlichkeit	214	qualitativ	2019	<a href="http://info.worldbank.org/governance/wgi/">http://info.worldbank.org/governance/wgi/</a>
	4 WGI Mitspracherecht und Rechenschaftspflicht	214	qualitativ	2019	<a href="http://info.worldbank.org/governance/wgi/">http://info.worldbank.org/governance/wgi/</a>
	5 WGI Regulatorische Qualität	214	qualitativ	2019	<a href="http://info.worldbank.org/governance/wgi/">http://info.worldbank.org/governance/wgi/</a>
	6 WGI Korruptionskontrolle	214	qualitativ	2019	<a href="http://info.worldbank.org/governance/wgi/">http://info.worldbank.org/governance/wgi/</a>
Energy policies	7 Unterzeichnende der Internationalen Energiecharte (2015) und/oder Europäische Energiecharte (1991)	56	quantitativ	2015/1991	<a href="https://www.energycharter.org/process/international-energy-charter-2015/overview/">https://www.energycharter.org/process/international-energy-charter-2015/overview/</a>
	8 WorldBank RISE Erneuerbare Energiepolitik	137	qualitativ	2019	<a href="https://rise.worldbank.org/scores">https://rise.worldbank.org/scores</a>
	9 GII Humankapital und Forschung	131	quantitativ / qualitativ	2020	<a href="https://www.globalinnovationindex.org/Home">https://www.globalinnovationindex.org/Home</a>
Knowledge base	10 GII Geschäftsverkehr	131	quantitativ / qualitativ	2020	<a href="https://gqii.org/">https://gqii.org/</a>
	11 GQII Globaler Qualitätsinfrastrukturindex	180	quantitativ	2020	<a href="https://gqii.org/">https://gqii.org/</a>

Quelle: eigene Darstellung DIE

Im Folgenden eine kurze Beschreibung der einzelnen Indikatoren:

### **WGI Politische Stabilität**

Der Indikator "Politische Stabilität und Abwesenheit von Gewalt/Terrorismus" der WGI (World Bank Governance Indicators) Datenbank misst die wahrgenommene Wahrscheinlichkeit politischer Instabilität und/oder politisch motivierter Gewalt, einschließlich Terrorismus.

### **WGI Effektivität des Regierungshandelns**

Die Effektivität des Regierungshandelns erfasst die wahrgenommene Qualität der öffentlichen Dienstleistungen, die Beschaffenheit des öffentlichen Dienstes und dessen Unabhängigkeit von politischer Willkür, die Qualität der Politikformulierung und -umsetzung sowie die Glaubwürdigkeit des Regierungseinsatzes.

### **WGI Rechtsstaatlichkeit**

Die Rechtsstaatlichkeit erfasst das wahrgenommene Vertrauen in und die Einhaltung von Regeln und Normen der Gesellschaft, insbesondere den Zustand der Vertragsdurchsetzung, der Eigentumsrechte und rechtsstaatlicher Organisationen.

### **WGI Mitspracherecht und Rechenschaftspflicht**

Der Indikator "Mitspracherecht und Rechenschaftspflicht" erfasst zum einen den Grad, zu dem die Bürger eines Landes ihre Regierung frei wählen können, zum anderen den Status der Meinungsfreiheit, der Vereinigungsfreiheit und der Freiheit der Medien.

### **WGI Regulierungsqualität**

Die Qualität der Regulierung erfasst die wahrgenommene Fähigkeit der Regierung, geeignete Strategien und Vorschriften zur Entwicklung und Förderung des Privatsektors zu formulieren und umzusetzen.

### **WGI Korruptionskontrolle**

Der Indikator "Korruptionskontrolle" misst die Gefahr, dass öffentliche Macht zum privaten Vorteil ausgeübt wird, einschließlich Korruption und der Vereinnahmung des Staates durch Eliten und private Interessen.

### **Die Internationale Energiecharta**

Die Internationale Energiecharta ist eine politische Absichtserklärung mit dem Ziel, die Zusammenarbeit der Unterzeichnerstaaten im Energiebereich zu stärken. Damit spiegelt sie aktuelle energiepolitische Fragen wider, wie etwa das Energietrilemma, die Rolle der Entwicklungsländer für die globale Energiesicherheit und die Notwendigkeit der Diversifizierung der Energiequellen.

### **Weltbank RISE**

Die Datenbank RISE (Regulatory Indicators for Sustainable Energy) der Weltbank erfasst die Politiken und Vorschriften eines Landes im Energiesektor. Der Bereich "Erneuerbare Energien" wird durch insgesamt sieben Indikatoren abgebildet: Planung für den Ausbau Erneuerbarer Energien, Anreize und regulatorische Unterstützung für Erneuerbare Energien, Eigenschaften

finanzieller und regulatorischer Anreize, Netzanschluss und -nutzung, Risiko des Vertragspartners, Kohlenstoffpreise und Überwachung.

### **GII Humankapital und Forschung**

Der Kompositindikator „Humankapital und Forschung“ des GII (Global Innovation Index) erfasst die Wissensbasis eines Landes, d. h. das Niveau und den Standard der Bildung (von der Grund- bis zur Hochschulbildung) und der Forschungsaktivitäten. Die Grund- und Sekundarschulbildung wird gemessen u. a. anhand der Bildungsausgaben und der PISA-Ergebnisse. Die Hochschulbildung umfasst die Einschreibungen im Tertiärbereich sowie die Zuwanderung und Mobilität von Hochschulstudenten. Der Index „Forschung und Entwicklung“ misst das Niveau und die Qualität der FuE-Aktivitäten u. a. anhand der Zahl der Forschenden, der Bruttoausgaben und der Qualität der Wissenschafts- und Forschungseinrichtungen.

### **GII Geschäftsverkehr**

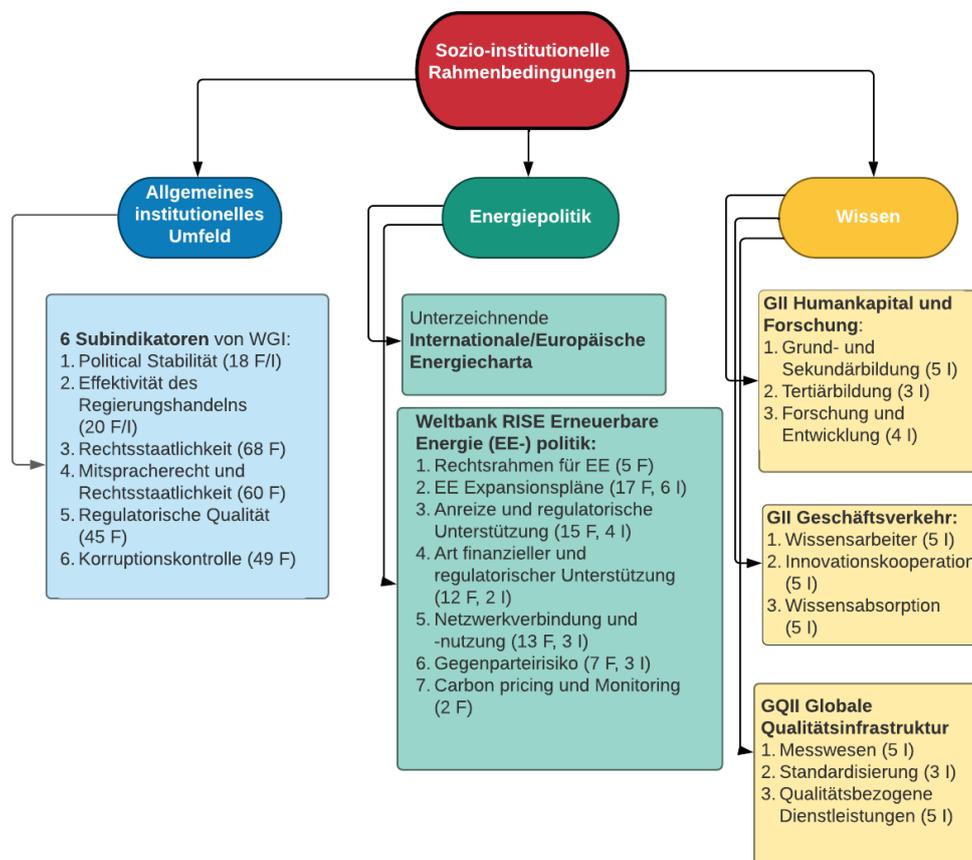
Der Index „Entwicklungsstand des Geschäftsverkehrs“ misst die Innovationsfreundlichkeit von Unternehmen auf Basis von drei Faktoren: 1) Verfügbarkeit von Wissensarbeitern: u. a. gemessen anhand der Nachfrage nach Fachkräften, der Beschäftigung in wissensintensiven Dienstleistungen, Aus- und Weiterbildungsmöglichkeiten und den FuE-Aktivitäten in Unternehmen; 2) Innovationskooperation: u. a. gemessen anhand der Zusammenarbeit zwischen Unternehmen und Hochschulen im Bereich FuE, ausländischen FuE-Ausgaben, der Existenz von Clustern und gemeinsamen Patentanmeldungen; 3) Wissensabsorption: Zahlungen für geistiges Eigentum, High-Tech-Importe, Importe von IKT-Dienstleistungen, ausländische Direktinvestitionen, Forschungstalente in Unternehmen.

### **Globaler Qualitätsinfrastruktur-Index (GQII)**

Der GQII (Global Quality Infrastructure Index) vergleicht die Qualitätsinfrastruktur unter Ländern. Die Beschaffenheit der Qualitätsinfrastruktur ist ein wichtiger Gradmesser für den internationalen Handel und dient dem Verbraucher- und Umweltschutz. Der Index umfasst das internationale System des Messwesens, der Normung, der Akkreditierung und der qualitätsbezogenen Dienstleistungen (Prüfung, Kalibrierung, Inspektion, Verifizierung, Ausbildung und Bewusstseinsbildung).

Der Aufbau der ausgewählten Indikatoren, insbesondere die Anzahl der Einzelindikatoren (I) und Expertenfragen (F), auf der sie begründen, ist in Abbildung 2 illustriert.

**Abbildung 2: Aufbau der gewählten Indikatoren für sozio-institutionelle Rahmenbedingungen**



Quelle: eigene Darstellung DIE

### 2.1.3.4 Infrastrukturen

Beim Aufbau einer Wasserstoffwirtschaft spielt die vorhandene nationale Infrastruktur eine wesentliche Rolle. Eine bereits etablierte und gut funktionierende Infrastruktur erleichtert die Ansiedlung neuer Projekte, den Betrieb von Anlagen und den Transport von Arbeitskräften, Rohstoffen und Produkten sowohl national als auch für den Außenhandel. In Ländern, die vergleichsweise eine unzureichende Infrastruktur aufweisen, werden höhere Kosten und Laufzeiten für die Errichtung von Produktionsanlagen und einer Wasserstoffinfrastruktur erwartet und nicht zuletzt eine mangelnde Liefersicherheit. Innerhalb der Kategorie Infrastrukturen werden die Subkategorien

- Landesfläche (Hilfsindikator)
- Transport über Seehäfen
- Rohrleitungsgebundener Transport
- Transportdistanzen nach Deutschland
- Logistische Gegebenheiten
- Versorgungsleistungen

betrachtet, auf die im Folgenden näher eingegangen wird. Zudem werden die Begründungen für die Auswahl der Indikatoren geliefert und die zwanzig besten Länder je Subkategorie und Indikator genannt.

## Landesfläche (Hilfsindikator)

Die Landesfläche wird als Hilfsindikator eingeführt, um Angaben wie Rohrleitungslänge und Anzahl an Flughäfen auf die Landesfläche zu normieren und so die jeweiligen Dichten zu ermitteln, die eine Vergleichbarkeit zwischen Ländern ermöglichen. Die Werte variieren zwischen 61 km<sup>2</sup> (San Marino) und 17,1 Mio. km<sup>2</sup> (Russland) und stammen aus dem World Fact Book der U.S. amerikanischen CIA (CIA o. J.).

## Transport über Seehäfen

Eine Hafeninfrastruktur ermöglicht den kostengünstigen und flexiblen Transport von Gütern in Fest- und Flüssigform per Schiff. Um zu messen, wie gut die Hafeninfrastruktur eines Landes entwickelt ist, wurden die folgenden Indikatoren erhoben.

- *Häfen*: Dieser quantitative Indikator gibt die Anzahl der nationalen Häfen in 2019 an, wobei Länder ohne Hafenzugang den Wert „0“ haben. Je höher die Anzahl der Häfen, desto besser sind die Startvoraussetzungen für einen internationalen Güterhandel per Schiff. Die maximale Anzahl an Häfen eines Landes beläuft sich auf 666 (USA). Werte sind entnommen aus dem World Port Index (United States Government 2019).
- *Tiefseehäfen* unterliegen keiner strikten Definition. Eine eher konservative Studie (Roa et al. 2013) geht von einer Mindesttiefe von 13,75 m aus, wohingegen das U.S Department of Transport (2020) keine Tiefe veranschlagt, sondern nur den Umschlag von Öl oder LNG voraussetzt. Tiefseehäfen zeichnen sich in diesem Fall durch eine Kanal- oder Frachttiefe von mindestens 9,5 m aus, um großen und vollbeladenen Schiffen ein Vordringen zum Anlegeplatz zu ermöglichen. Um sehr kleine Tiefseehäfen kleinerer Ausdehnung und mit mangelndem Ladeequipment auszusortieren und ein regelmäßiges Be- und Entladen größerer Warenmengen zu garantieren, werden für 2019 nur Häfen ab Größe „S“ gezählt, die zusätzlich ganzjährig eisfrei sind. Die maximale Anzahl an Tiefseehäfen eines Landes beläuft sich auf 71 (USA). Die Werte sind entnommen aus dem World Port Index (United States Government 2019).
- *Öl- und LNG-Terminals*: Die Anzahl der nationalen Öl- und LNG-Terminals in 2019 werden gesondert betrachtet und sind nicht in den Tiefseehäfen enthalten. Diese geben eine direkte Indikation, dass Infrastrukturen in Form von Pumpvorrichtungen und Rohrleitungen bereits vorhanden sind, die für den Transport von flüssigem Wasserstoff und dessen Derivaten genutzt werden können. Öl- und LNG-Terminals liegen der Küste vorgelagert und haben eine Transportleitung zum Hafen. So können auch Belieferungen an flache Küstengebiete erfolgen. Ähnlich wie für die Tiefseehäfen wurden nur Öl- und LNG-Terminals in Betracht gezogen, die eine Mindesttiefe von 9,5 m aufweisen und ganzjährig eisfrei sind. Nach dieser Definition beläuft sich die maximale Anzahl an Öl- und LNG-Terminals auf 105 (USA) (United States Government 2019).
- *Umschlagvolumen*: Das Umschlagvolumen erfasst die national aggregierte Anzahl an 20-Fuß-Containern, die je Hafen in 2019 gehandelt wurden. Dieser Indikator zeigt internationale Handelsbeziehungen und das Handlungspotential der nationalen Häfen auf und rückt Passagiertransport in den Hintergrund. Somit wird auf eine bestehende Hafentransportlogistik für hohe Gütermengen geschlossen. Die maximale Anzahl an gehandelten nationalen 20-Fuß-Containern beläuft sich in 2019 auf etwa 242 Mio. (China). Werte sind entnommen aus der Datenbank der World Bank (World Bank 2019).

## Rohrleitungsgebundener Transport

- *Nationale Rohrleitungsichte:* Für den nationalen Transport von Energieträgern spielen bestehende Rohrleitungen eine wesentliche Rolle. Gasförmiger Wasserstoff kann entweder über neu zu errichtende Wasserstoffleitungen oder umgewidmete Erdgasleitungen transportiert werden. Hierbei können für neu zu errichtende Rohrleitungen bestehende Rohrleitungsführungen und -gestelle genutzt werden und dadurch z. B. kostenaufwendige und langwierige Grabungen und Genehmigungsprozesse vermieden werden (Wang et al. 2021). Ebenfalls denkbar ist ein zukünftiger Transport von Syntheseprodukten des Wasserstoffs, wie etwa für Fischer-Tropsch-Produkte, die eine ölige Konsistenz aufweisen, über umgewidmete Ölleitungen. Daher werden die Gesamtlängen von Gas- und Ölleitungen in Betracht gezogen und weiterhin durch die Fläche des Landes geteilt und mit 1.000 multipliziert, um Länder hinsichtlich ihrer Rohrleitungslänge vergleichen zu können. Die Werte für 2007 bis 2019 variieren zwischen  $0,04 * 1.000 \text{ km/km}^2$  (Liberia) und  $16.989 * 1.000 \text{ km/km}^2$  (Singapur) und sind entnommen aus dem World Fact Book der U.S. amerikanischen CIA (CIA 2019).
- *Exportanbindungen nach Europa:* Dieser Indikator verweist auf eine Eignung von Wasserstoff- und Derivatetransport über bestehende Gas- und Ölröhrleitungen nach Europa und insbesondere nach Deutschland. Die Rohrleitungsverläufe sind der Open Infrastructure Map (OpenStreetMap Foundation 2019) entnommen und qualitativ nach Anzahl der Transitländer und fehlenden Rohrleitungslängen für eine mögliche Anbindung nach Deutschland bzw. Europa ausgewertet. Je weniger Transitländer durchschritten werden, desto geringer ist der Genehmigungsaufwand für den Transport. Je weniger Rohrleitungslänge für eine Anbindung hinzugebaut werden muss, desto geringer sind die Investitionen in eine Transportinfrastruktur für einen Export nach Europa bzw. Deutschland. Um diese Merkmale in eine Rangfolge zu bringen, wird eine Ordinalskala mit den Rangzahlen 0 bis 5 verwendet, wobei „5“ für eine sehr gute Exportanbindung nach Deutschland und „0“ für keine Rohrleitungsanbindung nach Europa steht. Im Folgenden ist die Skalierung näher erläutert.

5 – Das zu betrachtende Land ist ein Nachbarland Deutschlands mit einer direkten Rohrleitungsanbindung nach Deutschland.

4 – Das zu betrachtende Land hat eine Rohrleitungsanbindung nach Deutschland, auf der ein bis zwei Transitländer durchschritten werden; oder es handelt sich um ein direktes Nachbarland mit einem sehr komplizierten Leitungsverlauf.

3 – Das zu betrachtende Land liegt innerhalb Europas und hat eine Rohrleitungsverbindung nach Deutschland, auf der mehr als zwei Transitländer durchschritten werden; oder es handelt sich um ein Land außerhalb Europas mit einer direkten Rohrleitungsverbindung nach Europa.

2 – Das zu betrachtende Land liegt außerhalb Europas, und es fehlen max. 500 km für eine Anbindung nach Europa; oder das zu betrachtende Land liegt innerhalb Europas, und es fehlen max. 500 km Rohrleitung für eine Anbindung nach Deutschland.

1 – Das zu betrachtende Land hat keine bestehende Rohrleitungsanbindung nach Europa. Hierzu fehlt eine Anbindung von max. 5.000 km Rohrleitung.

0 – Das zu betrachtende Land hat keine bestehende Rohrleitungsanbindung nach Europa. Hierzu fehlt eine Anbindung von mehr als 5.000 km Rohrleitung.

Die Merkmale der Rangzahlen sind zusammengefasst in Tabelle 3.

**Tabelle 3: Exportanbindung nach Europa und Deutschland per Rohrleitung: Ordinalskala mit qualitativen Merkmalen der Rangzahlen**

Skala	Europäisches Land – Anbindung nach Deutschland		Außereuropäisches Land – Anbindung nach Europa
	Anzahl Transitländer	Fehlendes Rohrleitungsstück	Fehlendes Rohrleitungsstück
5	0	0 km	
4	1-2	0 km	
	0	0 km*	
3	>2	0 km	0 km
2	>2	≤ 500 km	≤ 500 km
1			≤ 5.000 km
0			> 5.000 km

\* Anmerkung: komplizierter Verlauf der Rohrleitung

- *Gasspeicherreserven:* Große Speichersysteme bieten die Möglichkeit, Überschüsse bei der Erzeugung erneuerbarer Energien für Zeiten geringer Verfügbarkeit vorzuhalten und sind daher eine wichtige Ergänzung zur Transportinfrastruktur von Wasserstoff und dessen Derivaten. Es werden hier bestehende Gasreservoirs betrachtet, die perspektivisch für die Speicherung von Wasserstoff genutzt werden können (Amid et al. 2016). Öl- und Gasreservoirs werden nach dem Ausschöpfen weiterhin für die unterirdische Gasspeicherung verwendet. Erschöpfte Gasreservoirs werden bevorzugt, da ihre Struktur im Vergleich zu Ölreservoirs weniger Risiken bei der Bildung von Lecks beherbergen (Civan 2004). Erdgasreserven werden mit hinreichender Sicherheit mittels Analysen geologischer und technischer Daten geschätzt. Die Daten zu Erdgasreserven sind für die Jahre 2018-2020 angegeben und variieren zwischen 0 und 1.688 tcf (595 PWh, Russland), entnommen aus der Datenbank der EIA (U.S. Energy Information Administration 2021).

### Transportdistanzen nach Deutschland

- *Festlanddistanz:* Dieser Indikator zeigt die Landentfernung vom potentiellen Exportland nach Deutschland, um das Wasserstoff-Pipeline-Potential zu analysieren. In den meisten Fällen wurde die direkte Entfernung (ähnlich wie bei Flugrouten) in km als quantitativer Wert angenommen. Es gibt jedoch einige Ausnahmen für Länder in Süd-, Mittel- und Nordamerika. Dabei werden die folgenden Kriterien angewandt:
  - Ländern aus Südamerika wurde ein Wert von 22.189 km zugewiesen (Route: Bolivien-Panama-USA (Seattle)-Russland-Deutschland)
  - Ländern aus Mittelamerika wurde ein Wert von 18.829 km zugewiesen (Route: Panama-USA (Seattle)-Russland-Deutschland)
  - Ländern aus Nordamerika wurde ein Wert von 14.001 km zugewiesen (Route: USA (Seattle)-Russland-Deutschland)

Ein weiteres zusätzliches Kriterium wurde auf Länder/kleine Inseln angewandt, die weit vom Festland entfernt sind ( $> 5.000$  km). Den Ländern wurde ein Wert von 25.000 km (Höchstwert) zugewiesen, da eine Pipelineverbindung nicht möglich ist.

- *Seedistanz*: Neben dem rohrleitungsgebundenen Transport von Wasserstoff werden die Transportdistanzen von flüssigem Wasserstoff und dessen Derivaten per Schiff erhoben. Hierbei wird die Seedistanz vom nächst gelegenen Tiefseehafen oder LNG-Terminal des Landes bis zum Hafen Brunsbüttel, Deutschland ermittelt. Die Seetransportdistanzen sind für das Jahr 2021 angegeben, variieren zwischen 405 (Niederlande) und 23.555 km (Mikronesien) und sind mittels GitHub aus der Eurostat-Datenbank extrahiert (GitHub 2021).

### Logistische Gegebenheiten

Logistik ist als ein Netz von Dienstleistungen zu verstehen, das den physischen Warenverkehr sowie den grenzüberschreitenden und nationalen Handel unterstützt, der für den Aufbau eines Wasserstoffhandels eine Grundlage darstellt. Logistik umfasst eine Reihe von Aktivitäten, die über den Transport hinausgehen, darunter Lagerhaltung, Maklertätigkeit, Expresszustellung, Terminalbetrieb und das damit verbundene Daten- und Informationsmanagement. Die Bedeutung der Logistik wird an der logistischen Leistung gemessen, d. h. daran, wie effizient die Lieferketten auf den nationalen und internationalen Märkten sind. Die Unterindikatoren Zoll, Infrastruktur, internationale Lieferungen und Qualität und Kompetenz in der Logistik sind dem Bericht „Connecting to Compete 2018 Trade Logistics in the Global Economy“ der Weltbank entnommen (The World Bank 2018). Die Subkategorie Logistik wird anhand der folgenden fünf Indikatoren gemessen:

- *Flughafendichte*: Die Flughafendichte vergleicht die Gesamtzahl der aus der Luft erkennbaren Flughäfen oder Flugplätze mit einer bestimmten Fläche (in diesem Fall pro 1000 km<sup>2</sup>). Die Verfügbarkeit der Flughafeninfrastruktur ist für das Projektmanagement von entscheidender Bedeutung, da sie den Zugang zu Gebieten ermöglicht, in denen potentielle Wasserstoffprojekte durchgeführt werden. Die Informationen über die Anzahl der Flughäfen pro Land wurden mit dem Hilfsindikator der Fläche der Länder kombiniert, der auf dem World Factbook basiert (CIA 2022). Für die Flughafendichte wird bei Ländern mit mindestens einem Flughafen und einer Fläche von weniger als 10.000 km<sup>2</sup> der Wert 0,0066 als KO-Signalzahl angegeben (Appendix A),
- *Zoll*: Die Zollbehörden sind für die Erhebung und den Schutz der Einnahmen aus der Einfuhr von Waren in ihr jeweiliges Land zuständig. Der angemeldete Wert der eingeführten Waren ist die Grundlage für die Erhebung von Zöllen und Mehrwertsteuer für die nationalen Haushalte. Einer der wesentlichen Faktoren bei den Zolldiensten ist der Zeitaufwand. Bei dem Zollindikator handelt es sich um einen qualitativen Indikator, der je nach der Zolldienstleistung des jeweiligen Landes einen Wert aus der Spanne von 0-5 aufweist. Ein hoher Wert indiziert, dass Wasserstoffderivate per Schiff ohne Zeitverzögerung ausgeliefert werden können.
- *Infrastruktur*: Die logistische Infrastruktur ist das Rückgrat des Logistiksystems. Logistikdienstleistungen werden weltweit unter sehr unterschiedlichen Rahmenbedingungen erbracht. Neben der Verkehrsinfrastruktur werden die Suprastruktur einschließlich der Logistikstandorte und -immobilien sowie die Telekommunikationsinfrastruktur für die Logistik immer wichtiger. Der Infrastrukturindex zeigt, wie gut ein Land logistisch erschlossen bzw. wie gut es an das physische Netzwerk der globalen Logistik angeschlossen ist. Bei

dem Infrastrukturindikator handelt es sich um einen qualitativen Indikator, der je nach Infrastrukturdienst und der Handelsverbindungen zwischen den Ländern des jeweiligen Landes eine Spanne von 0-5 aufweist. Ein hoher Wert indiziert, dass Digitalisierung und Transparenz für die Errichtung einer Wasserstoffwirtschaft gegeben sind.

- *Internationale Lieferungen:* Die Qualität der internationalen Sendungen ist eine treibende Kraft, die die gesamte Transportkette beeinflusst. Der Welthandel mit Rohstoffen ist sehr unausgewogen: Die meisten Länder sind entweder große Nettoimporteure oder große Nettoexporteure. Dies spiegelt sich in den Transportkosten und Schiffsbewegungen wider. Daher ist die Analyse des Arrangement-Niveaus von internationalen Sendungen zu wettbewerbsfähigen Preisen von entscheidender Bedeutung für das Verständnis der Logistikqualität. Dieser Indikator ist qualitativ und wird auf einer Skala von 0-5 gemessen. Ein hoher Wert indiziert, dass die Ausfuhr von Wasserstoffderivaten zu wettbewerbsfähigen Konditionen realisierbar ist.
- *Qualität und Kompetenz in der Logistik:* Der Indikator „Logistikqualität und -kompetenz“ vermittelt ein Bild der gesamten logistischen Lieferkette. Er liefert Informationen über die Kompetenz und Qualität der Logistikdienste (z. B. Transportunternehmen, Zollagenten), die Fähigkeit zur Verfolgung und Rückverfolgung von Sendungen und die Pünktlichkeit der Sendungen bei der Ankunft am Zielort innerhalb der geplanten oder erwarteten Lieferzeit. Dieser Indikator ist qualitativ und wird auf einer Skala von 0-5 gemessen. Ein hoher Wert indiziert eine sehr hohe Zuverlässigkeit bei der Versendung von Wasserstoff (-derivaten).

## Versorgungsleistungen

Die Subkategorie Versorgungsunternehmen beschreibt die wesentlichen Faktoren, die den Aufbau einer Wasserstoff-Gas-Infrastruktur unterstützen: Qualität der Elektrizitätsversorgung, Zugang zu Elektrizität, Zuverlässigkeit der Wasserversorgung und Abfallentsorgung. Die Daten stammen aus dem „Global Competitiveness Report“ des World Economic Forums (World Economic Forum 2019).

- *Versorgungsqualität:* Dieser Indikator analysiert die Effizienz von Stromübertragungs- und -verteilungsleitungen. Die Länder sind nach den Verlusten (in %) bei der Stromübertragung und -verteilung geordnet. Die Daten stellen Schätzungen für 2016 dar und wurden von der International Energy Agency und dem Energy Data Centre erhoben.
- *Stromanschluss:* Der Indikator Stromanschluss ist der prozentuale Anteil der Bevölkerung mit Zugang zu Elektrizität. Daten zur Elektrifizierung (2017) werden von der Industrie, nationalen Erhebungen und internationalen Quellen gesammelt. Die Daten für den Zugang zu Elektrizität werden aus verschiedenen Quellen zusammengetragen, zum Großteil aus national repräsentativen Haushaltserhebungen (IEA 2018). Der Zugang zu Strom ist essentiell, da elektrische Energie notwendig ist, um Wasserstoff zu erzeugen, für den Transport zu verdichten und zu synthetisieren.
- *Verlässlichkeit der Wasserversorgung:* Die Wasserversorgung bedeutet die Bereitstellung von Wasser durch öffentliche Versorgungsunternehmen, kommerzielle Organisationen, kommunale Einrichtungen oder Einzelpersonen, in der Regel über ein System von Pumpen und Leitungen. Die Zuverlässigkeit eines Wasserversorgungssystems kann anhand der Engpässe definiert werden, die durch Ausfälle der physischen Komponenten eines

Systems entstehen. Eine zuverlässige Wasserversorgung erleichtert den Zugang zu Wasser als Rohstoff und Kühlmittel für die Wasserstoffproduktion und Synthetisierung. Zur Bewertung dieses Indikators wurde eine Umfrage durchgeführt, bei der die Teilnehmer die Zuverlässigkeit der Wasserversorgung bewerten sollten [1 = extrem unzuverlässig; 7 = extrem zuverlässig]. Die Daten wurden 2018-2019 vom World Economic Forum in der Executive Opinion Survey erhoben.

- *Abfallentsorgung*: Ein wichtiger, die Infrastrukturen ergänzender und in der Kategorie Umwelt erfasster Indikator für die Gesamtbewertung ist die Abfallentsorgung, die im EPI 2020 als neue Kennzahl entwickelt wurde und ein wichtiges Nachhaltigkeitsthema abdeckt, das seit langem als eine bemerkenswerte Lücke im EPI-Rahmenwerk angesehen wird (EPI 2020). Unkontrollierte Abfallentsorgung führt zu Luft- und Wasserverschmutzung, Bodenkontamination und einem erhöhten Risiko der Exposition gegenüber Krankheitserregern und toxischen Substanzen. Schlecht bewirtschaftete Abfälle tragen außerdem durch Methanausgasung zum Klimawandel bei und können unter Umständen die Artenvielfalt bedrohen. Eine etablierte Abfallentsorgung erleichtert den Aufbau von Wasserstoffproduktions- und Synthesenanlagen für die Abfuhr von Nebenprodukten und sichere sowie hygienische Arbeitsbedingungen. Die Daten stellen die Messung der kontrollierten festen Abfälle als Prozentsatz (Minimum: 22,6 % (Liberia), Maximum: 88 % (Dänemark)) der erzeugten Abfälle dar, die auf eine Art und Weise gesammelt und behandelt werden, die die Umwelteinflüsse kontrolliert.

### 2.1.3.5 Wirtschaftliche Rahmenbedingungen

Wirtschaftliche Rahmenbedingungen haben einen großen Einfluss auf die Standortqualität und damit die Produktionsbedingungen und die Wettbewerbsfähigkeit von Unternehmen. Neben den Politikbereichen Energie, Klima und Umwelt spielen der Arbeitsmarkt bzw. die Verfügbarkeit und Qualifikation der Arbeitskräfte sowie damit verbundene soziale Fragen, die Finanzmarktsituation, das Investitionsumfeld und der freie Handel eine bedeutende Rolle. Nachfolgend werden diese Aspekte näher betrachtet. Tabelle 4 gibt für jeden Indikator die Anzahl an Ländern (N) an, für welche die entsprechenden Daten vorliegen, sowie die Werteverteilung gemäß Minimum, Maximum, Mittelwert und Quartilen.

#### **Produkt-, Arbeitsmarkt, Finanzsystem**

Indikatoren zum Produkt-, Arbeitsmarkt und Finanzsystem sollen Auskunft über die Funktionsfähigkeit der Märkte innerhalb eines Landes geben. Dabei fließen etwa Aspekte zur Handelsoffenheit, Einhaltung internationaler Arbeitsstandards und Finanzstabilität ein. Diese Aspekte können als Voraussetzungen für den Hochlauf einer Wasserstoffwirtschaft angesehen werden.

Als Datengrundlage für diese Indikatoren dient der Global Competitiveness Report des Weltwirtschaftsforums (WEF) aus dem Jahr 2019 (World Economic Forum 2019). In dem Bericht finden viele Teildimensionen und zugehörige Kennzahlen Berücksichtigung. Zugleich wird durch die Aggregation zu übergreifenden Scores Übersichtlichkeit gewahrt. Der Global Competitiveness Report greift selbst unter anderem auf die Global Financial Development Datenbank der Weltbank Gruppe, die Financial Soundness Indikatoren des Weltwährungsfonds und die Executive Opinion Survey des WEF zurück. Es sind 141 Länder – und damit mehr als 70 % aller Staaten der Erhebung in HYPAT – erfasst.

Konkret wird auf die drei nachfolgend beschriebenen Scores zurückgegriffen, die jeweils einen Wertebereich zwischen 0 und 100 umfassen. Eine Punktzahl von 100 repräsentiert dabei laut WEF den „idealen Zustand“.

- Der *Product Market Score* setzt sich zu gleichen Teilen aus Daten zu heimischem Wettbewerb (domestic market competition) und Handelsoffenheit (trade openness), z. B. Handelsstarifen, zusammen.
- In den *Labour Market Score* fließen jeweils hälftig Informationen zur Flexibilität des Arbeitsmarkts und zu Meritokratie und Anreizen ein. Die Arbeitsmarktflexibilität umfasst beispielsweise Beziehungen zwischen Arbeitgebern und Arbeitnehmern oder die Leichtigkeit zur Einstellung ausländischer Arbeitskräfte. Bei Meritokratie und Anreizen sind etwa Sub-Indikatoren zu Vergütung und Produktivität und dem Lohnsteuersatz inbegriffen.
- Abschließend wird der *Financial System Score* einbezogen, der wiederum auf fünf Sub-Indikatoren beruht. Sie umfassen unter anderem die Verfügbarkeit von Risikokapital, die Marktkapitalisierung und Solidität der Banken.

Die verbleibenden Kategorien des Global Competitiveness Reports wurden teilweise nicht einbezogen, um Überschneidungen zu anderen Indikatoren im Projekt, wie etwa im Fall von Infrastruktur oder Institutionen, zu vermeiden. Außerdem wurden einige Scores ausgeschlossen, die nur eine geringe Aussagekraft für die Analyse des Wasserstoffpotentials eines Landes aufweisen; beispielsweise die Marktgröße im Sinne des Bruttoinlandsprodukts.

### **Investitionsfreiheit**

Der Aufbau einer globalen Wasserstoffwirtschaft erfordert große Investitionen im In- und Ausland. Investitionsbedingungen und -einschränkungen weisen länderspezifische Unterschiede auf. Dazu zählen unterschiedliche Regeln für aus- und inländische Geldströme bis hin zum Ausschluss einzelner Industrien von ausländischer Investition. Daher soll der *Investment Freedom Index* aus dem Index of Economic Freedom 2021 der Heritage Foundation abbilden, wie frei Investitionskapital in das jeweilige Zielland fließen kann. Daten zur Investitionsfreiheit sind für 180 Länder verfügbar.

Der Index kann einen Maximalwert von 100 annehmen, der eine Investitions Umgebung ohne jegliche Restriktion repräsentiert. Der Index erfasst in sieben Kategorien 21 regulatorische Einschränkungen. Für jede Einschränkung, die sich im Investitionsregime eines Landes findet, werden Punkte von dem Startwert 100 abgezogen. Die Untergrenze des finalen Indexwerts ist auf 0 festgelegt (dieser Wert gilt somit auch für die wenigen Nationen mit negativem Resultat). Beispiele für berücksichtigte Restriktionen sind „keine Transparenz und aufwändige Bürokratie“, „kein ausländischer Erwerb von Immobilien“ und sektor-spezifische Einschränkungen. Andere Sub-Indizes des Index of Economic Freedom, etwa zum institutionellen Rahmen oder der Handelsoffenheit, sind im Analyseraster direkt oder indirekt bereits abgedeckt und werden daher nicht doppelt berücksichtigt.

### **Internationale Handelsbeziehungen**

Als Indikator für die Intensität der Handelsbeziehungen sowie im weiteren Sinne für Handelsoffenheit und Liberalisierung der Märkte wird für jedes Land erfasst, ob es Mitglied der Welthandelsorganisation (WTO) ist oder nicht. Ergänzend wurde im Datensatz separat vermerkt, ob ein Land den sogenannten Observer-Status besitzt. Dieser Status verpflichtet das Land, in den

kommenden fünf Jahren Beitrittsverhandlungen aufzunehmen. Aktuell (Stand Februar 2022) hat die WHO 164 Mitgliedsländer. 80 % der eingangs in HYPAT betrachteten Länder sind Mitglieder der WHO.

### **Einkommensungleichheit**

Des Weiteren wurde der Gini-Koeffizient als Maß für Einkommensungleichheit und als möglicher normativer Indikator aufgenommen. Der Koeffizient drückt die Abweichung der Einkommensverteilung der Haushalte in einem Land von einer perfekten Gleichverteilung aus. Er umfasst einen Wertebereich zwischen 0 und 100. Ein Wert von 0 bedeutet, dass alle Personen über das gleiche Einkommen verfügen. Im anderen Extremfall einer Ausprägung von 100 besäße ein Haushalt das gesamte Einkommen und die verbleibenden Personen nichts.

Quelle für den Koeffizienten ist der Human Development Report 2020, der vom Entwicklungsprogramm der Vereinten Nationen veröffentlicht wird. Pro Land wird der Wert aus dem aktuellsten verfügbaren Jahr im Zeitraum 2010 bis 2018 angegeben. Es liegen für 152 der hier betrachteten Länder entsprechende Daten vor. Für diese 152 Länder nimmt der Gini-Koeffizient einen durchschnittlichen Wert von 38 an. Die niedrigste Ausprägung in der HYPAT-Stichprobe beläuft sich auf 24; der Höchstwert beträgt 63.

### **Löhne**

Überdies wird der nationale Mindestlohn als stark vereinfachte Größe zum Lohnniveau einbezogen. Konkret findet der letztverfügbare Wert aus dem Zeitraum 2010 bis 2020 zum monatlichen Brutto-Mindestlohn in US-Dollar (umgerechnet zu Wechselkursen) Berücksichtigung. Die Daten wurden über die Internationale Arbeitsorganisation abgerufen. Bei dieser Variablen ist eine große Spanne von 18 bis zu über 40.000 US-Dollar zu beobachten.

### **Risikokapitalkosten**

Investitionsrisiken und Kapitalkosten können die Wirtschaftlichkeit und Umsetzung von Vorhaben zu Wasserstoff und Derivaten maßgeblich beeinflussen. Bislang ist kein einheitlicher Ansatz etabliert, um Finanzierungskosten und -risiken auf Länderebene zu ermitteln. In HYPAT wird die geschätzte, landesspezifische *Eigenkapital-Risikoprämie* (ERP – Equity Risk Premium) in die Analyse aufgenommen. Dafür wird auf ein Vorgehen nach Damodaran (2021) zurückgegriffen. Bei diesem Ansatz ergibt sich die ERP aus einer Risikoprämie für reife Märkte (Mature Market Risk Premium), zu der eine länderspezifische Risikoprämie addiert wird. Für die Mature Markets Prämie wird die implizite ERP des Börsenindex S&P 500 berechnet. Die länderspezifische Risikoprämie basiert auf Daten des Moody's Ratings, welches das Kreditrisiko der jeweiligen Nation einstuft. Abhängig vom Rating der jeweiligen Volkswirtschaft wird ein Standardaufschlag (rating-based default spread) zugeteilt. Schließlich wird dieser mit dem Wert 1,1 multipliziert, um die Volatilität des Aktienmarkts zu berücksichtigen. Für die höchste Ratingstufe (AAA) beträgt dieser Länder-Risikoaufschlag 0. Für 160 Länder der HYPAT-Stichprobe konnte somit eine ERP berechnet werden, die mit einer Spannweite zwischen etwa 5 und 24 % auf deutliche Länderunterschiede in der Risikobewertung hinweist.

**Tabelle 4: Statistik der wirtschaftlichen Indikatoren**

Indikator	N	Min	Max	0.25 Q.	0.50 Q.	0.75 Q.	Mean
Product market score	139	35	81	49,7	54,6	60,9	55,0
Labor market score	140	41	81	53,3	59,5	65,7	59,9
Financial system score	140	29	91	51,0	59,8	71,3	62,2
Investment freedom index	180	0	95	45,0	60,0	73,8	56,4
WTO membership	195	0	1				0,8
Gini coefficient	152	24	63	32,7	37,0	42,8	38,1
Minimum wage (USD)	128	18	44433	111,0	252,7	848,0	2036,2
Equity risk premium	160	5	24	5,9	8,2	11,0	9,3

Anmerkung: 195 Länder wurden betrachtet. Spalte N enthält die Anzahl vorhandener Beobachtungen (Anzahl der Länder abzüglich fehlender Werte).

## 2.1.4 Multikriterielle Auswertung

Die zuvor beschriebenen Indikatoren bilden innerhalb der jeweiligen Kategorien Unterkategorien. Nicht jede Kategorie und Unterkategorie umfasst die gleiche Anzahl an Indikatoren. Insofern ergibt sich daraus eine indirekte Gewichtung der Indikatoren innerhalb der jeweiligen Kategorie. Nachfolgend ist die Gruppierung der Indikatoren je Sub-Kategorie und Kategorie in Tabelle 5 dargestellt.

**Tabelle 5: Überblick über Indikatoren und ihre Zuordnung in Unterkategorien im Auswertungstool**

Kategorie	Unterkategorie	Indikatoren
<b>Natürliche und technische Ressourcen</b>	Erneuerbares Nettopotential	EE Nettopotential: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Gesamtes Potential</li> <li>• Potential unter 20 Euro/WMh</li> <li>• Potential unter 30 Euro/WMh</li> <li>• Potential unter 40 Euro/WMh</li> <li>• Potential unter 50 Euro/WMh</li> <li>• Potential unter 60 Euro/WMh</li> </ul>
	Weitere natürliche Ressourcen	PV Saisonalität Weltrisikoeexposition
	Technische Entwicklung	GCI Chemische Exporte Installierte Erneuerbaren-Anlagen
<b>Umwelt</b>	Abfallmanagement	Abfallmanagement (EPI Waste Management) Wasserressourcen (EPI Water Resources)
	Luftemissionen	Emissionen (EPI Pollution Emissions)
	Biodiversität	Artenvielfalt und Habitat (EPI Biodiversity & Habitat.) EPI Ecosystem Services
	Wasserverfügbarkeit	Erneuerbare Wasserressourcen Binnenstaat Trockenheitsrisiko (WRI Drought Risk) WRI Baseline Wasserstress (Water Stress)

Kategorie	Unterkategorie	Indikatoren
<b>Infrastruktur</b>	Häfen	Häfen Tiefwasserhafendichte ÖL/LNG Terminals Umsatzkapazität
	Leitungen	Leitungsdichte im Inland Gasspeicherreserven Exportanbindung in der EU
	Transportentfernungen	Entfernung Seeweg Entfernung Landweg
	Logistik	Zoll Infrastruktur Flughafendichte International Shipments Logistikqualität und Kompetenz
	Utilities	Zugang zu Elektrizität Qualität der Elektrizitätsversorgung Zuverlässigkeit Wasserversorgung Abfallentsorgung
<b>Sozial-institutionell</b>	Institutionelle Rahmenbedingungen	Politische Stabilität Effektivität der Regierung Rechtsstaatlichkeit Mitbestimmung und Verantwortung Regulierungsqualität Korruptionskontrolle
	Energiepolitik	Energiecharta EE-Politik
	Wissensstock	Humankapital und Forschung Business Sophistication Quality Infrastructure
<b>Wirtschaftliche Aspekte</b>	Gütermarkt	GCR product market score
	Arbeitsmarkt	GCR labour market score
	Finanzsystem	GCR financial system score
	Investitionsfreiheit	Economic Freedom Index
	Internationaler Handel	WTO Mitgliedschaft
	Einkommensungleichheit	Gini-Koeffizient
	Löhne	Mindestlohn
	Kreditausfallrisiko	Equity Risk Premium

Abgesehen von den natürlichen Ressourcen gehen innerhalb der Unterkategorien alle Indikatoren mit dem gleichen Gewicht ein. In der Unterkategorie „Erneuerbares Nettopotential“ wird nur ein Indikator ausgewählt, da die Potentiale mit einer höheren Kostenschwelle die Potentiale der unteren Kostenschwelle umfassen. Die Länderbewertung stützt sich auf Durchschnitts- und Schwellenwerte, sowie auf eine Faktoranalyse gestützte Bewertung und ein Ranking mit Hilfe weiterer, qualitativer Kriterien. Das Vorgehen ist nachfolgend kurz erläutert.

## Durchschnitts- und Schwellenwerte

Für die Bewertung als potentiell Wasserstofflieferland bieten sich unterschiedliche Verfahren bei Durchschnittsberechnungen und Rankings an. Hierbei kann den Kategorien unterschiedliche Bedeutung in Form von Gewichten zugewiesen werden, während die Unterkategorien mit dem gleichen Gewicht den jeweiligen Kategoriewert bilden.

Bei der Berechnung eines **einfachen durchschnittlichen Gesamtwertes** wird jede Kategorie mit dem gleichen Gewicht erfasst und die Errechnung der Indikatoren erfolgt auf additive Weise. Sofern ein Land relativ schwach bezüglich der natürlichen erneuerbaren Ressourcen ist, jedoch in den anderen Kategorien eine hohe Bewertung erhält, wird es im Gesamtvergleich als potentiell Exportland ausgewiesen. Da überwiegend Industrieländer außer bei den natürlichen Ressourcen hohe Werte ausweisen, klassifizieren sich hierdurch sehr viele Industrieländer als potentiell Exportland.

Ein **gewichteter durchschnittlicher Gesamtwert** über die Kategorien hinweg erlaubt es, die unterschiedliche Relevanz der Kategorien zu berücksichtigen. Daher wurden im Rahmen eines diskursiven Prozesses Gewichtungsfaktoren eruiert. Grundlage der angelegten Gewichtungsfaktoren bildet zum einen eine projektinterne Umfrage (siehe Abschnitt 2.2.2) des Expertenteams sowie ein Fokusgruppenworkshop mit regionalen Entwicklungsexperten (siehe Abschnitt 2.2.1). Aus den Gewichtungen beider Gruppen wird für die Analyse ein Set an Gewichtungsfaktoren für die Kategorien abgeleitet und mit diesen ein gewichteter Durchschnittswert über alle Kategorien gebildet. Hierbei könnte je nach Gewichtung beispielsweise den technisch-natürlichen Ressourcen mehr Bedeutung zugemessen werden.

Alternativ wird auf die Berechnung eines einzigen Durchschnittswerts verzichtet und stattdessen ein **Schwellenwert** je Kategorie festgelegt, den die Länder in allen fünf Kategorien erfüllen müssen.<sup>14</sup> Dies heißt, liegt ein Land unter den xx % (z.B. 30%) schlechtesten Ländern in der jeweiligen Kategorie, wird es ausgeschlossen; innerhalb der Kategorie sind alle Unterkategorien gleich gewertet. Je nach Wahl des Grenzwertes führt das zu einer kurzen oder längeren Liste von Ländern. Die verbleibenden Länder können anschließend nach verschiedenen Kriterien geordnet oder geclustert werden.

## Faktoranalyse und multikriterielle Auswertung

Um der gegebenenfalls vorhandenen Interdependenz und Korrelation zwischen den Kategorien und damit einer möglichen Verzerrung Rechnung zu tragen, wird eine Faktoranalyse durchgeführt. Die Faktoranalyse zeigt auf, ob hinter den ausgewählten Kriterien nicht ein einziger Einflussfaktor steht, mit dem eine Auswahl oder Entwicklung zu begründen wäre. Dieser nicht direkt erkennbare Faktor wird auch häufig als latenter Faktor bezeichnet. Anlass für die Annahme eines latenten Faktors ist eine mögliche Interaktion zwischen Kategorien wie beispielsweise zwischen Umweltaspekten und sozio-institutionellen Indikatoren oder zwischen Technologieanwendung und Infrastrukturen und wirtschaftlicher Entwicklung. Darüber hinaus gaben im Fokusgruppenworkshop Experten zu bedenken, dass entsprechende technische oder natürliche Ressourcen in manchen Ländern durch die Politik zum Wohle der Bevölkerung genutzt werden könnten und sich in wirtschaftlichen Kennzahlen niederschlagen dürften. D. h.

---

<sup>14</sup> Der Wert je Kategorie ergibt sich als einfacher Durchschnittswert aus den Subkategorien.

„wise policy making“ und dessen Folgen spiegeln sich in den sozio-institutionellen und wirtschaftlichen Indikatoren und Infrastrukturen wider. Diese Interaktion impliziert einen möglichen latenten Faktor, der die Kategorien vereint darstellen kann.

Ergänzend dazu wird ein weiterer Analyseansatz verfolgt, der nach (kurz-,) mittelfristigen und langfristigen Importen für Bezugsländer bzw. Exportpotentialen der Lieferländer unterscheidet. Hierbei sind unter einer Langfristperspektive die natürlichen Ressourcen die bestimmende und nicht beeinflussbare Größe, während die anderen Kategorien sich im Laufe der Zeit verändern können. Für diese unterschiedlichen Zeithorizonte sind neben den quantitativen Daten auch qualitative Informationen wie bestehende und bewährte Partnerschaften, Projektplanungen und -umsetzungen, sowie das Vorliegen nationaler Strategien für eine mögliche Qualifizierung als mittel- oder langfristiges Wasserstofflieferland ausschlaggebend. Diese qualitativen Daten dienen als Signal für einen möglichst raschen Ausbau der Wasserstoffproduktion vor Ort und gehen daher in die Analyse der mittelfristigen Exportpotentiale ein.

## 2.1.5 Analysetool

Aufgrund der großen Anzahl an betrachteten Ländern, berücksichtigten Indikatoren und der daraus resultierenden Komplexität ist es für die Bildung einer Rangfolge notwendig, ein Excel-basiertes Analysetool zu entwickeln. Das Analysetool gliedert sich dabei in zwei Bereiche: Zum einen den Frontend-Bereich, der eine grafische Übersicht der Länderrangfolge ermöglicht sowie die Möglichkeit bietet, diese Rangfolge anhand unterschiedlicher Gewichtungen zu ermitteln. Zum anderen den Backend-Bereich, in dem die Daten für die einzelnen Länder erfasst und anschließend normalisiert werden. Der Aufbau des Analysetools sowie beider Bereiche wird nachfolgend kurz erläutert.

Die länderspezifischen Informationen für die Bewertung befinden sich im Backend-Bereich des Analysetools und sind dort in Form einer umfassenden Matrix hinterlegt. Für jedes Land findet sich dort (sofern verfügbar) die entsprechende Ausprägung eines Indikators. Diesem Bereich kommt somit die Funktion einer Eingabemaske und Datenbank zu. Da die Art der Indikatoren und deren Skalierung (metrisch, ordinal, nominal) sehr unterschiedlich ist, müssen diese in einem weiteren Schritt harmonisiert werden. Je nach Indikator wurde hierbei unterschiedlich vorgegangen. Dichotome Indikatoren (1/0, yes/no) wurden Dummy-kodiert. So wurde beispielsweise die Ausprägung, ob es sich bei einem Land um ein Mitglied der WTO handelt mit „1“, andernfalls mit „0“ kodiert.<sup>15</sup> Bei Indikatoren mit starkem Bezug zu einem maximalen Potential wurde der Anteil am Maximalwert unter den Ländern herangezogen und somit auf ein Intervall zwischen 0 und 1 transformiert. Des Weiteren wurden für metrische Variablen Wertebereiche festgelegt oder eine lineare Transformation zur Standardisierung durchgeführt. Die harmonisierten Daten dienen anschließend zusammen mit der festgelegten Gewichtung des Indikators zur Berechnung der Länderreihenfolge.

Die Festlegung der Indikatorgewichtungen sowie die Ermittlung des Länderrankings erfolgt letztlich im Frontend-Bereich des Analysetools. Der Frontend-Bereich ermöglicht die Interaktion mit dem Nutzer des Analysetools. (1) Dabei werden die zuvor genannten Indikatoren in

---

<sup>15</sup> Im Anhang A1.4 ist beispielhaft ein Auszug des Datenblatts aufgeführt, aus dem entnommen werden kann, welche dichotomen Indikatoren entsprechend mit 0 und 1 kodiert wurden.



angelaufenen Projektplanungen ein Hinweis auf das Commitment des Exportlandes, nachhaltigen Wasserstoff zu produzieren.

Neben einer nachhaltigen Wasserstoffproduktion und -versorgung spielen auch geopolitische Interessen wie die Stärkung der Wirtschaft, die Diversifizierung der Lieferanten oder Bezugsländer eine bedeutende Rolle bei der finalen Entscheidung einer Wasserstoffpartnerschaft. Darüber hinaus nehmen auch entwicklungspolitische Ziele, wie die Technologieförderung und der Kapazitätsaufbau Einfluss auf mögliche Partnerschaften. Auch eine Balance zwischen Industrie-, Schwellen- und Entwicklungsländern sowie zwischen den Regionen ist ein mögliches Kriterium.

Insgesamt werden folgende qualitative Kriterien in die Analyse mit aufgenommen:

- Bestehende Energie- oder Wasserstoff-Partnerschaften: Länder, mit denen Partnerschaften für Energie oder Wasserstoff bestehen. Die Quellen stammen aus den folgenden Publikationen: BMBF 2021, dena o. J., BMWi 2020 und 2021, BakerMcKenzie 2021.
- Vorliegen nationaler Wasserstoffstrategien: Länder, die gerade im Prozess der Umsetzung sind oder bereits eine Strategie erarbeitet haben. Informationen dazu wurden aus verschiedenen Quellen zusammengetragen: World Energy Council 2021, IPPR 2021, HySA Infrastructure o. J.
- Projektplanungen: Wasserstoffprojekte in Planung oder Umsetzung. Zusammenstellung aus verschiedenen Quellen.
- Balance nach Regionen: Die regionale Einteilung erfolgt auf Basis der UN-Statistik (United Nations o. J.)
- Balance nach Einkommensniveau der Länder: BIP pro Kopf in PPP US\$ des Jahres 2020. Als Quelle diente die Datenbank des International Monetary Fund, World Economic Outlook Database vom Oktober 2021. Die Einteilung in drei Einkommensklassen erfolgte in Anlehnung an die Weltbank und umfasste 1 für Einkommen bis 10.000 US\$, 2 für Einkommen bis 20.000 US\$ und 3 für Einkommen über 20.000 US\$.
- Sicherheits- und entwicklungspolitische Interessen Deutschlands und der EU.

## 2.2 Expertenbasierter Ansatz

### 2.2.1 Fokusgruppen

Fokusgruppendifkussionen sind eine bewährte Methode in den empirischen Sozialwissenschaften. Im Kern handelt es sich um eine moderierte Gruppendiskussion auf Basis eines festgelegten Interviewleitfadens. Mitglieder der Fokusgruppen sind Expertinnen und Experten in einem spezifischen Fachgebiet. In einer moderierten Gruppendiskussion werden im Kern keine faktischen Tatsachen abgefragt, sondern begründete Einschätzungen zu oft komplexen Sachverhalten oder auch Erwartungen an die Zukunft. Durch den Austausch mit Peers in einem geschützten Rahmen wird den Teilnehmenden die Möglichkeit gegeben, spontan gemachte Aussagen und Einschätzungen zu modifizieren oder zu revidieren. Ähnlich wie bei einer Delphi-Befragung wird auf diesem Weg eine bestmögliche Einschätzung im Rahmen einer konsolidierten Gruppenmeinung erreicht. Durch die Moderation wird sichergestellt, dass einzelne Teilnehmende die Diskussion nicht über Gebühr dominieren.

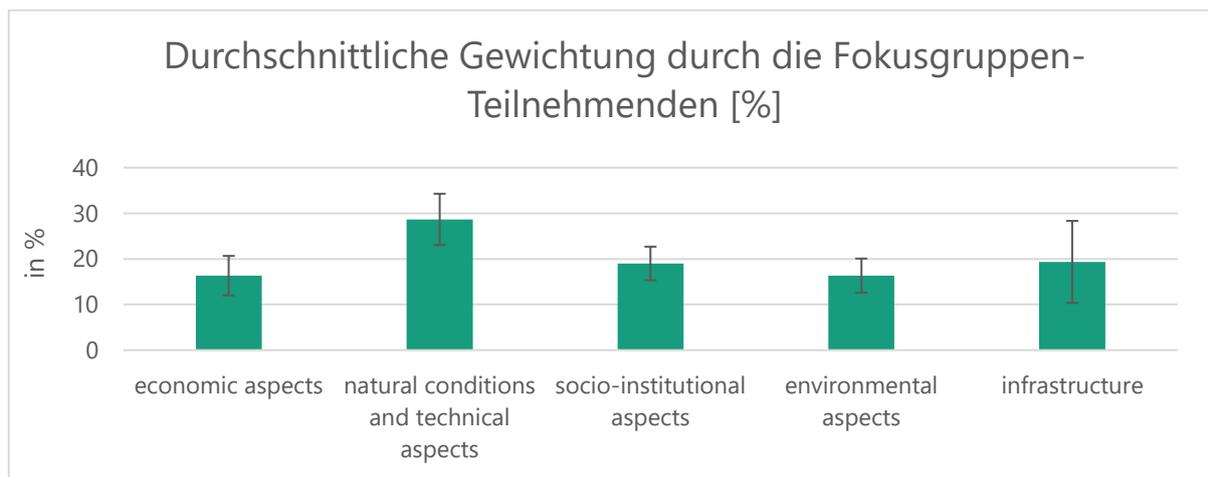
Für die Frage, welche Länder für die Produktion von grünem Wasserstoff in einer internationalen Arbeitsteilung besonders geeignet sind, bot sich die Fokusgruppenmethode an, da es sich um eine komplexe und multifaktorielle Thematik handelt und nicht alle Aspekte in international vergleichbaren Indikatoren abgebildet sind. Für den Workshop am 28. Januar 2022 wurden Expertinnen und Experten für vier Regionen eingeladen: Osteuropa/ Zentralasien, Mittlerer Osten und Nordafrika, Subsahara-Afrika und Lateinamerika. Die Teilnehmenden am Workshop arbeiten am Deutschen Institut für Entwicklungspolitik, am GIGA-Institut in Hamburg, bei der Stiftung Wissenschaft und Politik (SWP), am Nordic Africa Institute in Uppsala/Schweden, am Overseas Development Institute (ODI) in London sowie an Universitäten aus Deutschland, der Türkei und Israel.

Der Fokusgruppenworkshop teilte sich in zwei Arbeitsabschnitte. Der erste Teil befasste sich mit der Gewichtung der Indikatoren, der zweite mit der Auswahl möglicher Wasserstoff-Exportländer. In beiden Teilen wurden die Teilnehmenden zunächst befragt. Daran schloss sich eine Diskussion über die Bewertungskriterien und Länder an, die wiederum mit einem Voting zu den Gewichtungsfaktoren bzw. Ländern abgeschlossen wurde.

### a) Gewichtung

Im Rahmen der Fokusgruppendifkussion erhielten die 16 Teilnehmenden zunächst eine Einführung in das Projekt sowie in die spezifische Fragestellung des ersten Teils des Workshops. Hierbei wurde das indikator-basierte Vorgehen insgesamt sowie die Kategorien und Unterkategorien im Speziellen vorgestellt. In einem ersten Schritt und ohne Diskussion durften die TN angeben (Software Mentimeter), welche Gewichtungsfaktoren sie den einzelnen Kategorien und Unterkategorien zumessen. Dieser Umfrage schloss sich eine Diskussion zu den verschiedenen (Unter)Kategorien an, die mit einer zweiten Befragungsrunde zu der Gewichtung der Kategorien abschloss. Die Gewichtung durch die Teilnehmenden ist in Abbildung 4 dargestellt.

**Abbildung 4: Ergebnis der Umfrage der Teilnehmenden zur Gewichtung der Kategorien (n=16)**



### b) Länder

Den Teilnehmerinnen und Teilnehmern wurden für die vier Regionen jeweils Listen von Ländern vorgelegt, die über international vergleichende Indikatoren, HYPAT-interne Diskussionen sowie die Rückmeldung aus dem HYPAT-Beirat als potentiell wichtige Produktionsländer für grünen

Wasserstoff genannt worden waren. Anhand von vier erarbeiteten Leitfragen zu vier besonders wichtigen Themenfeldern wurden die Teilnehmenden gebeten, diese Liste zu kommentieren und die Länder in ein Ranking zu bringen. Die Leitfragen drehten sich um Wasserverfügbarkeit, Governance-Kapazitäten, Ansatzpunkte für nationale Verflechtungen und Wissenstransfer sowie die mögliche Einbindung einer Wasserstoffproduktion in langfristige Entwicklungsstrategien. Zudem wurden die Teilnehmerinnen und Teilnehmer gebeten, zusätzliche Potentialländer für „ihre“ Regionen zu nennen und zu diskutieren.

## 2.2.2 Diskussion HYPAT-Beirat und -Projektteam

Um wie in Kapitel 2 diskutiert, der unterschiedlichen Relevanz der Kategorien in der Bewertung als Wasserstofflieferland Rechnung zu tragen, wurden auch im Projektteam Gewichtungsfaktoren erörtert und anschließend eine Umfrage im selben Team durchgeführt. In Summe durften die Teilnehmenden 100 Punkte auf die fünf Kategorien verteilen. An dieser Online-Umfrage haben 26 Projektmitarbeitende teilgenommen und ihre Gewichtung für die einzelnen Kategorien abgegeben. Sie unterscheidet sich von der Gewichtung des Fokusgruppenteams durch eine leicht unterschiedliche Bewertung der Bedeutung der Umweltaspekte.

Darüber hinaus wurden das Vorgehen (Kapitel 2) und die ersten Ergebnisse der Analyse im Projektteam und dem Beirat vorgestellt. Diesem schloss sich eine Diskussionsrunde im Beirat zur ersten Länderauswahl an. Vorgeschlagen wurde, vorliegende Studien zu möglichen Wasserstoffexportländern zu recherchieren und zu prüfen, inwieweit die dort vorliegenden Informationen bereits ausreichend für die Beurteilung der Eignung als Wasserstoff-Exportland sind, und diese Länder daher nicht mehr im Rahmen von HYPAT zu untersuchen sind. Als Beispiele möglicher Studien wurden Analysen zu Australien und Namibia erwähnt. Wichtige Kriterien bei dieser Recherche und Literaturlanalyse sind die Tiefe und Vergleichbarkeit der Studien. Darüber hinaus wurde eruiert, welche bekannten Studien weitere Informationen und Aspekte aufgreifen, die einen „value added“ für HYPAT liefern würden. Im Rahmen der qualitativen Kriterien finden diese Vorschläge Eingang in die Analyse. Darüber hinaus erfolgten keine weiteren Anmerkungen zu den vorgeschlagenen Ländern.

### 3 Ergebnisse

#### 3.1 Indikator-basierte Ergebnisse

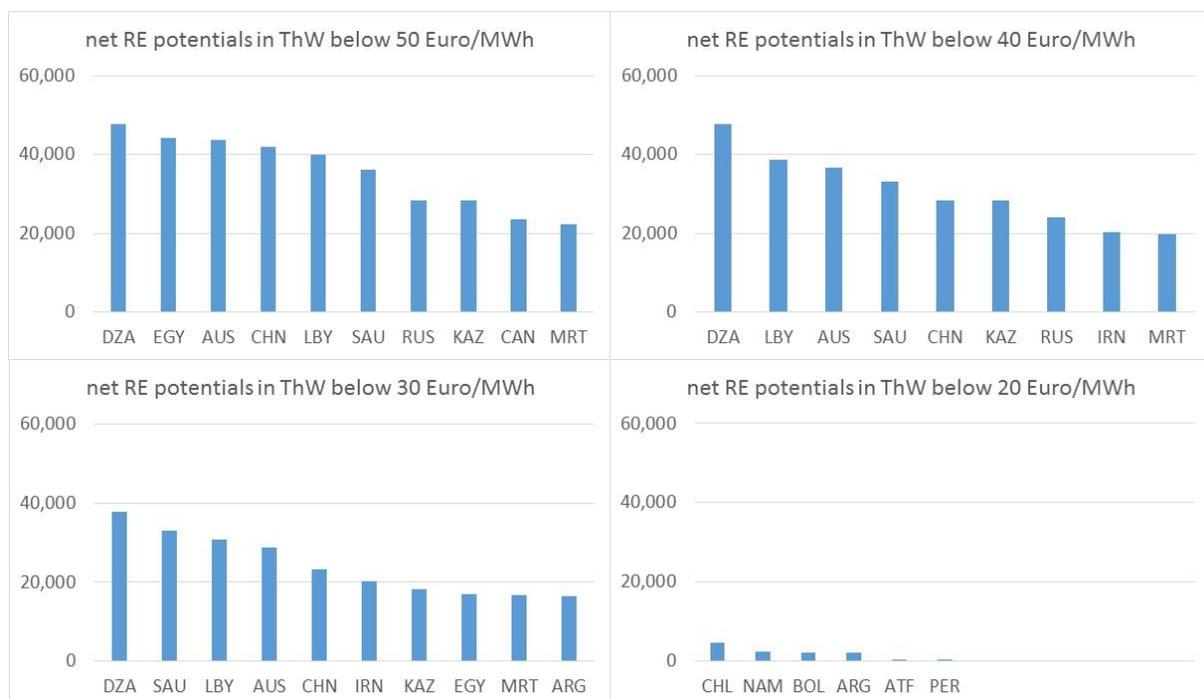
Die nachfolgende Auswertung umfasst jene Länder, die nach Anlegen der Mindestvoraussetzungen (KO-Kriterien) von Abschnitt 2.1.2 nicht aus dem Länderpool ausgeschlossen wurden.

##### 3.1.1 Ergebnisse in den einzelnen Kategorien

###### Technisch-natürliche Ressourcen

Bei einer Kostenschwelle von 50 Euro/MWh hat Algerien das größte Nettoerzeugungspotential von gerundet 50 PWh/Jahr in 2050. Insgesamt verfügen rund 130 Länder über ein positives Nettoerzeugungspotential, während die restlichen Länder null oder teils auch ein negatives Potential ausweisen, da die Nachfrage größer als das Erzeugungspotential ist. Das größte Potential für die niedrigste Preisstufe von 20 Euro/MWh hält Chile mit gerundet 5 PWh/Jahr. Insgesamt zeigt sich je nach hinterlegter Kostenschwelle ein etwas unterschiedliches Länder-Ranking, wobei das Potential auf der 20 Euro/MWh-Schwelle sehr gering im Vergleich zu den anderen Stufen ist (Abbildung 5).

**Abbildung 5: Nettopotentiale erneuerbarer Stromerzeugung nach Kostenschwelle**



Erläuterung: DZA: Algerien; SAU: Saudi-Arabien; LBY: Lybien; AUS: Australien; CHN: China; IRN: Iran; KAZ: Kasachstan; EGY: Ägypten; MRT: Mauretanien; RUS: Russland; CAN: Kanada; CHL: Chile; NAM: Namibia; BOL: Bolivien; ARG: Argentinien; ATF: Tromelin; PER: Peru.

In einem globalen Wasserstoffmarkt werden diese günstigen Potentiale zuerst ausgeschöpft, sofern keine zu hohen Investitionsunsicherheiten bestehen und die benötigten Ressourcen wie

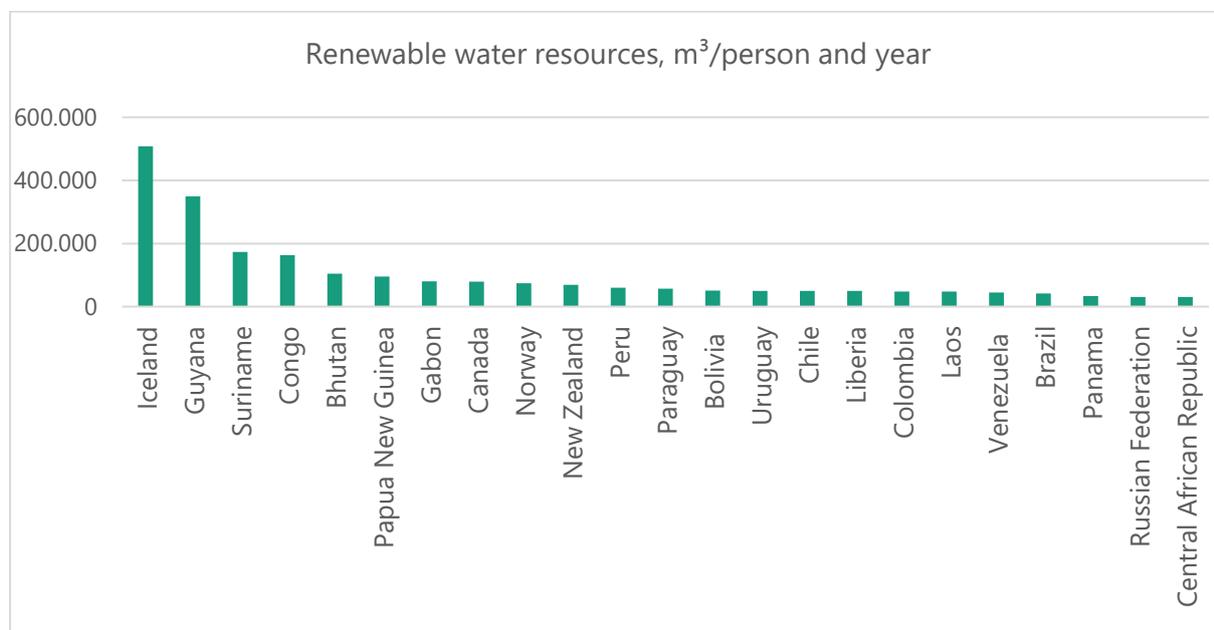
Wasser und Know-how zur Verfügung stehen. Insofern sind weitere Indikatoren zu Abschätzung der technischen, marktwirtschaftlichen, sozialen und politischen Unsicherheiten und damit der möglichen Produktions- und Exportpotentiale erforderlich.

Unter Berücksichtigung weiterer Indikatoren zu natürlichen Ressourcen und der technischen Machbarkeit (einfacher Durchschnitt Kategorie natürliche-technische Ressourcen) schieben sich stärker industrialisierte Ländern wie China, Australien und Saudi-Arabien vor Algerien und Ägypten, gefolgt von Russland, Kanada, Argentinien, Iran, USA, Kasachstan.

### Umweltindikatoren

In der Kategorie Umwelt (Bildung eines einfachen Durchschnittswerts aus den Unterkategorien) schneiden insbesondere die Industrieländer sehr gut ab, allen voran, Luxemburg, Niederlande, Australien, Großbritannien, Deutschland, Belgien, USA. Mit Blick auf einzelnen Unterkategorien, wie die verfügbaren Wasserressourcen führen Länder wie Island beispielsweise die Top 10-Liste an (siehe Abbildung 6), während hinsichtlich Abfallmanagement Länder wie Kolumbien & Niederlande, Dänemark & Schweden, Singapur, Schweiz, Mauritius, Deutschland, Finnland, Norwegen & Belgien, Österreich, Südkorea & Malta unter den Top 10 stehen. Allerdings wird mit einem Blick auf die erneuerbaren Ressourcen deutlich, dass weder Umweltmanagement noch Wasserverfügbarkeit als alleinstehende Indikatoren ausreichend sind, um eine Beurteilung als geeignetes Wasserstoffproduktionsland zu liefern. Vielmehr ist über alle in Kapitel 2 (Abschnitt „Umweltindikatoren“) aufgeführten Umweltbereiche und Kategorien hinweg ein insgesamt möglichst hoher Standard wünschenswert.

**Abbildung 6: Verfügbare Wasserressourcen in m<sup>3</sup>/Kopf und Jahr (2017)**



Anmerkung: UN Water SDG 6 Data Portal, „renewable water resources: total“ und Bevölkerungsanzahl im Jahr 2017 aus UNData

## Sozio-institutionelle Indikatoren

In der Gesamtbewertung der sozio-institutionellen Kriterien führen ebenfalls Industrieländer die Liste an, allen voran die Schweiz, gefolgt von Dänemark, Deutschland, Finnland, Großbritannien, Österreich, Frankreich, Australien. Hinsichtlich der Förderung erneuerbarer Energien dominieren ebenfalls Industrieländer wie Deutschland, Dänemark, Großbritannien, Schweiz die Top 10-Liste. Das Ranking nach der sozio-institutionellen Gesamtpformance, den Unterkategorien allgemeines institutionelles Umfeld, Energiepolitik und Wissensgenerierung/-verbreitung/-normung sind im Anhang A.2.1 dargestellt.

## Infrastrukturen

Eine Liste der Top 20-Länder für die Kategorie und jede Unterkategorie wurde erstellt, um die fortschrittlichsten und geeignetsten Länder für die Integration und den Aufbau einer Wasserstoff-Infrastruktur zu ermitteln. Länder mit einer Landesfläche unter 10.000 km<sup>2</sup> (Anhang A.1.2 Appendix A) oder potentielle Nettoimportländer erneuerbarer Energien (Japan, Südkorea, Thailand, Vietnam, Indonesien, Malaysia, Indien, EU) sind in dieser Liste nicht berücksichtigt.

Innerhalb der Kategorie Logistik wurden fünf verschiedene Indikatoren je Land erhoben. Ist ein Land in den Top 20-Ländern aller Indikatoren der Subkategorie Logistik gelistet, so erhält es in der Kategorie Logistik fünf Punkte.

Abbildung 7 gibt einen Gesamtüberblick über alle Kategorien des Indikators Infrastruktur. Das Balkendiagramm zeigt die Gesamtzahl der Nennungen von Ländern, die unter den 20 wichtigsten Ländern aller Teilindikatoren genannt werden. Die vollständigen Listen der 20 führenden Länder für jeden Indikator sind in Appendix B-F (unter Anhang A.1.2) zu finden.

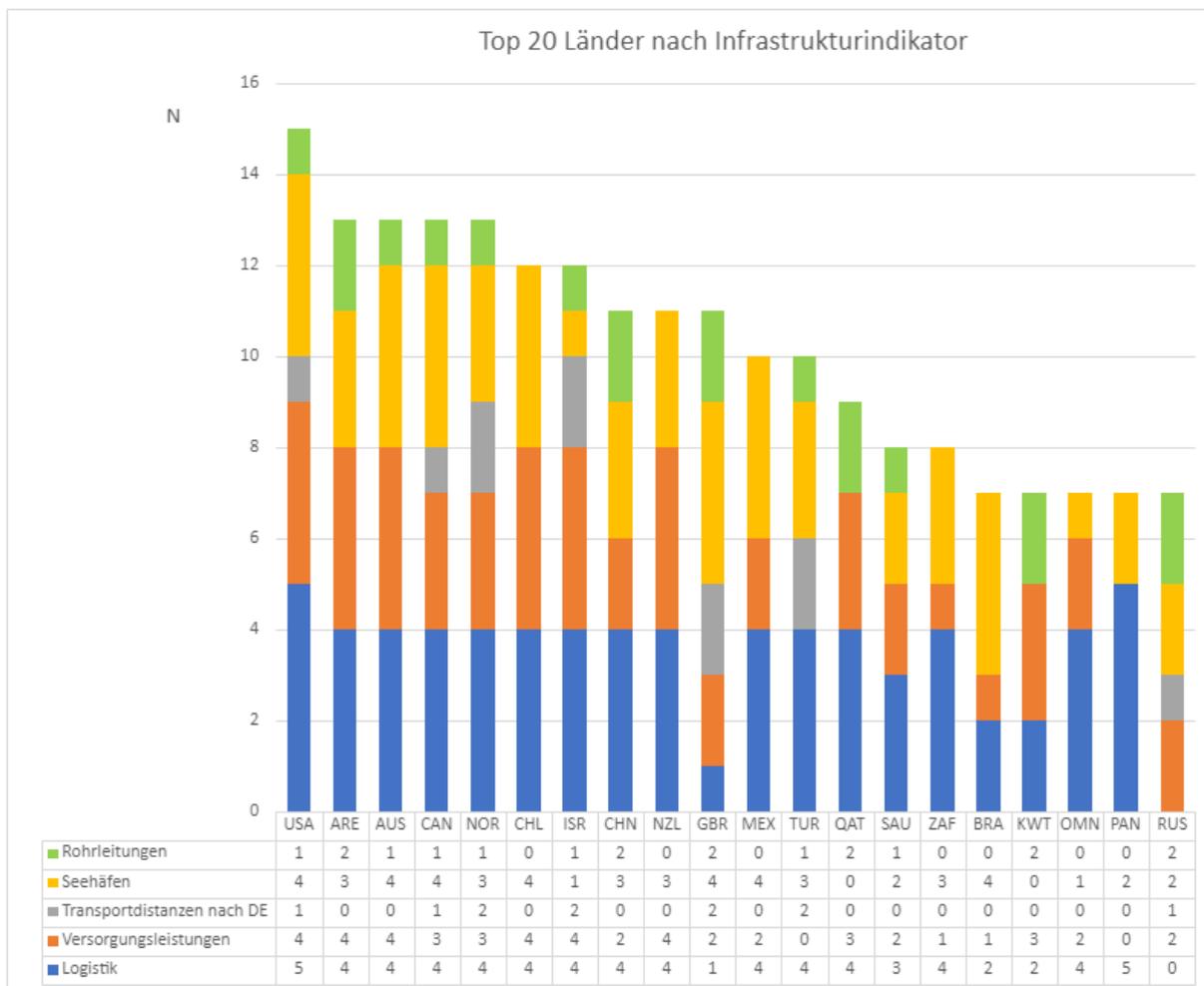
Die USA werden 15 von möglichen 18 Malen gezählt. Diese bieten die besten Potentiale bei der Errichtung von Wasserstoffinfrastrukturen. Unter den Subkategorien Seehäfen, Versorgungsleistungen und Logistik liegt die USA unter den Top 20. Allein beim rohrleitungsgebundenen Transport und den Transportdistanzen nach Deutschland sind die US-Indikatoren nicht hoch genug, um in die Top 20 aufgenommen zu werden.

Die Vereinigten Arabischen Emirate, Australien, Kanada und Norwegen erhalten jeweils 13 von 18 Nennungen unter den Top-20-Ländern und zeichnen sich durch ihre gut bis sehr gut entwickelten logistischen Gegebenheiten, Versorgungsleistungen und eine vorhandene Seehafeninfrastruktur aus.

Chile und Israel werden jeweils 12 von 18 Male genannt. Diese Länder zeichnen sich ebenfalls durch ihre gut bis sehr gut entwickelten logistischen Gegebenheiten und Versorgungsleistungen aus. Während Chile eine hervorragende Seehafeninfrastruktur vorweisen kann, sticht Israel mit geringen Transportdistanzen nach Deutschland hervor.

Es folgen China, Neuseeland und Großbritannien mit 11 von 18 Nennungen, dicht gefolgt von Mexiko und Türkei mit 10 von 11 Nennungen. Die Hälfte der möglichen Nennungen sind für Katar zu verzeichnen. Brasilien, Kuwait, der Oman, Panama und Russland haben weniger als die Hälfte der möglichen Nennungen und schließen die Rangfolge mit 8 von möglichen 18 Nennungen ab.

**Abbildung 7: Zusammenfassung der gezählten 20 Spitzenländer im Bereich je Subkategorie**



Quelle: eigene Darstellung Fraunhofer IEG; Anmerkung: Anzahl der maximal möglichen Nennungen je Subkategorie: Rohrleitungsgebundener Transport (3), Seehäfen (4), Transportentfernung nach Deutschland (2), Versorgungsleistungen (4), Logistik (5). Die Anzahl der maximal möglichen Nennungen über alle Subkategorien hinweg beträgt 18. ARE- Argentinien, AUS-Australien, CAN-Kanada, NOR-Norwegen, CHL-Chile, ISR-Israel, CHN-China, NZL-Neuseeland, GBR-Großbritannien, MEX-Mexiko, TUR-Türkei, QAT-Katar, SAU-Saudi-Arabien, ZAF-Südafrika, BRA-Brasilien, KWT-Kuweit, OMN-Oman, PAN-Panama, RUS-Russland.

### Wirtschaftliche Rahmenbedingungen

Über alle Indikatoren der ökonomisch-finanziellen Dimension hinweg, schneiden, wie zu erwarten, Industrieländer und entwickelte Volkswirtschaften am besten ab. Bei mindestens fünf von sieben Indikatoren<sup>16</sup> befinden sich die Niederlande, Luxemburg, Dänemark, Finnland, Schweden, Großbritannien, Singapur, Neuseeland, Australien, USA, Deutschland und die Schweiz unter den Top 20. Die Länder Österreich, Kanada, Norwegen, Belgien, Japan, Malaysia, Irland, Island und Frankreich fallen ebenfalls häufig unter die „besten“ Länder bei einem einzelnen Ranking der Indikatoren. Dabei liegen die Indikatorwerte der im Ranking führenden Länder weitgehend nahe beieinander. Zum Beispiel nimmt die geschätzte Equity Risk Prämie für die „besten“ 13 Länder den gleichen Wert (4,72 %) an. Für die gesamte Stichprobe ist jedoch

<sup>16</sup> Hier sind alle wirtschaftlichen Indikatoren mit Ausnahme der WTO-Mitgliedschaft, die nur zwei Werte annehmen können, betrachtet.

durchaus eine große Spannweite der einzelnen Indikatorausprägungen zu beobachten (Vgl. z. B. deskriptive Übersicht in Tabelle 3).

Der aggregierte Indikator für wirtschaftliche Kriterien weist ebenfalls Industrieländer an erster Stelle auf, wobei die Position der Top 10 europäische Länder einnehmen.

### 3.1.2 Multi-kriterielle Analyse

#### Ranking mit Durchschnittswerten und Grenzwerten

Die Indikatoren je Kategorie werden durch einen aggregierten Wert je Kategorie ausgegeben, in den jede Subkategorie gleichwertig eingeht. Ein aggregierte Gesamtindikator bildet die Gesamtperformance eines Landes ab und leitet sich aus den Indikatoren der Kategorien ab<sup>17</sup>. Die nachfolgende Auswertung basiert auf der in Abschnitt 2.1.4 beschriebenen Vorgehensweise für ein einfaches Ranking.

Ein Ranking auf Basis des einfachen Durchschnittswerts (jede Kategorie hat das gleiche Gewicht) führt zu einer Länderliste, die sich ausschließlich aus Industrieländern wie Australien, Finnland, Spanien, Irland etc. zusammensetzt. Ein Ranking unter Berücksichtigung der Gewichtungsfaktoren (Abschnitt 2.1.4) weist trotz des höheren Gewichts für die natürlich-technischen Indikatoren ebenfalls eine starke Dominanz der Industrieländer auf. Australien, Kanada und Spanien bilden die Top-3-Länder, China ist an achter Stelle, Ägypten und die Vereinten Arabischen Emiraten sind an Position 13 und 14 (siehe Annex A.2.1).

Bei Anlegung eines Grenzwerts von 30 %, d. h. Länder, die unter den 30 % schlechtesten in der jeweiligen Kategorie liegen, werden ausgeschlossen, ergibt sich eine Liste von rund 40 Ländern. Die Länder dieser Liste können nach beliebigen Kriterien sortiert werden. Bei Zugrundelegung eines Erneuerbaren-Potentials von unter 50 Euro/MWh für das Ranking sind unter den Top-10-Ländern Algerien, Ägypten, Australien, China, Saudi-Arabien, Russland, Kasachstan, Kanada, Iran, Argentinien (siehe A.2.3). Würde hingegen die Kostenschwelle von 20 Euro/MWh als Ranking-Kriterium herangezogen, wären dies nur noch Chile, Argentinien und Peru.

Würden hingegen 40 % der schlechtesten Länder je Kategorie ausgeschlossen, verkürzt sich die Liste der Länder deutlich, und umfasst unter den Top-10-Ländern, Australien, Russland, Kanada, USA, Chile, Brasilien, Südafrika, Mexiko, und Tunesien. Bei einer Kostenschwelle von unter 20 Euro/MWh als Ranking-Kriterium reduziert sich die Liste auf Chile und Argentinien.

#### Mittel- und langfristige Perspektive

Die Korrelations- und Faktoranalyse weist auf signifikante Interdependenzen der Kategorien hin. So sind die Korrelationen zwischen den Umwelt-, sozio-institutionellen, ökonomischen Kriterien und Infrastrukturen hoch und signifikant (Tabelle 6). Die Ergebnisse der Faktoranalyse zeigen, dass diese Kategorien auf den gleichen Faktor laden, d. h. hinter diesen Kategorien steht ein einziger latenter Faktor. Somit können diese Kategorien als ein Aggregat (einfacher Durchschnittswert) in die Analyse eingehen.

---

<sup>17</sup> Diese basieren auf den normierten Werten der jeweiligen Indikatoren.

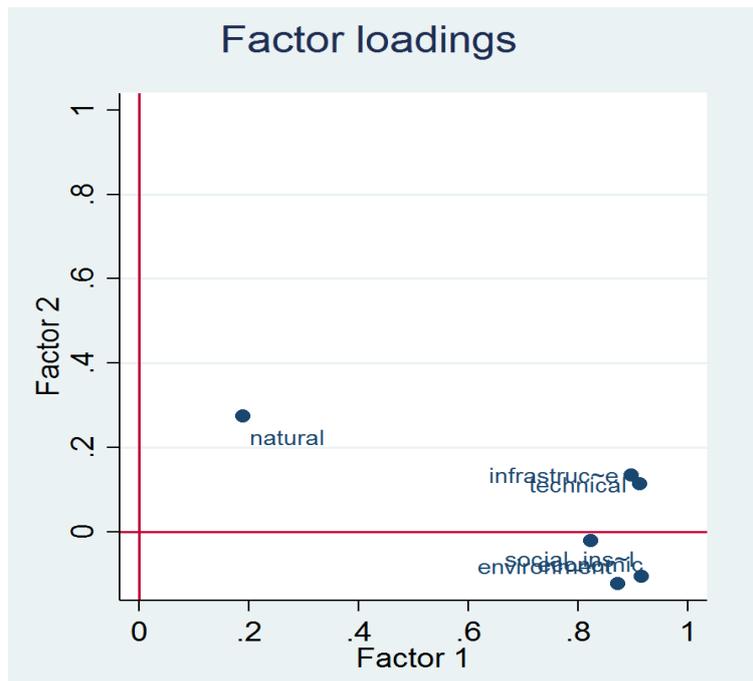
**Tabelle 6: Korrelation zwischen den Indikatoren auf Ebene der Kategorien (n=183)**

	natura~h	enviro~t	infras~e	social~l	economic
natural_tech	1.0000 183				
environment	0.0399 0.5916 183	1.0000 183			
infrastruc~e	0.1732 0.0190 183	0.7992 0.0000 183	1.0000 183		
social_ins~l	0.0986 0.1841 183	0.8200 0.0000 183	0.8151 0.0000 183	1.0000 183	
economic	0.1888 0.0105 183	0.6915 0.0000 183	0.7224 0.0000 183	0.7463 0.0000 183	1.0000 183

Quelle: eigene Analyse Fraunhofer ISI; Ergänzung: Analyse auf Ebene der Kategorien. Die Kategorien sind auf der horizontalen und vertikalen Achse abgebildet, die angegebenen Werte zeigen den Korrelationswert, die Signifikanz, die Anzahl (von oben nach unten lesend)

Aufgrund der veränderten Bedeutung von Energieversorgungssicherheit wird eine mittelfristige sowie eine langfristige Perspektive mit einem Zeithorizont bis 2050 angelegt. Über einen langfristigen Zeithorizont können sich die jetzigen technischen, wirtschaftlichen, sozio-institutionellen Faktoren und Umweltaspekte einem Wandel unterziehen, während davon auszugehen ist, dass sich die natürlichen Potentiale weniger stark verändern werden. Aus mittelfristiger Perspektive wird gezeigt, welche Länder aufgrund ihrer technischen und strukturellen Gegebenheiten, Partnerschaften und Strategien relativ schnell als potentielle Wasserstofflieferanten zur Verfügung stehen könnten. Aus diesem Grund wird für eine Langfristbetrachtung das technische und natürliche Potential differenziert betrachtet, also aus einer Kategorie zwei Kategorien gebildet. Fünf dieser Kategorien werden durch einen aggregierten Faktor (Durchschnittswert) abgebildet werden. Die Faktoranalyse mit diesen sechs Kategorien (natürlich, technische, wirtschaftliche, sozio-institutionell, Infrastruktur, Umwelt) untermauert diese Differenzierung (siehe Abbildung 8).

**Abbildung 8: Ergebnis der Faktoranalyse**



Quelle: eigene Berechnung, Fraunhofer ISI

### Gesamtindikator aus mittelfristiger Perspektive

Um mittelfristig eine sichere Versorgung durch importierten Wasserstoff zu erhalten, werden die technisch-natürlichen Bedingungen sowie die aggregierten Faktoren der anderen Kategorien in einem Durchschnittswert ausgewiesen. Hierbei gehen die technisch-natürlichen Bedingungen und der aggregierte Faktor zu gleichen Teilen ein. Basis dieses Vorgehens sind die Ergebnisse der Faktoranalyse sowie die Argumentationslogik, dass für einen schnellen Aufbau der Produktion vorhandene Strukturen, Technologien, Beziehungen und Partnerschaften sowie nationale Strategien von Bedeutung sind. Die Top-30-Länder des Rankings werden anschließend auf Basis der geplanten oder angelaufenen Wasserstoffprojekte, den Energie- und Wasserstoffpartnerschaften mit Deutschland und dem Vorhandensein von nationalen Wasserstoffstrategien dargestellt und bewertet. Diejenigen Länder, die in den genannten Bereichen alle Kriterien erfüllen, sind mittelfristig als potentiell gute Exportländer zu bewerten (Bewertung 1). Diese sind Australien, Portugal, China, Saudi-Arabien, Kanada, Ägypten. Auf nächster Stufe (Feld mit der Wertung 2), d. h. Länder, die zwei der qualitativen Kriterien erfüllen, stehen hier USA, Brasilien, Chile, Algerien, Russland, Spanien. Unter den Ländern mit den günstigsten Potentialen finden sich Chile und Argentinien, letzteres fällt allerdings in die vierte Bewertungsklasse (Tabelle 7).

**Tabelle 7: Überblick über potentielle Exportländer unter mittelfristiger Perspektive**

country	Australien	Neuseeland	Russische Föderation	Polen	Rumänien	Ukraine	Schweden	Irland	Finnland	Litauen	Lettland	Spanien	Portugal	Griechenland	Kasachstan	China	Iran	Saudi-Arabien	Vereinigte Arabische Emirate	Türkei	Mexiko	Kanada	Vereinigte Staaten	Brasilien	Chile	Argentinien	Kolumbien	Ägypten	Algerien	Südafrika
ranking natural-technical and aggregated factors	1	19	7	13	27	28	9	10	18	29	30	5	11	15	14	3	25	8	17	22	23	2	4	16	20	21	26	6	12	24
hydrogen projects	1			3								2	3		3	2		3				3	2	3	3			3		
energy or hydrogen partnership	1		1			1							1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			1	1	1
national hydrogen strategy	1	1	1	1			1		1			1	1			1		1				1			1		1	1	1	1
	1	3	2	3	3	3	3	4	3	4	4	2	1	4	2	1	3	1	3	3	3	1	2	2	2	4	3	1	2	2
Region	Australia and New Zealand		Eastern Europe				Northern Europe					Southern Europe		Central Asia	Eastern Asia	Southern Asia		Western Asia		Central America	Northern America		South America			Northern Africa		Southern Africa		

Anmerkung: hydrogen projects: ab 7 oder mehr Projekten 1, zwischen 4 und 6 Projekten 2, zwischen 1-3 Projekten 3

Quelle: eigene Darstellung Fraunhofer ISI

### **Gesamtindikator aus langfristiger Perspektive**

Unter einem langfristigen Zeithorizont können die Länder sich hinsichtlich ihrer technischen Kompetenzen, politischen, institutionellen Rahmenbedingungen, Infrastrukturen und ihrem Umgang mit Umweltressourcen deutlich verändern. Daher erhalten unter langfristiger Perspektive die natürlichen Potentiale ein stärkeres Gewicht. Hierzu werden die natürlichen Potentiale und Bedingungen als separater Indikator erfasst und die technologische Entwicklung mit den anderen Kategorien zu einem Faktor zusammengefasst. Dieses Vorgehen wird ebenfalls durch die Faktoranalyse gestützt. Ein erstes Ranking erfolgt auf Basis des natürlichen Potentials.

Anschließend werden die Top-30-Länder der Kategorie „natürliche Bedingungen“ innerhalb dieser Gruppe jeweils nach ihrem kostengünstigen Potential und den aggregierten Faktoren sortiert. Sie erhalten somit einen Rang. Auf Basis dieses Rangs (Rankings) je Kriterium wird ein durchschnittliches Ranking berechnet, wobei Länder mit einem sehr schlechten aggregierten Faktorenwert (8 Länder unter den 30 % schlechtesten) aus der Wertung genommen werden. Die am höchsten gerankten Länder sind Australien, Saudi-Arabien, China, Iran, Kasachstan, Chile, Argentinien, Ägypten, Algerien. Weitere mögliche Länder sind Marokko, Namibia, Südafrika, Mali, Mexiko, Bolivien, Pakistan, Oman und Russland, sowie mit Abstand Botswana. Die Länderauswahl ist in Tabelle 8 dargestellt.

Um eine gewisse Balance zwischen den Regionen sowie dem Entwicklungsstand der Länder zu berücksichtigen, werden jeweils Pro-Kopf-Einkommen sowie die Region mitgeführt. Ebenfalls aufgenommen und in die Langfrist-Bewertung einbezogen wird das Vorliegen nationaler Wasserstoffstrategien sowie von Energie- oder Wasserstoffpartnerschaften mit Deutschland.

**Tabelle 8: Überblick über potentielle Lieferländer unter einer langfristigen Perspektive**

country	Algerien	Ägypten	Marokko	Namibia	Südafrika	Botsuana	Mali	Mexiko	Kanada	Vereinigte Staaten	Argentinien	Brasilien	Bolivien	Peru	Chile	Kasachstan	China	Mongolei	Iran	Pakistan	Saudi-Arabien	Oman	Russische Föderation	Australien	
ranking natural potential at 20 Euro/MWh				2							3		2	4	1										
ranking natural potential at 30 Euro/MWh	1	9	23	21	19	26	12	22	27	20	11	15	28	29	17	7	5	13	6	14	2	18	28	4	
ranking natural conditions	1	2	26	18	23	28	15	27	10	16	13	17	22	30	24	8	5	14	12	20	7	21	9	3	
ranking of aggregated factors	12	14	11	21	6	22	24	5	2	3	13	7	23	15	4	16	8	20	17	18	10	19	9	1	
average rank	5	8	20	16	16	25	17	18	13	13	10	13	19	20	12	10	6	16	12	17	6	19	15	3	
energy or hydrogen partnership	1	1	1	1	1		1	1	1	1		1			1	1	1		1		1		1	1	
national hydrogen strategy	1	1	1	1	1				1						1		1				1	1	1	1	
income level (1 = low; 2 = middle; 3 = high)	2	2	1	1	2	2	1	1	3	3	3	2	1	2	3	3	2	2	2	1	3	3	3	3	
region	Northern Africa			Southern Africa			Western Africa	Central America	Northern America		South America					Central Asia	Eastern Asia		Southern Asia		Western Asia		Eastern Europe Australia and New Zealand		

Quelle: eigene Darstellung, Fraunhofer ISI

## 3.2 Ergebnisse der Fokusgruppendifkussion

Während des Expert:innenworkshops Ende Januar 2022 wurden vier regionale Listen von potentiellen Exportländern von grünem Wasserstoff diskutiert und in ein Ranking gebracht. Darüber hinaus wurden die Teilnehmenden gebeten, zusätzliche Länder der Region ihrer speziellen Expertise zu benennen. Für die Region Osteuropa/Zentralasien wurde die Türkei als besonders vielversprechend benannt, auch, weil andere Länder der Region mit hohem Potential für die Wasserstoffproduktion (Kasachstan und Ukraine) aktuell kaum infrage kommen. Für Sub-Sahara-Afrika wurden Ghana, Namibia und Südafrika genannt, und für die Region Mittlerer Osten/Nordafrika wurden Algerien, Südafrika und die Vereinigten Arabischen Emirate genannt. Als besonders geeignete Produktionsländer in Lateinamerika benannten die Expertinnen und Experten Argentinien, Brasilien und Costa Rica, wobei auch Chile als grundsätzlich geeignet angesehen wird.

## 3.3 Politische Prioritäten und Lieferbeziehungen

Die Verlässlichkeit des Lieferlandes bzw. Versorgungssicherheit hinsichtlich des Gutes spielt eine große Rolle bei der Auswahl der Lieferländer. Ergänzend hierzu können geopolitische Interessen und entwicklungspolitische Ziele, die mithilfe der Lieferbeziehungen unterstützt werden, eine Rolle beim Eingehen von Lieferbeziehungen spielen. Ihre Einbindung in eine zukunftssträchtige, neue Energiestrategie kann die gesellschaftliche Transformation unterstützen, zumal dann, wenn neue, zukunftssträchtige Beschäftigungsmöglichkeiten und Anreize für höhere Bildung und Ausbildung entstehen. In Verbindung mit Maßnahmen der Entwicklungszusammenarbeit kann ein Beitrag zum Abbau von Migrationsursachen und zur politischen Stabilisierung von Partnerländern und Entwicklungsregionen geleistet werden. Das Thema Wasserstoff könnte für eine Stärkung der Kohärenz zwischen wirtschaftlichen und politischen Prioritäten genutzt werden (Bossuyt et al. 2020). Nachfolgend werden daher die potentiellen Lieferländer hinsichtlich dieser drei Aspekte diskutiert:

- Verlässlichkeit mit Blick auf Versorgungssicherheit
- entwicklungspolitische Ziele
- sicherheitspolitische Interessen.

Die Bewertung aller drei Aspekte ist mit einem erheblichen Maß an Unsicherheit verbunden, insbesondere wenn es um mittel- bis langfristige Abschätzungen geht. Langfristige Prognosen zur Stabilität von politischen Systemen sind mit den vorhandenen Methoden nur eingeschränkt möglich. Auch entwicklungs- und sicherheitspolitische Prioritäten können sich innerhalb relativ kurzer Zeit verschieben. Im Sinne einer Risikostreuung kann es daher sinnvoll sein, bei der Auswahl von Lieferländern auf eine breite regionale Abdeckung zu achten.

### 3.3.1 Verlässlichkeit

#### **Aktuelle außen- und innenpolitische Konflikte**

Um die Stabilität und Verlässlichkeit potentieller Lieferländer zu bewerten, sind zunächst die Risiken für innenpolitische Disruptionen und Konflikte abzuschätzen, welche einen Einfluss auf die Fähigkeit oder den Willen zur Lieferung von Wasserstoff haben können. Als zentraler Proxy für Stabilität und Verantwortlichkeit von Staaten kann die Verwicklung von Staaten in interne

und externe Konflikte angesehen werden. Diese können unmittelbar die Verlässlichkeit von Ländern als Lieferanten beeinträchtigen oder mittelbar dazu führen, dass Staaten sich in entsprechenden Konflikten engagieren, die eine Belastung für Handelsbeziehungen darstellen (vgl. die aktuelle Situation mit der russischen Invasion in der Ukraine).

Mit Blick auf die mittelfristige Stabilität und Verlässlichkeit bietet der Global Peace Index einen hilfreichen Ansatz zur Abschätzung. Dieser vom Institute for Economics & Peace entwickelte Meta-Index bildet das Ausmaß von Friedlichkeit der Situation in verschiedenen Ländern ab. Dieser Index berücksichtigt dabei insgesamt 23 Indikatoren für innen- wie auch außenpolitischen Konflikte in verschiedenen Dimensionen (u. a. innerstaatliche und internationale Konflikte, soziale Stabilität, Militarisierung) und bietet daher eine Abschätzung für das Risiko von Konflikten, die sich potentiell auf die Verlässlichkeit als Handelspartner auswirken können. Für die mittelfristige Perspektive würde sich auf Basis des Global Peace Index 2020 (Institute for Economics & Peace 2020) dabei die in Tabelle 9 dargestellte Einschätzungen der Länder ergeben.

Neben Staaten der EU sowie weiteren westlichen Demokratien wie Neuseeland, Australien oder Kanada<sup>18</sup> erscheinen auf dieser Grundlage verschiedene südamerikanische Staaten (Argentinien, Chile, Costa Rica), afrikanische Staaten (Ghana, Südafrika) und asiatische Staaten (Vereinigte Arabische Emirate, Kasachstan) in Betracht zu kommen. Insbesondere innerhalb der jeweiligen Weltregionen zeigen sich deutliche Unterschiede in Bezug auf die Einschätzung, so dass einzelne Länder deutlich vom regionalen Durchschnitt abweichen. Aus dieser Perspektive erscheinen aktuell insbesondere Russland, die Ukraine und Türkei, der Iran, Kolumbien, Mexiko, Ägypten, Brasilien und Saudi-Arabien als weniger geeignet.

---

<sup>18</sup> Die USA erscheinen als ein Sonderfall, der aufgrund der globalen Rolle anders interpretiert werden muss.

**Tabelle 9: Global Peace Index**

Land	Global Peace Index (2020)	Rel. Rang Global Peace Index	Absolut. Rang Global Peace Index
<b>Ozeanien</b>			
Neuseeland	1,243	2	3
Australien	1,435	6	14
<b>Amerika</b>			
Kanada	1,331	3	7
Costa Rica	1,719	13	38
Chile	1,831	15	50
Argentinien	1,970	19	71
Vereinigte Staaten	2,27	21	120
Brasilien	2,409	25	128
Mexiko	2,571	27	138
Kolumbien	2,632	28	140
<b>Afrika</b>			
Ghana	1,762	14	40
Algerien	2,290	22	122
Südafrika	2,33	23	123
Ägypten	2,410	26	129
<b>Asien</b>			
Ver. Arabische Emirate	1,901	17	64
China	2,070	20	94
Saudi-Arabien	2,39	24	127
Iran	2,650	29	142
Kasachstan	1,929	18	68
<b>Europa</b>			
Ukraine	2,88	30	148
Türkei	2,898	31	149
Russische Föderation	3,001	32	154
Portugal	1,236	1	2
Irland	1,379	4	11
Finnland	1,391	5	13
Schweden	1,471	7	15
Rumänien	1,53	8	21
Litauen	1,646	9	31
Spanien	1,663	10	32
Polen	1,666	11	33
Lettland	1,689	12	35
Griechenland	1,872	16	56

Quelle: Institute for Economics &amp; Peace 2020

## Langfristige Friedensvoraussetzungen

Ergänzend bietet sich eine längerfristige Betrachtung an, welche die Voraussetzungen für Frieden auf institutioneller, struktureller und Einstellungsebene in den Blick nimmt. Der Positive Peace Index (PPI) beschreibt diese Voraussetzungen als das Zusammenspiel von acht Dimensionen (Well-functioning government, equitable distribution of resources, free flow of information, good relations with neighbours, high levels of human capital, acceptance of the rights of others, low levels of corruption, sound business environment), für die insgesamt 24 Indikatoren erhoben werden, welche teilweise auch wichtige Indikatoren für die Erfassung des sozio-ökonomischen Niveaus sind (vgl. Abschnitt 2.1.3). Laut dem Positive Peace Report 2022 (siehe Institute for Economics & Peace 2022, S. 60f) sind insbesondere Länder, deren GPI-Index deutlich über den Werten des PPI liegen (sog. Positive Peace deficit) von Konflikten bedroht. Die Abwesenheit von entsprechenden strukturellen und institutionellen Rahmenbedingungen lässt diese Länder anfälliger für mögliche Schocks und Krisen sein (vgl. ebd. S. 4). Hohe Werte des PPI werden daher als eine Voraussetzung für eine längerfristige Stabilität gesehen.

Auf dieser Grundlage erscheinen insbesondere Jemen, Tschad, Libyen, aber auch Mauretanien, Niger, Mali, Äthiopien und Pakistan als potentiell risikobehaftet. Demgegenüber erscheinen neben westlichen Demokratien (Australien, Kanada, Vereinigte Staaten) verschiedene Länder auf allen Kontinenten denkbar, z. B. Oman, Argentinien, Chile, Brasilien, Mexiko, Botswana, Namibia, Mongolei, Kasachstan, China, Südafrika, Saudia-Arabien, Algerien oder Marokko (siehe Tabelle 10).

**Tabelle 10: Positive Peace Index**

Country	Positive Peace Index 2020	Rel. Rang Positive Peace Index	Absolut. Rang Positive Peace Index
<b>Ozeanien</b>			
Australien	1,394	2	8
<b>Amerika</b>			
Kanada	1,366	1	7
Vereinigte Staaten	1,95	3	24
Chile	2,147	4	32
Argentinien	2,632	5	45
Brasilien	2,98	10	63
Mexiko	3,123	15	76
Bolivien	3,277	18	93
<b>Afrika</b>			
Botsuana	2,686	6	48
Südafrika	2,925	9	58
Namibia	3,081	12	69
Marokko	3,177	17	80
Algerien	3,386	19	96
Ägypten	3,596	21	114
Äthiopien	3,737	23	131
Niger	3,766	24	133
Mali	3,844	25	137
Mauretanien	3,876	26	139
Lybien	4,097	28	152
Tschad	4,374	29	159
<b>Asien</b>			
Oman	2,866	7	55
Mongolei	2,922	8	57
China	3,004	11	66
Saudi-Arabien	3,158	16	79
Iran	3,567	20	108
Pakistan	3,736	22	130
Jemen	4,542	30	161
Russische Föderation	3,088	13	71
Kasachstan	3,118	14	75
Turkmenistan	3,889	27	140

Quelle: Institute for Economics &amp; Peace 2022

### 3.3.2 Entwicklungspolitische Ziele und Prioritäten

Neben den Kriterien für Stabilität und Verlässlichkeit ist zu prüfen, inwiefern die Auswahl von H<sub>2</sub>-Ländern in Einklang mit entwicklungspolitischen Prioritäten steht. Ohne Zweifel können langfristige bilaterale oder multilaterale Kooperationen für die Partnerländer eine wichtige stabilisierende und vertrauensbildende Wirkung haben. Für viele Länder stellt die Perspektive auf einen Zugang zum europäischen Markt einen starken Anreiz für Reformbemühungen dar (Borchert et al. 2021). Insbesondere für schwache Volkswirtschaften sowie für Länder in politischen Transformationsprozessen können Wasserstoff-Partnerschaften ein wichtiger Baustein für wirtschaftliche, soziale, ökologische und politische Entwicklungen sein. Um die Kongruenz mit entwicklungspolitischen Zielsetzungen zu fördern, erscheint es daher sinnvoll, die Möglichkeit von Wasserstoff-Kooperationen mit Ländern auszuloten, mit denen Deutschland eine langfristige entwicklungspolitische Zusammenarbeit vereinbart hat. Die zentrale strategische Grundlage hierfür bildet das im Jahr 2020 beschlossene *Reformkonzept BMZ 2030* (BMZ 2020), welches insgesamt 61 Partnerländer umfasst. Von diesen Ländern haben mehrere ein relevantes Potential für die Produktion von Wasserstoff: So bestehen bilaterale Partnerschaften mit Ägypten, Algerien, Mali, Namibia und Pakistan. Mit Marokko hat die deutsche Bundesregierung 2019 darüber hinaus eine sogenannte Reformpartnerschaft vereinbart, die auf eine besonders intensive und langfristige Kooperation abzielt. Daneben unterhält Deutschland insgesamt mehrere sogenannte Transformationspartnerschaften, um politische sowie ökonomische Transformationsprozesse in der EU-Nachbarschaft zu unterstützen. Von den insgesamt sieben Partnerländern in dieser Kategorie besitzt einzig die Ukraine ein relevantes Potential im Wasserstoff-Bereich. Schließlich können auch Lieferländer in Betracht gezogen werden, mit denen Deutschland im Rahmen von europäischen oder multilateralen Kooperationen zusammenarbeitet. Von diesen Ländern haben insbesondere Bolivien, Kasachstan und die Mongolei ein nennenswertes Potential für die Lieferung von Wasserstoff.

### 3.3.3 Sicherheitspolitische Perspektive

Schließlich gilt es auch die sicherheitspolitische Bedeutung potentieller Wasserstofflieferländer zu berücksichtigen. Kooperationen können helfen, Vertrauen aufzubauen, den politischen Dialog zu fördern und den Einfluss geopolitischer Konkurrenten wie Russland und China zu begrenzen (Stueber 2022). Die Bundesregierung überarbeitet aktuell ihre nationale Sicherheitsstrategie, die im Sommer 2022 veröffentlicht werden soll (Auswärtiges Amt 2022). Aller Voraussicht nach aber wird sich diese eng an der europäischen Sicherheitsstrategie aus dem Jahr 2016 sowie am kürzlich vorgelegten sicherheitspolitischen Kompass orientieren (Council of the EU 2022). In diesen Dokumenten stehen insbesondere die Länder in Europas südlicher und östlicher Nachbarschaft im Fokus. Mehrere nordafrikanische Staaten haben seit geraumer Zeit mit politischer Instabilität und Extremismus zu kämpfen. Gleichzeitig versuchen China, Russland und andere Staaten, dort ihren Einfluss auszubauen. Europäische Kooperationen im Wasserstoff-Bereich könnten hier eine bindende und stabilisierende Wirkung haben. In Frage kommen unter diesem Gesichtspunkt sowohl Algerien und Marokko als auch Ägypten. In der östlichen Nachbarschaft besitzt wie oben bereits ausgeführt nur die Ukraine ein relevantes Potential als Wasserstoff-Lieferland. Auch wenn die Ukraine voraussichtlich kurzfristig nicht als Lieferland für Wasserstoff in Betracht kommt, könnte eine Partnerschaft unter sicherheitspolitischen Gesichtspunkten mittel- bis langfristig durchaus angezeigt sein.

## 4 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

---

Für die Bewertung eines Landes als mögliches Wasserstoffexportland wird ein Kriterienset bestehend aus quantitativen wie auch qualitativen Kriterien angelegt. Die quantitative Analyse umfasst natürliche, technische, wirtschaftliche, sozio-institutionelle Faktoren sowie Umweltaspekte und Infrastrukturen. Qualitative Kriterien stellen auf bestehende Energiepartnerschaften, nationale Wasserstoff-Strategien und -Projektplanungen ab.

Die multikriterielle Analyse unter Verwendung von Gewichtungsfaktoren für die Kategorien weist insbesondere Industrieländer als mögliche Wasserstoff-Lieferländer aus. Eine Faktoranalyse zeigt jedoch, dass hinter den vier bis fünf letztgenannten Kategorien ein latenter Faktor steht.

Daher erfolgt unter einem mittelfristigen Betrachtungshorizont eine Zusammenfassung der Kriterien Umwelt, Infrastruktur, Wirtschaft und sozio-institutionellen Faktoren in einen aggregierten Faktor (Faktoranalyse). Diese Kriterien werden ergänzt um qualitative Kriterien wie das Vorhandensein von nationalen Wasserstoffstrategien und -projekten sowie Energiepartnerschaften. Diese signalisieren eine mögliche schnelle Entwicklung hin zu einem Wasserstofflieferanten. Die anschließende Auswertung unter Berücksichtigung der natürlich-technischen Bedingungen führt zu einer Länderauswahl, die aufgrund ihrer hohen Bewertung der aggregierten Faktoren und der qualitativen Kriterien letztendlich relativ kurzfristig Wasserstoff liefern könnten: Australien, Portugal, China, Saudi-Arabien, Kanada, Ägypten, USA, Brasilien, Chile, Algerien, Russland, Spanien.

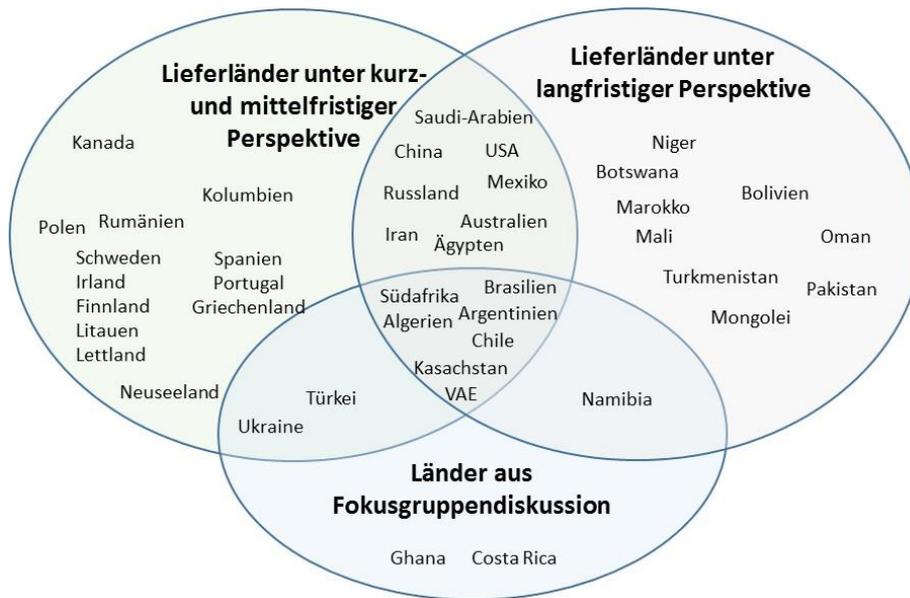
Bei Zugrundelegung eines langfristigen Zeithorizonts sind die natürlichen Potentiale stärker zu gewichten. Somit qualifizieren sich insbesondere Länder mit günstigen und guten natürlichen Potentialen. Sie müssen jedoch eine Mindestschwelle beim aggregierten Faktor erfüllen: Australien, Saudi-Arabien, China, Iran, Kasachstan, Chile, Argentinien, Ägypten, Algerien, Marokko, Namibia, Südafrika, Mali, Mexiko, Bolivien, Pakistan, Oman und Russland sowie mit Abstand Botswana.

Im Rahmen des expertenbasierten Vorgehens werden weitere Länder genannt, die bei der indikatorbasierten Analyse außen vor blieben. Dies sind die Türkei, Ghana und Costa Rica.

Bei Zusammenführung der aufgeführten Perspektiven ergeben sich verschiedene Schnittmengen zwischen den Perspektiven, die nachfolgend in Abbildung 9 dargestellt sind. Einige Länder wie Brasilien, Chile, Argentinien, sowie Algerien, Südafrika, Vereinigte Arabische Emirate und Kasachstan werden unter allen drei Perspektiven als mögliche Lieferländer identifiziert.

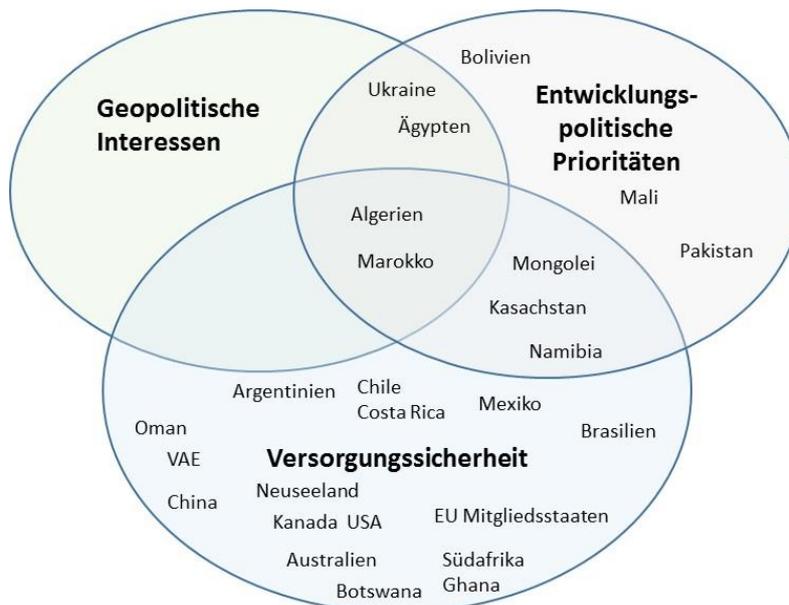
Mit Blick auf die neuesten Entwicklungen in Osteuropa, empfiehlt es sich, zusätzliche Kriterien aus Sicht der Bezugsländer aufzugreifen. Diese umfassen versorgungs-, entwicklungs- und geopolitische Prioritäten. Eine Ergänzung der durch Indikatoren und Fokusgruppen gestützten Auswahl um diese politischen Interessen ist in Abbildung 10 dargestellt. Sie verdeutlicht, dass hier insbesondere die MENA-Region eine mögliche Schwerpunktregion für Wasserstofflieferungen nach Deutschland und in die EU darstellen könnte.

**Abbildung 9: Lieferländer auf Basis der Indikatoren und Fokusgruppendiskussion**



Quelle: eigene Darstellung, Fraunhofer ISI

**Abbildung 10: Lieferländer unter Berücksichtigung politischer Prioritäten**



Quelle: eigene Darstellung, Fraunhofer ISI

Die letztliche Auswahl für vertiefende Analysen sollten sich an den Anforderungen der jeweiligen Analysen orientieren sowie eine breite Abdeckung nach Regionen und Entwicklungsstand der Länder geben und gleichzeitig berücksichtigen, welche Länder bereits als Exportländer identifiziert und ausführlich untersucht wurden.

## 5 Literaturverzeichnis

---

- Amid, A.; Mignard, D.; Wilkinson, M. (2016): Seasonal storage of hydrogen in a depleted natural gas reservoir. In: International Journal of Hydrogen Energy 41 (12), S. 5549–5558. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2016.02.036.
- Auswärtiges Amt (2022): Auf dem Weg zu einer Nationalen Sicherheitsstrategie. Artikel vom 18.03.2022. Online verfügbar unter <https://www.auswaertiges-amt.de/de/aussenpolitik/baerbock-nationale-sicherheitsstrategie/2518048>, zuletzt geprüft am 20.04.2022.
- Baker McKenzie (Hrsg.) (2021): The German National Hydrogen Strategy and international hydrogen partnerships. Berlin: Baker McKenzie. Online verfügbar unter <https://insightplus.bakermckenzie.com/bm/projects/germany-the-german-national-hydrogen-strategy-and-international-hydrogen-partnerships#:~:text=On%20this%20basis%2C%20Germany%20and>, zuletzt geprüft am 19.04.2022.
- BMBF (2021): Karliczek: Germany and Namibia form partnership for green hydrogen. Press release 25/08/2021, No. 172/2021. Berlin: BMBF. Online verfügbar unter [https://www.bmbf.de/bmbf/shareddocs/pressemitteilungen/de/2021/08/172\\_namibia\\_eng.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=1](https://www.bmbf.de/bmbf/shareddocs/pressemitteilungen/de/2021/08/172_namibia_eng.pdf?__blob=publicationFile&v=1), zuletzt geprüft am 19.04.2022.
- BMWi (2020): Energy Partnerships and Energy Dialogues. 2019 Annual Report. Berlin: BMWi. Online verfügbar unter [https://www.bmw.de/Redaktion/EN/Publikationen/Energie/annualreport-energy-partnerships-2019.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=3#:~:text=What%20countries%20have%20energy%20partnershipsand%20the%20United%20Arab%20Emirates](https://www.bmw.de/Redaktion/EN/Publikationen/Energie/annualreport-energy-partnerships-2019.pdf?__blob=publicationFile&v=3#:~:text=What%20countries%20have%20energy%20partnershipsand%20the%20United%20Arab%20Emirates), zuletzt geprüft am 19.04.2022.
- BMWi (2020): The National Hydrogen Strategy. Berlin: BMWi. Online verfügbar unter [https://www.bmw.de/Redaktion/EN/Publikationen/Energie/the-national-hydrogen-strategy.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=6](https://www.bmw.de/Redaktion/EN/Publikationen/Energie/the-national-hydrogen-strategy.pdf?__blob=publicationFile&v=6), zuletzt geprüft am 13.04.2022.
- BMWi (2021): Energiepartnerschaften und Energiedialoge. Jahresbericht 2020. Berlin: BMWi. Online verfügbar unter [https://www.bmw.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/jahresbericht-energiepartnerschaften-2020.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=4](https://www.bmw.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/jahresbericht-energiepartnerschaften-2020.pdf?__blob=publicationFile&v=4), zuletzt geprüft am 19.04.2022.
- BMWi (2021): Vorstellung der BMWi-Langfristszenarien. Video. Online verfügbar unter <https://www.bmw.de/Redaktion/DE/Videos/2021/20210625-Langfristszenarien/20210625-Langfristszenarien.html>, zuletzt geprüft am 13.04.2022.
- BMZ (2020): Reformkonzept „BMZ 2030“ (Stand: Juni 2020). Unsere Partnerländer – eine neue Qualität der Zusammenarbeit. Online verfügbar unter <https://www.bmz.de/de/entwicklungspolitik/reformkonzept-bmz-2030>, zuletzt geprüft am 20.04.2022.
- BMZ (2021): BMZ-Kernthemenstrategie: „Verantwortung für unseren Planeten – Klima und Energie“. BMZ-Strategie, BMZ-Papier 6. Berlin: Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung. Online verfügbar unter <https://www.bmz.de/resource/blob/93596/168173807e0c44aee2b6d7dbc31774c/bmz-kernthemenstrategie-klima-energie.pdf>, zuletzt geprüft am 13.04.2022.
- Borchert, I.; Conconi, P.; Di Ubaldo, M.; Herghelegiu, C. (2021): The Pursuit of Non-Trade Policy Objectives in EU Trade Policy. World Trade Review, 20(5), 623-647. doi:10.1017/S1474745621000070.
- Bossuyt, F.; Orbie, J.; Drieghe, L. (2020): EU external policy coherence in the trade-foreign policy nexus: foreign policy through trade or strictly business? Journal of International Relations and Development, 23(1), 45-66.
- Bundesamt für Naturschutz (Hrsg.) (2020): Erneuerbare Energien Report. Die Energiewende naturverträglich gestalten! Mit Beiträgen von Balzer, S. et al. Bonn: BfN. Online verfügbar unter [https://www.bfn.de/sites/default/files/2021-04/BfN\\_Erneuerbare\\_Energien\\_Report\\_2019\\_barrierefrei.pdf](https://www.bfn.de/sites/default/files/2021-04/BfN_Erneuerbare_Energien_Report_2019_barrierefrei.pdf), zuletzt geprüft am 19.04.2022.
- Bündnis Entwicklung Hilft (2021): WorldRiskReport 2021. Bündnis Entwicklung Hilft, Ruhr Universität Bochum – IFHV. Online verfügbar unter <https://weltrisikobericht.de/weltrisikobericht-2021-e/>, zuletzt geprüft am 19.04.2022.

- CIA (2019): The World Factbook. Pipelines. Online verfügbar unter <https://www.cia.gov/the-world-factbook/field/pipelines/>, zuletzt aktualisiert am 2019, zuletzt geprüft am 24.09.2021.
- CIA (2022): The World Factbook. Airports. Online verfügbar unter <https://www.cia.gov/the-world-factbook/field/airports/country-comparison>, zuletzt aktualisiert am 17.02.2022, zuletzt geprüft am 21.02.2022.
- CIA (o. J.): The World Factbook. Area. Online verfügbar unter <https://www.cia.gov/the-world-factbook/field/area/country-comparison>, zuletzt geprüft am 24.09.2021.
- Civan, F. (2004): Natural Gas Transportation and Storage. In: Cutler J. Cleveland (Hg.): Encyclopedia of energy. Amsterdam: Elsevier Acad. Press, S. 273–282. Online verfügbar unter <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B012176480X00276X>.
- Council of the EU (2022): Press release 21 March 2022: A Strategic Compass for a stronger EU security and defence in the next decade. European Council, Council of the European Union. Online verfügbar unter <https://www.consilium.europa.eu/en/press/press-releases/2022/03/21/a-strategic-compass-for-a-stronger-eu-security-and-defence-in-the-next-decade/>, zuletzt geprüft am 20.04.2022.
- Damkjaer, S.; Taylor, R. (2017): The measurement of water scarcity: Defining a meaningful indicator. *Ambio* 2017, 46:513-531, Springer. DOI 10.1007/s13280-017-0912-z.
- Damodaran, A., (2016): Country Risk: Determinants, Measures and Implications The 2016 Edition. SSRN Journal. <https://doi.org/10.2139/ssrn.2812261>.
- Dena (o. J.): Transnational cooperation for the global energy transition. Bilateral energy cooperative agreements. Berlin: Dena. Online verfügbar unter <https://www.dena.de/en/our-place-in-the-energy-transition/international-energy-transition/bilateral-energy-cooperative-agreements/>, zuletzt geprüft am 20.04.2022.
- EPI (2020): Performance Environmental Index 2020. Global metrics for the environment: Ranking country performance on sustainability issues.
- European Commission (2020): Global Energy and Climate Outlook 2020: Energy, Greenhouse gas and Air pollutant emissions balances. European Commission, Joint Research Centre (JRC). Online verfügbar unter <http://data.europa.eu/89h/1750427d-afd9-4a10-8c54-440e764499e4>, zuletzt geprüft am 19.04.2022.
- GitHub (Hg.) (2021): eurostat/searoute: Compute shortest maritime routes between ports. Online verfügbar unter <https://github.com/eurostat/searoute>, zuletzt aktualisiert am 16.02.2022, zuletzt geprüft am 16.02.2022.
- Hofste, R.; Kuzma, S.; Walker, S.; Sutanudjaja, E.H. et al. (2019). Aqueduct 3.0: Updated Decision-Relevant Global Water Risk Indicators. Technical Note. Washington, DC: World Resources Institute. <https://doi.org/10.46830/writn.18.00146>.
- HYPAT (2022): Krieg in der Ukraine: Auswirkungen auf die europäische und deutsche Importstrategie von Wasserstoff und Syntheseprodukten. Impulspapier. Karlsruhe: Fraunhofer ISI (Hrsg.). Online verfügbar unter [https://www.isi.fraunhofer.de/content/dam/isi/dokumente/cce/2022/2022-03-21\\_HyPAT\\_Impulspapier\\_Ukraine.pdf](https://www.isi.fraunhofer.de/content/dam/isi/dokumente/cce/2022/2022-03-21_HyPAT_Impulspapier_Ukraine.pdf), zuletzt geprüft am 20.04.2022.
- HySA Infrastructure (o. J.): Webseite von HySA Infrastructure. HySA Infrastructure / Hydrogen South Africa. Online verfügbar unter <https://hysainfrastructure.com/>, zuletzt geprüft am 19.04.2022
- IEA (2018): World Energy Outlook 2018. Online verfügbar unter <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2018>, zuletzt aktualisiert am 11.02.2022, zuletzt geprüft am 11.02.2022.
- Institute for Economics & Peace (2020): Global Peace Index 2020: Measuring Peace in a Complex World. Online verfügbar unter [https://www.visionofhumanity.org/wp-content/uploads/2020/10/GPI\\_2020\\_web.pdf](https://www.visionofhumanity.org/wp-content/uploads/2020/10/GPI_2020_web.pdf), zuletzt geprüft am 19.04.2022.
- Institute for Economics & Peace (2022): Positive Peace Report 2022: Analysing the factors that build, predict and sustain peace. Online verfügbar unter <https://www.visionofhumanity.org/wp-content/uploads/2022/02/PPR-2022-web-1.pdf>, zuletzt geprüft am 20.04.2022.
- IPPR (2021): Namibia QER Q4 2021. Namibia Quarterly Economic Review October–December 2021. Online verfügbar unter <https://ippr.org.na/wp-content/uploads/2022/01/Namibia-QER-2021-Q4-final-1.pdf>, <https://www.arabnews.com/node/1970821/middle-east>, zuletzt geprüft am 19.04.2022.

- IRENA (2021): Renewable Capacity Statistics 2021. International Energy Agency. Online verfügbar unter [https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2021/Apr/IRENA\\_RE\\_Capacity\\_Statistics\\_2021.pdf](https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2021/Apr/IRENA_RE_Capacity_Statistics_2021.pdf), zuletzt geprüft am 19.04.2022.
- IUCN (o. J.): Protected Area Categories. Online verfügbar unter <https://www.iucn.org/theme/protected-areas/about/protected-area-categories>, zuletzt geprüft am 20.04.2022.
- Lattemann, S. (2010): Development of an environmental impact assessment and decision support system for seawater desalination plants. PhD thesis, Delft University of Technology oder UNEP/MAP/MED POL (2003) Sea Water Desalination in the Mediterranean. Assessment and Guidelines, MAP Technical Reports Series, 139.
- Luderer, G.; Kost, C.; Sörgel, D. (Hrsg.) (2021): Ariadne-Report: Deutschland auf dem Weg zur Klimaneutralität 2045 – Szenarien und Pfade im Modellvergleich. Potsdam Institute for Climate Impact Research. <https://doi.org/10.48485/pik.2021.006>
- OpenStreetMap Foundation (Hg.) (2019): Open Infrastructure Map. Online verfügbar unter <https://openinframap.org/#5/30.35/4.55/O>, zuletzt aktualisiert am 08.04.2019, zuletzt geprüft am 08.02.2022.
- PAC Paris Agreement Compatible Scenarios for Energy Infrastructure (2020): PAC Co-creation Report. Online verfügbar unter [https://www.pac-scenarios.eu/fileadmin/user\\_upload/PAC\\_cocreation\\_report\\_2020.pdf](https://www.pac-scenarios.eu/fileadmin/user_upload/PAC_cocreation_report_2020.pdf), zuletzt geprüft am 13.04.2022
- Ports.com (2021): World seaports catalogue, marine and seaports marketplace. Online verfügbar unter <http://ports.com/>, zuletzt aktualisiert am 22.10.2021, zuletzt geprüft am 22.10.2021.
- Roa, I.; Peña, Y.; Amante, B.; Goretti, M. (2013): Ports: Definition and study of types, sizes and business models. In: Journal of Industrial Engineering and Management 6 (4), S. 1055–1064. <http://dx.doi.org/10.3926/jiem.770>.
- Stueber, J. (2022): The Trade-Security Nexus in EU External Action. A Practice Approach. Springer Nature Switzerland AG. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-90796-9>.
- The World Bank (2019): Chemicals Imports by World 2019. Online verfügbar unter [https://wits.worldbank.org/CountryProfile/en/Country/WLD/Year/2019/TradeFlow/Export/Partner/all/Product/28-38\\_Chemicals](https://wits.worldbank.org/CountryProfile/en/Country/WLD/Year/2019/TradeFlow/Export/Partner/all/Product/28-38_Chemicals), zuletzt geprüft am 20.04.2022.
- The World Bank (2018): Connecting to Compete 2018 Trade Logistics in the Global Economy. The Logistics Performance Index and Its Indicators.
- U.S. Department of Transportation (2020): Frequently Asked Questions. What is a deepwater port? Online verfügbar unter <https://www.maritime.dot.gov/ports/deepwater-ports-and-licensing/frequently-asked-questions#Question1>, zuletzt aktualisiert am 03.02.2022, zuletzt geprüft am 03.02.2022.
- U.S. Energy Information Administration (Hg.) (2021): Natural gas reserves. Online verfügbar unter <https://www.eia.gov/international/data/country/ARG/natural-gas/dry-natural-gas-reserves?pd=3002&p=00000000000000000004&u=0&f=A&v=mapbubble&a=-&i=none&vo=value&t=C&g=none&l=249-ruvvvvfvtnvv1vrvvvvfvvvvvfvvvou20evvvvvvvvvvuvvs0008&s=1388534400000&e=1609459200000&vb=102&ev=true>, zuletzt geprüft am 08.02.2022.
- United Nations (2019): World Population Prospects 2019, Online Edition. Rev. 1. United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division. Online verfügbar unter <https://population.un.org/wpp/Download/Standard/Population/>, zuletzt geprüft am 19.04.2022.
- United Nations (o. J.): Methodology. Standard country or area codes for statistical use (M49). Overview. Online verfügbar unter <https://unstats.un.org/unsd/methodology/m49/overview/>, zuletzt geprüft am 19.04.2022.
- United States Government (2019): World Port Index 2019 (27). Online verfügbar unter <https://msi.nga.mil/Publications/WPI>, zuletzt geprüft am 25.05.2021.
- Wang, A.; Jens, J.; Mavins, D.; Moultak, M.; Schimmel, M.; van der Leun, K. et al. (2021): European Hydrogen Backbone. Analysing future demand, supply, and transport of hydrogen. Hg. v. Gas for Climate. Creos, DESFA, Elering, Enagás, Energinet, Eustream, FGSZ, Fluxys Belgium, Gas Connect. June 2021. Online

verfügbar unter [https://gasforclimate2050.eu/wp-content/uploads/2021/06/EHB\\_Analysing-the-future-demand-supply-and-transport-of-hydrogen\\_June-2021\\_v3.pdf](https://gasforclimate2050.eu/wp-content/uploads/2021/06/EHB_Analysing-the-future-demand-supply-and-transport-of-hydrogen_June-2021_v3.pdf), zuletzt geprüft am 02.10.2021

Wendling, Z.A.; Emerson, J.W.; de Sherbinin, A.; Esty, D.C. et al. (2020): 2020 Environmental Performance Index, New Haven, CT: Yale Center for Environmental Law & Policy. Online verfügbar unter <https://epi.yale.edu/>, zuletzt geprüft am 19.03.2022.

World Bank (2019): Container port traffic. TEU: 20 foot equivalent units. Online verfügbar unter <https://data.worldbank.org/indicator/IS.SHP.GOOD.TU>, zuletzt aktualisiert am 03.02.2022, zuletzt geprüft am 03.02.2022.

World Economic Forum (2017): The Global Competitiveness Report. Chapter 2. Online verfügbar unter [https://www3.weforum.org/docs/GCR2017-2018/02Chapters/TheGlobalCompetitivenessReport2017%E2%80%932018\\_Chapter2.pdf](https://www3.weforum.org/docs/GCR2017-2018/02Chapters/TheGlobalCompetitivenessReport2017%E2%80%932018_Chapter2.pdf), zuletzt geprüft am 19.04.2022.

World Economic Forum (2019): Global Competitiveness Report 2019. Online verfügbar unter [http://www3.weforum.org/docs/WEF\\_TheGlobalCompetitivenessReport2019.pdf](http://www3.weforum.org/docs/WEF_TheGlobalCompetitivenessReport2019.pdf), zuletzt geprüft am 25.05.2021.

World Energy Council (2021): Working Paper. National Hydrogen Strategies. World Energy Council London, in collaboration with EPRI and PwC. Online verfügbar unter [https://www.worldenergy.org/assets/downloads/Working\\_Paper\\_-\\_National\\_Hydrogen\\_Strategies\\_-\\_September\\_2021.pdf](https://www.worldenergy.org/assets/downloads/Working_Paper_-_National_Hydrogen_Strategies_-_September_2021.pdf), zuletzt geprüft am 19.04.2022.

WWF (2008): Internationale Schutzgebiets-Kategorien der IUCN. Hintergrundinformationen November 2008. Frankfurt: WWF Deutschland. Online verfügbar unter [https://www.wwf.de/fileadmin/fm-wwf/Publikationen-PDF/IUCN\\_Schutzgebietskriterien.pdf](https://www.wwf.de/fileadmin/fm-wwf/Publikationen-PDF/IUCN_Schutzgebietskriterien.pdf), zuletzt geprüft am 19.04.2022.

## 6 **Abbildungsverzeichnis**

---

Abbildung 1: Berücksichtigte sozio-institutionelle Rahmenbedingungen für eine erfolgreiche Wasserstoffwirtschaft.....	18
Abbildung 2: Aufbau der gewählten Indikatoren für sozio-institutionelle Rahmenbedingungen .....	21
Abbildung 3: Ausschnitt aus dem Frontend-Bereich des Analysetools (eine vergrößerte und umfassende Übersicht findet sich im Anhang A.1.4) .....	34
Abbildung 4: Ergebnis der Umfrage der Teilnehmenden zur Gewichtung der Kategorien (n=16) .....	36
Abbildung 5: Nettopotentiale erneuerbarer Stromerzeugung nach Kostenschwelle .....	38
Abbildung 6: Verfügbare Wasserressourcen in m <sup>3</sup> /Kopf und Jahr (2017).....	39
Abbildung 7: Zusammenfassung der gezählten 20 Spitzenländer im Bereich je Subkategorie .....	41
Abbildung 8: Ergebnis der Faktoranalyse.....	44
Abbildung 9: Lieferländer auf Basis der Indikatoren und Fokusgruppendifkussion.....	55
Abbildung 10: Lieferländer unter Berücksichtigung politischer Prioritäten .....	55
Abbildung 11: Gewichtungsfragen .....	67

## 7 Tabellenverzeichnis

---

Tabelle 1:	Indizes politischer (In-)Stabilität .....	11
Tabelle 2:	Gewählte Indikatoren für sozio-institutionelle Rahmenbedingungen. WGI: WorldBank Governance Indicators; GII: Global Innovation Index; GQII: Global Quality Infrastructure Index .....	18
Tabelle 3:	Exportanbindung nach Europa und Deutschland per Rohrleitung: Ordinalskala mit qualitativen Merkmalen der Rangzahlen .....	24
Tabelle 4:	Statistik der wirtschaftlichen Indikatoren .....	30
Tabelle 5:	Überblick über Indikatoren und ihre Zuordnung in Unterkategorien im Auswertungstool .....	30
Tabelle 6:	Korrelation zwischen den Indikatoren auf Ebene der Kategorien (n=183) .....	43
Tabelle 7:	Überblick über potentielle Exportländer unter mittelfristiger Perspektive .....	45
Tabelle 8:	Überblick über potentielle Lieferländer unter einer langfristigen Perspektive .....	47
Tabelle 9:	Global Peace Index .....	50
Tabelle 10:	Positive Peace Index .....	52

## Appendix

### A.1 Ergänzende Informationen zum Vorgehen

#### A.1.1 Mindestvoraussetzung: Länder/Territorien mit weniger als 100 TWh Netto-EE-Potential mit Kosten über 70 Euro/MWh im Jahr 2050

Country	ISO3	Country	ISO3	Country	ISO3	Country	ISO3
Abyei	XU	Cyprus	CYP	Jersey	JEY	Saint Kitts and Nevis	KNA
Albania	ALB	Czechia, Czech Republic	CZE	Kiribati	KIR	Saint Lucia	LCA
American Samoa	ASM	Dominica	DMA	Korea, Republic of (South Korea)	KOR	Saint Pierre and Miquelon	SPM
Andorra	AND	El Salvador	SLV	Lebanon	LBN	Saint Vincent and The Grenadines	VCT
Anguilla	AIA	Equatorial Guinea	GNQ	Liechtenstein	LIE	Samoa	WSM
Antigua and Barbuda	ATG	Estonia	EST	Luxembourg	LUX	San Marino	SMR
Armenia	ARM	Eswatini	SWZ	Malaysia	MYS	São Tomé and Príncipe	STP
Aruba	ABW	Faroese	FRO	Maldives	MDV	Seychelles	SYC
Arunachal Pradesh	XD	Fiji	FJI	Malta	MLT	Singapore	SGP
Austria	AUT	French Guiana	GUF	Martinique	MTQ	Slovakia	SVK
Bahamas	BHS	French Polynesia	PYF	Mauritius	MUS	Slovenia	SVN
Bahrain	BHR	French Southern and Antarctic Lands	ATF	Mayotte	MYT	Solomon Islands	SLB
Bangladesh	BGD	Gambia	GMB	Micronesia	FSM	South Georgia and The South Sandwich Islands	SGS
Barbados	BRB	Germany	DEU	Moldova	MDA	Sri Lanka	LKA
Belgium	BEL	Grenada	GRD	Montenegro	MNE	Suriname	SUR
Belize	BLZ	Guadeloupe	GLP	Montserrat	MSR	Svalbard and Jan Mayen	SJM
Bermuda	BMU	Guam	GUM	Netherlands	NLD	Switzerland	CHE
Bonaire, Sint Eustatius and Saba	BES	Guatemala	GTM	New Caledonia	NCL	Thailand	THA
Bosnia and Herzegovina	BIH	Guernsey	GGY	Niue	NIU	Timor-Leste	TLS
British Virgin Islands	VGB	Guyana	GUY	Norfolk Island	NFK	Tonga	TON
Brunei Darussalam	BRN	Haiti	HTI	North Macedonia	MKD	Trinidad and Tobago	TTO
Burundi	BDI	Hong Kong	HKG	Northern Mariana Islands	MNP	Turks and Caicos Islands	TCA
Cape Verde	CPV	Hungary	HUN	Palau	PLW	United Kingdom	GBR
Cayman Islands	CYM	Ilemi Triangle	XG	Palestine	PSE	Us Virgin Islands	VIR
Chinese Taipei (Taiwan)	TWN	India	IND	Panama	PAN	Vanuatu	VUT
Christmas Island	CXR	Indonesia	IDN	Philippines	PHL	Venezuela	VEN

Country	ISO3	Country	ISO3	Country	ISO3	Country	ISO3
Comoros	COM	Isle of Man	IMN	Puerto Rico	PRI	Vietnam	VNM
Costa Rica	CRI	Italy	ITA	Reunion	REU	Wallis and Futuna	WLF
Croatia	HRV	Jamaica	JAM	Rwanda	RWA		
Curaçao	CUW	Japan	JPN	Saint Helena, Ascension and Tristan Da Cunha	SHN		

## A.1.2 Indikator-basierter Ansatz

Appendix A Infrastruktur: Liste mit KO-Ländern mit weniger als 10.000 km<sup>2</sup> Fläche. Diese Länder wurden nicht berücksichtigt für die nationale Flughafendichte und Rangfolge der TOP 15 Länder innerhalb der Infrastruktursubkategorien.

Land	ISO 3 Code	ISO 2 Code	Fläche [km2]
San Marino	SMR	SM	61
Marshallinseln	MHL	MH	181
Kiribati	KIR	KI	186
Bahrain	BHR	BH	187
Dominica	DMA	DM	188
Tonga	TON	TO	189
Singapur	SGP	SG	190
Andorra	AND	AD	195
Palau	PLW	PW	197
Seychellen	SYC	SC	198
Barbados	BRB	BB	201
Grenada	GRD	GD	207
Malta	MLT	MT	208
Malediven	MDV	MV	209
Liechtenstein	LIE	LI	218
Tuvalu	TUV	TV	237
Nauru	NRU	NR	239
Monaco	MCO	MC	254
St. Kitts Nevis	KNA	KN	261
St. Vincent und die Grenadinen	VCT	VC	389
Antigua und Barbuda	ATG	AG	443
St. Lucia	LCA	LC	616
Mikronesien	FSM	FM	702
São Tomé und Príncipe	STP	ST	964
Mauritius	MUS	MU	2,220
Komoren	COM	KM	2,414
Luxemburg	LUX	LU	2,764

Land	ISO 3 Code	ISO 2 Code	Fläche [km2]
Samoa	WSM	WS	3,008
Kap Verde	CPV	CV	4,033
Trinidad und Tobago	TTO	TT	5,128
Brunei	BRN	BN	5,937
Republik Zypern	CYP	CY	9,420

**Fehler! Keine gültige Verknüpfung.Fehler! Keine gültige Verknüpfung.Fehler! Keine gültige Verknüpfung.**

Appendix E Infrastruktur: Rangliste der 20 besten Länder in der Subkategorie Logistik<sup>19</sup>

Rang	Flughafendichte	Zoll	Infrastruktur	Internationale Lieferungen	Qualität und Kompetenz in der Logistik
1	BHS	AUS	USA	ARE	NZL
2	CRI	USA	ARE	QAT	ARE
3	GTM	NZL	NZL	CHN	CAN
4	JAM	ARE	AUS	ZAF	USA
5	BLZ	CAN	CHN	USA	AUS
6	PRY	NOR	CAN	NOR	NOR
7	ISR	ISR	NOR	NZL	CHN
8	GBR	CHN	QAT	RWA	QAT
9	PAN	CHL	ISR	CAN	ISR
10	ECU	ZAF	TUR	PAN	PAN
11	FJI	QAT	CHL	OMN	CIV
12	USA	OMN	ZAF	CHL	ZAF
13	PNG	PAN	OMN	AUS	CHL
14	CUB	ECU	PAN	CIV	BRA
15	NIC	CIV	SAU	COL	OMN
16	LBN	MEX	KWT	MEX	TUR
17	URY	KGZ	BRA	TUR	MEX
18	DOM	KWT	CIV	ZMB	COL
19	COL	STP	MEX	SAU	SAU
20	PRK	TUR	EGY	ARG	BHR

<sup>19</sup> Länder mit einer Landesfläche kleiner 10.000 km<sup>2</sup> (Appendix A) oder potentielle Nettoimportländer erneuerbarer Energien (Japan, Südkorea, Thailand, Vietnam, Indonesien, Malaysia, Indien, EU) sind in dieser Liste nicht berücksichtigt.

Appendix F Infrastruktur: Rangliste der 20 besten Länder in der Subkategorie Versorgungsleistungen<sup>20</sup>

Rang	Versorgungsqualität	Stromanschluss	Verlässlichkeit der Wasserversorgung	Abfallentsorgung
1	BHR	CHL	ISR	NOR
2	CHL	ISR	AUS	AUS
3	ISR	CHN	CZE	NZL
4	CHN	KAZ	BHR	CAN
5	KAZ	AUS	CAN	USA
6	AUS	USA	USA	ISR
7	USA	QAT	CHL	LVA
8	BRN	GEO	NZL	ARE
9	QAT	NOR	ARE	CHL
10	LVA	NZL	URY	KWT
11	GEO	ARE	CRI	JOR
12	NOR	GBR	SAU	BLR
13	NZL	AZE	QAT	COL
14	ARE	RUS	OMN	MEX
15	GBR	JOR	RUS	CRI
16	SAU	UKR	KWT	ARM
17	ZAF	CAN	BRN	ARG
18	COL	ARM	ARG	BRA
19	OMN	KWT	NAM	BHR
20	AZE	MEX	AZE	ECU

<sup>20</sup> Länder mit einer Landesfläche kleiner 10.000 km<sup>2</sup> (Appendix A) oder potentielle Nettoimportländer erneuerbarer Energien (Japan, Südkorea, Thailand, Vietnam, Indonesien, Malaysia, Indien, EU) sind in dieser Liste nicht berücksichtigt.

## A.1.3 Expertenbasierter Ansatz

### Abbildung 11: Gewichtungsfragen

#### Mentimeter: Questions for M1.1 and M1.2



1. please indicate how you would weight the following categories (total should be 100):
  - technical-natural resources,
  - economic aspects,
  - infrastructure,
  - socio-institutional
  - environmental aspects
2. please indicate how you would weight the following sub-categories of technical-natural resources (total should be 100)?
  - renewable energy potential
  - further natural indicators (natural risks, solar seasonality)
  - technological readiness (renewables, chemical industry, technology)
3. please indicate how you would weight the following sub-categories of environmental aspects (total should be 100)?
  - waste
  - waste water
  - emissions
  - biodiversity
  - water
4. please indicate how you would weight the following sub-categories of infrastructure (total should be 100):
  - ports
  - pipelines
  - transport distance to Germany
  - logistics
  - utilities
5. please indicate how you would weight the following sub-categories of socio-institutional aspects (total should be 100)?
  - general institutional framework (WGI indicators)
  - energy policies
  - knowledge base (standards, certifications, business sophistication, human capital & research)
6. please indicate how you would weight the following sub-categories of economic aspects (total should be 100)?
  - market
  - labour market
  - financial system
  - investment freedom
  - international trade relations
  - income inequality
  - wages
  - equity risk

### A.1.4 Übersicht über Struktur des Analysetools

Bereich		Overall country performance	
Gewichtung		50	
<b>Humanindikator</b>	<b>Natural and technical</b>	<b>1.0</b>	
<b>Umweltindikator</b>	<b>Environmental</b>	<b>1.0</b>	
<b>Strukturindikator</b>	<b>Infrastructure</b>	<b>1.0</b>	
<b>Sozialindikator</b>	<b>Socio-Institutional</b>	<b>1.0</b>	
<b>Wirtschaftsindikator</b>	<b>Economic and financial</b>	<b>1.0</b>	
<b>Subindikator</b>	<b>RE potential</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>Future Technological Readiness</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>Non-Publicly Available Information</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>Ports</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>Logistics</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>Utilities</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>General institutional framework</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>Energy knowledge base</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>Product market score</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>Labour market score</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>Financial system score</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>Investment freedom index</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>WTO membership</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>Gini coefficient</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>Minimum Wage</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>Equity Risk Premium</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>World Risk Index: exocuse</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>World bank: chemical exports</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>IRENA: installed RE</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>EPI: waste management/controlled</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>EPI: water resources</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>EPI: pollution emissions</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>EPI: biodiversity &amp; habitat</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>EPI: ecosystem services</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>UN Water SDG 6 Data Portal: renewable water</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>WR: Aqueduct Country Rankings: Drought Risk</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>WR: Aqueduct Water Risk Atlas: Baseline</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>Deep water port density</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>Oil/UNG terminals handling capacity</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>pipeline density inland</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>gas storage reserves</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>export connection to Europe</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>maritime distance</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>land distance</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>customs</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>infrastructure</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>air port density</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>international shipments</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>logistics quality and competence</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>electricity supply quality (losses)</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>reliability of water supply</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>waste management</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>WGI political stability</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>WGI government effectiveness</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>WGI rule of law</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>WGI voice and accountability</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>WGI regulatory quality</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>WGI control of corruption</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>Signatories of the International Energy WorldBank RISE</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>Renewable energy policies</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>GII human capital and research</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>GII business sophistication</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>Global quality infrastructure index (GQII)</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>Product market score</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>Labour market score</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>Financial system score</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>Investment freedom index</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>WTO membership</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>Gini coefficient</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>Minimum Wage</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>Equity Risk Premium</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>World Risk Index: exocuse</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>World bank: chemical exports</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>IRENA: installed RE</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>EPI: waste management/controlled</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>EPI: water resources</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>EPI: pollution emissions</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>EPI: biodiversity &amp; habitat</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>EPI: ecosystem services</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>UN Water SDG 6 Data Portal: renewable water</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>WR: Aqueduct Country Rankings: Drought Risk</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>WR: Aqueduct Water Risk Atlas: Baseline</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>Deep water port density</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>Oil/UNG terminals handling capacity</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>pipeline density inland</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>gas storage reserves</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>export connection to Europe</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>maritime distance</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>land distance</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>customs</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>infrastructure</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>air port density</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>international shipments</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>logistics quality and competence</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>electricity supply quality (losses)</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>reliability of water supply</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>waste management</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>WGI political stability</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>WGI government effectiveness</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>WGI rule of law</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>WGI voice and accountability</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>WGI regulatory quality</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>WGI control of corruption</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>Signatories of the International Energy WorldBank RISE</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>Renewable energy policies</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>GII human capital and research</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>GII business sophistication</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>Global quality infrastructure index (GQII)</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>Product market score</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>Labour market score</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>Financial system score</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>Investment freedom index</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>WTO membership</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>Gini coefficient</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>Minimum Wage</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>Equity Risk Premium</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>World Risk Index: exocuse</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>World bank: chemical exports</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>IRENA: installed RE</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>EPI: waste management/controlled</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>EPI: water resources</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>EPI: pollution emissions</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>EPI: biodiversity &amp; habitat</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>EPI: ecosystem services</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>UN Water SDG 6 Data Portal: renewable water</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>WR: Aqueduct Country Rankings: Drought Risk</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>WR: Aqueduct Water Risk Atlas: Baseline</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>Deep water port density</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>Oil/UNG terminals handling capacity</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>pipeline density inland</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>gas storage reserves</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>export connection to Europe</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>maritime distance</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>land distance</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>customs</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>infrastructure</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>air port density</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>international shipments</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>logistics quality and competence</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>electricity supply quality (losses)</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>reliability of water supply</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>waste management</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>WGI political stability</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>WGI government effectiveness</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>WGI rule of law</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>WGI voice and accountability</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>WGI regulatory quality</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>WGI control of corruption</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>Signatories of the International Energy WorldBank RISE</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>Renewable energy policies</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>GII human capital and research</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>GII business sophistication</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>Global quality infrastructure index (GQII)</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>Product market score</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>Labour market score</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>Financial system score</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>Investment freedom index</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>WTO membership</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>Gini coefficient</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>Minimum Wage</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>Equity Risk Premium</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>World Risk Index: exocuse</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>World bank: chemical exports</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>IRENA: installed RE</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>EPI: waste management/controlled</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>EPI: water resources</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>EPI: pollution emissions</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>EPI: biodiversity &amp; habitat</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>EPI: ecosystem services</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>UN Water SDG 6 Data Portal: renewable water</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>WR: Aqueduct Country Rankings: Drought Risk</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>WR: Aqueduct Water Risk Atlas: Baseline</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>Deep water port density</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>Oil/UNG terminals handling capacity</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>pipeline density inland</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>gas storage reserves</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>export connection to Europe</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>maritime distance</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>land distance</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>customs</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>infrastructure</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>air port density</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>international shipments</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>logistics quality and competence</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>electricity supply quality (losses)</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>reliability of water supply</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>waste management</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>WGI political stability</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>WGI government effectiveness</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>WGI rule of law</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>WGI voice and accountability</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>WGI regulatory quality</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>WGI control of corruption</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>Signatories of the International Energy WorldBank RISE</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>Renewable energy policies</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>GII human capital and research</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>GII business sophistication</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>Global quality infrastructure index (GQII)</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>Product market score</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>Labour market score</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>Financial system score</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>Investment freedom index</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>WTO membership</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>Gini coefficient</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>Minimum Wage</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>Equity Risk Premium</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>World Risk Index: exocuse</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>World bank: chemical exports</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>IRENA: installed RE</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>EPI: waste management/controlled</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>EPI: water resources</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>EPI: pollution emissions</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>EPI: biodiversity &amp; habitat</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>EPI: ecosystem services</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>UN Water SDG 6 Data Portal: renewable water</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>WR: Aqueduct Country Rankings: Drought Risk</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>WR: Aqueduct Water Risk Atlas: Baseline</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>Deep water port density</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>Oil/UNG terminals handling capacity</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>pipeline density inland</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>gas storage reserves</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>export connection to Europe</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>maritime distance</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>land distance</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>customs</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>infrastructure</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>air port density</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>international shipments</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>logistics quality and competence</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>electricity supply quality (losses)</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>reliability of water supply</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>waste management</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>WGI political stability</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>WGI government effectiveness</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>WGI rule of law</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>WGI voice and accountability</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>WGI regulatory quality</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>WGI control of corruption</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>Signatories of the International Energy WorldBank RISE</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>Renewable energy policies</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>GII human capital and research</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>GII business sophistication</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>Global quality infrastructure index (GQII)</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>Product market score</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>Labour market score</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>Financial system score</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>Investment freedom index</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>WTO membership</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>Gini coefficient</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>Minimum Wage</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>Equity Risk Premium</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>World Risk Index: exocuse</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>World bank: chemical exports</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>IRENA: installed RE</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>EPI: waste management/controlled</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>EPI: water resources</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>EPI: pollution emissions</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>EPI: biodiversity &amp; habitat</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>EPI: ecosystem services</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>UN Water SDG 6 Data Portal: renewable water</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>WR: Aqueduct Country Rankings: Drought Risk</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>WR: Aqueduct Water Risk Atlas: Baseline</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>Deep water port density</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>Oil/UNG terminals handling capacity</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>pipeline density inland</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>gas storage reserves</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>export connection to Europe</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>maritime distance</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>land distance</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>customs</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>infrastructure</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>air port density</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>international shipments</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>logistics quality and competence</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>electricity supply quality (losses)</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>reliability of water supply</b>		
<b>Subindikator</b>	<b>waste management</b>		
<			

## A.2 Ergänzende Informationen zu den Ergebnissen

### A.2.1 Ranking der sozio-institutionellen Kategorie

Land	Ranking Kategorie gesamt	Ranking institu- tionelles Umfeld	Ranking Energiepolitik	Ranking Wissensstatus
Schweiz	1	4	4	3
Dänemark	2	2	2	9
Deutschland	3	10	1	7
Finnland	4	1	8	5
Großbritannien	5	13	3	11
Österreich	6	16	13	12
Frankreich	7	19	5	13
Australien	8	12	11	17
Japan	9	17	16	15
Norwegen	10	3	19	20
Belgien	11	20	6	14
Irland	12	15	9	19
Spanien	13	25	7	24
Portugal	14	24	17	31
Ungarn	15	44	10	29
Griechenland	16	42	14	33
Slowakei	17	37	12	45
Schweden	18	5	54	1
Bulgarien	19	49	15	44
Polen	20	38	28	32
Niederlande	21	7	58	6
Luxemburg	22	8	38	23
Rumänien	23	51	21	52
Türkei	24	78	18	40
Kroatien	25	41	25	56
Kanada	26	9	55	18
Island	27	11	39	28
Korea, Republik	28	27	56	2
Israel	29	22	59	10
Ukraine	30	90	24	37
Russische Föderation	31	96	26	30
Singapur	32	14	79	8
Jordanien	33	55	20	76
Slowenien	34	26	41	25
Estland	35	18	40	39
Vereinigte Staaten	36	21	76	4
Neuseeland	37	6	69	22
Kasachstan	38	74	27	61
Zypern	39	29	43	36
Armenien	40	62	23	90
Malta	41	32	45	34
Belarus	42	95	31	41
Litauen	43	28	42	48
Bosnien-Herzegowina	44	86	29	64
Italien	45	35	50	26
Lettland	46	30	44	55
Vereinte Arabische Emirate	47	39	61	21
Albanien	48	71	30	86
Nordmazedonien	49	64	33	66
Chile	50	23	51	50
Libanon	51	104	22	85
Georgien	52	34	46	67
Mongolei	53	70	37	75
Indien	54	53	48	43

Land	Ranking Kategorie gesamt	Ranking institu- tionelles Umfeld	Ranking Energiepolitik	Ranking Wissensstatus
China	55	85	67	16
Südafrika	56	48	52	47
Montenegro	57	54	32	109
Brasilien	58	66	57	35
Malaysia	59	45	84	27
Kirgisistan	60	93	35	89
Uruguay	61	31	66	65
Costa Rica	62	36	68	59
Aserbeidschan	63	99	36	87
Columbien	64	57	62	57
Mexiko	65	82	53	49
Tunesien	66	65	60	60
Moldau	67	81	47	80
Argentinien	68	68	71	46
Serbien	69	67	70	54
Thailand	70	72	82	42
Ghana	71	52	64	96
Philippinen	72	77	74	53
Tadschikistan	73	111	34	107
Iran	74	108	49	62
Jamaika	75	46	80	79
Oman	76	56	85	63
Peru	77	63	95	51
Katar	78	47	89	71
Marokko	79	80	65	77
Saudi-Arabien	80	76	99	38
Vietnam	81	92	78	58
Ägypten	82	100	63	72
Indonesien	83	59	86	70
Kenia	84	79	75	81
Panama	85	58	81	97
Dominikanische Republik	86	75	77	92
Sri Lanka	87	73	87	88
El Salvador	88	83	72	94
Equator	89	88	88	83
Bahrain	90	60	101	82
Bolivien	91	101	90	68
Kuwait	92	69	104	74
Mauritius	93	33	106	78
Tansania	94	97	73	101
Brunei	95	43	108	69
Botswana	96	40	107	73
Benin	97	84	91	100
Algerien	98	105	92	84
Senegal	99	61	100	104
Honduras	100	94	94	95
Uganda	101	98	83	102
Pakistan	102	103	96	91

## A.2.2 Gewichtetes Ranking

Gewichtung auf Basis der aus dem Workshop und Umfrage abgeleiteten Gewichtungsfaktoren für die fünf Hauptkategorien.

Länder	Ranking gewichteter Gesamtperformance- Indikator
Australien	1
Kanada	2
Spanien	3
Vereinigte Staaten	4
Irland	5
Schweden	6
Portugal	7
China	8
Finnland	9
Russische Föderation	10
Griechenland	11
Polen	12
Ägypten	13
Vereinigte Arabische Emirate	14
Neuseeland	15
Saudi-Arabien	16
Türkei	17
Chile	18
Island	19
Brasilien	20
Kasachstan	21
Algerien	22
Litauen	23
Mexiko	24
Rumänien	25
Südafrika	26
Kolumbien	27
Lettland	28
Großbritannien	29
Ukraine	30
Argentinien	31
Dänemark	32
Iran	33
Frankreich	34

### A.2.3 Ranking mit Grenzwert

Einfaches Ranking mit 30 %-Schwelle:

Land	Ranking
Australien	1
China	2
Ägypten	3
Algerien	4
Saudi-Arabien	5
Kanada	6
Russische Föderation	7
Vereinigte Staaten	8
Kasachstan	9
Argentinien	10
Iran	11
Brasilien	12
Spanien	13
Mexiko	14
Südafrika	15
Chile	16
Portugal	17
Türkei	18
Vereinigte Arabische Emirate	19
Kolumbien	20
Marokko	21
Neuseeland	22
Peru	23
Polen	24
Schweden	25
Rumänien	26
Irland	27
Ukraine	28
Griechenland	29
Jordanien	30
Ecuador	31
Uruguay	32
Georgien	33
Tunesien	34
Kuwait	35
Litauen	36
Honduras	37
Lettland	38
Finnland	39
Island	40