



# Perspektiven für die Wirtschaftlichkeit von umweltfreundlichen Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologien

## Warum ist eine nachhaltige dezentrale Energieversorgung von Bedeutung?

In vielen Teilen der Welt ist die Energieversorgung durch Stromausfälle stark eingeschränkt oder findet netzfern, ohne Anschluss an das zentrale Stromnetz, statt. An den meisten Standorten mit einer solchen **dezentralen Energieversorgung** werden umweltschädliche Generatoren und fossile Kraftstoffe wie Benzin und Diesel zur Energieerzeugung eingesetzt. Mit **grüner Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie** und dem Ausbau erneuerbarer Energien vor Ort kann eine nachhaltige, unabhängige und perspektivisch auch wirtschaftliche dezentrale Energieversorgung umgesetzt werden, die zur Erreichung der Ziele für nachhaltige Entwicklung der Vereinten Nationen (SDG, Sustainable Development Goals) beiträgt. Die **Exportinitiative Umweltschutz (EXI), ein Förderprogramm des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV)**, unterstützt deutsche Unternehmen und Forschungseinrichtungen bei internationalen Pilotvorhaben zur Weiterentwicklung dieser Technologien.



Es besteht weltweit Bedarf an resilienter und umweltfreundlicher Energieversorgung.



### Elektrizitätszugang

Weltweit leben circa 675 Millionen Menschen ohne Zugang zu Elektrizität (IEA, 2023).



### Stromausfälle

1 Milliarde Menschen leben mit Stromausfällen von mehr als 1.000 Stunden im Jahr (IFC, 2019).



### Dieseleratoren

Aktuell findet ein Großteil der Energieversorgung im globalen Süden mit Dieseleratoren statt (IFC, 2019).



### Wirtschaftlicher Schaden

Stromausfälle sorgen für erhebliche wirtschaftliche Schäden und eine verringerte Leistungsfähigkeit von Unternehmen in den betroffenen Ländern (UNESCAP, 2021).

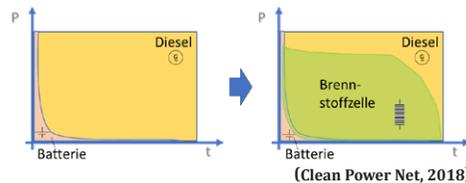


Dezentraler Einsatz von deutscher Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie kann diesen Bedarf wirtschaftlich decken.



Das technische Profil von Brennstoffzellen erlaubt es, Dieseleratoren weitreichend zu ersetzen.

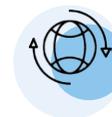
Brennstoffzelle bietet eine weitere wirtschaftliche Alternative



Stationäre Brennstoffzellen als Alternative zu Dieseleratoren bieten folgende Vorteile:

- Langlebigkeit
- Niedrige Wartungskosten
- Keine lokalen Schadstoffemissionen
- Je nach Brennstoff klimaneutral
- Geringe Lärmemissionen
- Relativ hoher Wirkungsgrad
- Autarkie möglich wenn gekoppelt mit Elektrolyse

Deutschland verfügt über starke Unternehmen, darunter viele kleine und mittlere Unternehmen (KMUs), mit langjähriger Erfahrung in diesen Technologien.



Dieser Einsatz leistet einen Beitrag zu den Zielen für nachhaltige Entwicklung der Vereinten Nationen.



Der Zugang zu Elektrizität hat positive Auswirkungen auf die wirtschaftliche Entwicklung, Beschäftigung, Produktivität, Gesundheit, Bildung und Geschlechtergleichheit (UNESCAP, 2021; Tensay Hadush Meles, 2020).

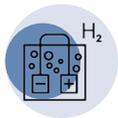


Ist die Stromversorgung zuverlässig, sind die positiven Auswirkungen auf Einkommen, Bildung und Geschlechtergerechtigkeit stärker ausgeprägt (World Bank, 2019).



## Durch welche **umweltfreundlichen Technologieoptionen** können fossil betriebene Generatoren ersetzt werden?

Dezentrale Energieversorgungssysteme mit **umweltfreundlichen Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologien** (auch in Verbindung mit Batteriespeichern), die aus erneuerbaren Quellen gespeist werden, sind eine **nachhaltige Alternative** zu fossil betriebenen Generatoren. Für eine unterbrechungsfreie Energieversorgung, wenn z.B. Sonne oder Wind nicht verfügbar sind oder bei einem Netzausfall, können Brennstoffzellensysteme mit **grünem Wasserstoff betrieben und zur Energieerzeugung** genutzt werden. Der dafür erforderliche grüne Wasserstoff kann in Zeiten ausreichender Verfügbarkeit von Sonnen- oder Windenergie **vor Ort aus erneuerbarem Strom produziert**, gespeichert und bei Bedarf verfügbar gemacht werden. Alternativ kann er von außerhalb angeliefert werden.



Wasserstoff- und Brennstoffzellensysteme für dezentrale Energieversorgungssysteme können in zwei Kategorien unterteilt werden:

### Autarke Systeme

Energieversorgungssysteme mit lokaler Produktion von grünem Wasserstoff durch Strom aus erneuerbaren Energiequellen wie Wind oder Sonne und dessen Rückverstromung mittels Brennstoffzellen.

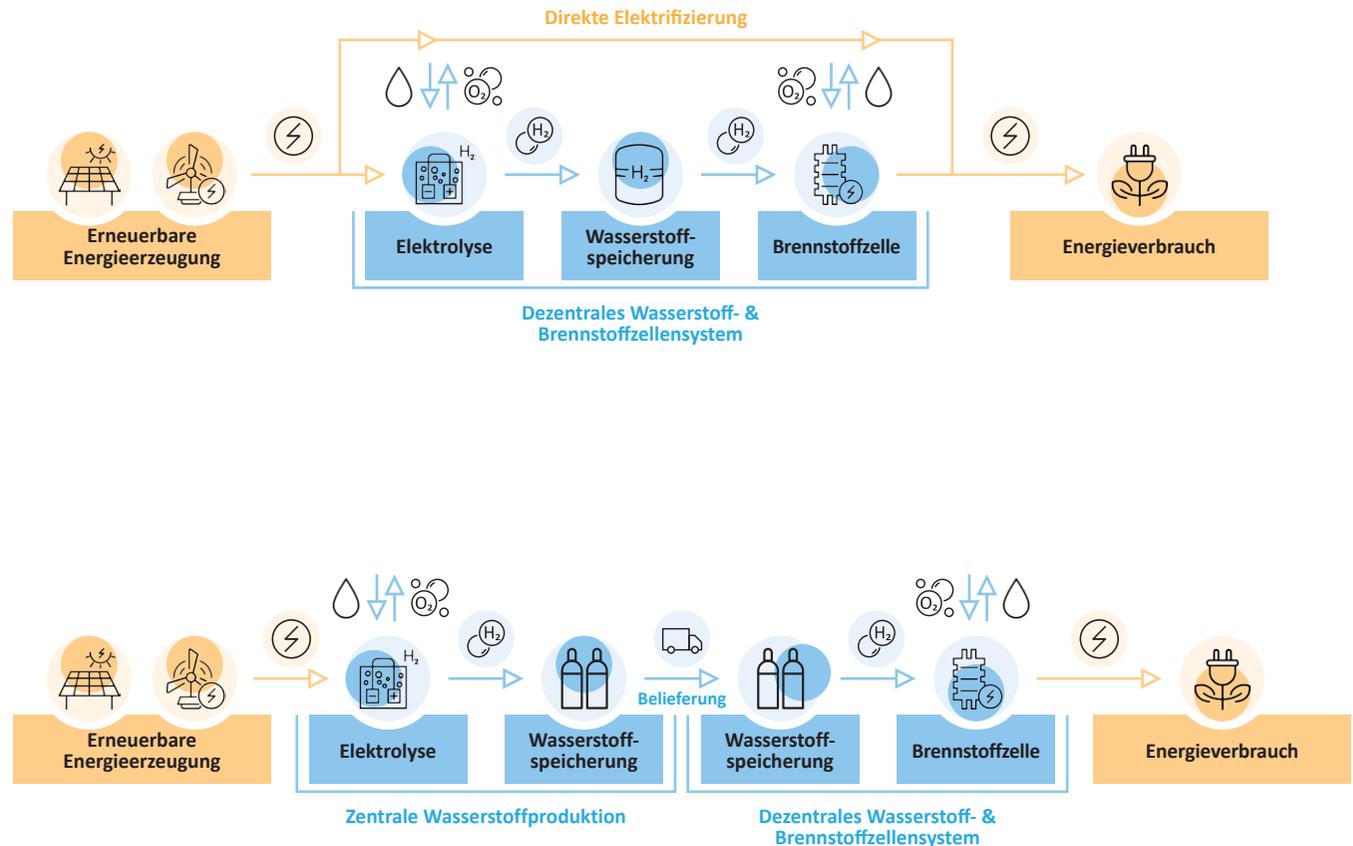
Je nach Anwendungsort verfügen autarke Systeme oft auch über einen Netzzugang und können eine wichtige Rolle in der Stabilisierung des weiteren Energiesystems spielen.

In einem weitestgehend geschlossenen Wasserkreislauf kann das Wasser, das bei der Rückverstromung in der Brennstoffzelle entsteht, nach einer integrierten Wasseraufbereitungsstufe der Elektrolyse wieder zugeführt werden. Ohne nennenswerte Wasserverbräuche bieten sich autarke Systeme somit für den Einsatz in Regionen mit Wasserknappheit an.

### Belieferte Systeme

Energieversorgungssysteme, die mit grünem Wasserstoff beliefert werden, der an einem anderen Standort mit Strom aus erneuerbaren Energiequellen wie Wind oder Sonne produziert wird und lokal mittels Brennstoffzellen rückverstromt wird.

Werden Elektrolyse und die Rückverstromung mittels Brennstoffzelle örtlich getrennt, ist auch der Wasserkreislauf unterbrochen. Das entstehende Wasser aus der Rückverstromung kann der Elektrolyse nicht mehr zugeführt werden, sondern gelangt an anderer Stelle wieder ins Ökosystem.



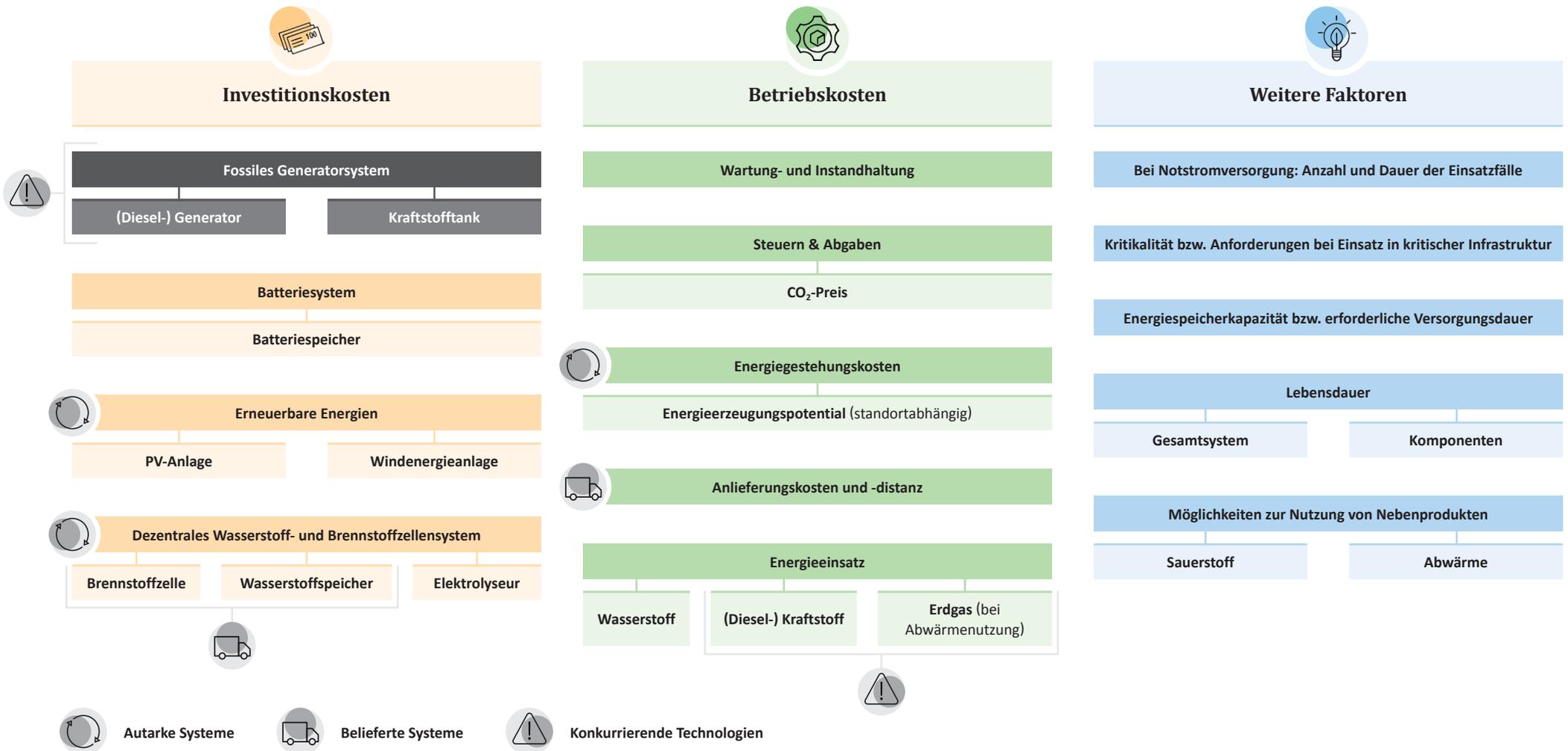
## Welche Einsatzbereiche bieten sich für grüne Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologien in der dezentralen Energieversorgung?

Die Anwendung grüner, nachhaltiger Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologien zur dezentralen Energieversorgung ist vielseitig und überall dort denkbar, wo bisher fossil betriebene Generatoren im Einsatz sind oder erneuerbare Inselnetze erweitert werden können. Mit dieser Technologie ist sowohl die Umsetzung einer zuverlässigen **dezentralen Primärenergieversorgung** als auch die **Notstromversorgung** eines netzgebundenen Verbrauchs oder die netzferne **semi-stationäre Energieversorgung** in temporären Anwendungen möglich. Je nach Anforderung des Einsatzfalls bietet sich die Nutzung eines autarken Energieversorgungssystems mit lokaler Wasserstoffproduktion aus erneuerbaren Energien oder ein mit Wasserstoff oder Wasserstoffderivaten beliefertes Brennstoffzellensystem an.



# Welche **Faktoren** beeinflussen die **Wirtschaftlichkeit** von Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologien in der dezentralen Energieversorgung?

Die **Wirtschaftlichkeit** eines Wasserstoff- und Brennstoffzellensystems in der dezentralen Energieversorgung wird von verschiedenen Faktoren beeinflusst. Geringere Investitions- und Betriebskosten der Wasserstoff- und Brennstoffzellensysteme gegenüber den konkurrierenden Technologieoptionen und insbesondere den fossil betriebenen Generatoren begünstigen die Wirtschaftlichkeit. Für eine techno-ökonomische Modellierung wurden **anwendungsfallspezifische und standortabhängige techno-ökonomische Faktoren** zusammengetragen, um die Wirtschaftlichkeitsperspektive von autarken und belieferten Wasserstoff- und Brennstoffzellensystemen zu untersuchen. Die Darstellung hier illustriert die wichtigsten Einflussparameter.



# Welche Perspektiven ergaben sich in der Modellierung für den **wirtschaftlichen Einsatz** von grüner Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie in der dezentralen Energieversorgung?

Auf Basis der techno-ökonomischen Einflussfaktoren wurden die standortabhängigen Wirtschaftlichkeitsperspektiven von grünen Wasserstoff- und Brennstoffzellen in der dezentralen Energieversorgung für verschiedene Anwendungsfälle modelliert. Je nach Anwendungsfall und Anlagenstandort sowie System – beliefert oder autark – ist ein **wirtschaftlich konkurrenzfähiger Betrieb zur Primärenergie- oder Notstromversorgung mittelfristig** realisierbar.

Aufgrund eingeschränkter Datenverfügbarkeit für internationale Anwendungsbeispiele wurden zunächst Ergebnisse für den **Standort Deutschland** kalkuliert. Diese zeigen, dass grüne Wasserstoff- und Brennstoffzellensysteme in bestimmten Einsatzgebieten und Anwendungen in Zukunft einen Wettbewerbsvorteil gegenüber umweltschädlichen, mit fossilen Kraftstoffen betriebenen Generatoren aufweisen können. Internationale Standorte mit einem höheren erneuerbaren Energieerzeugungspotential sollten demnach noch bessere Perspektiven für die Wirtschaftlichkeit bieten.



### Primärenergieversorgung

Für Anwendungsfälle in der Primärenergieversorgung stellen grüne Wasserstoff- und Brennstoffzellensysteme eine **perspektivisch wirtschaftliche Technologieoption** dar.

Windkraftbasierte, autarke Wasserstoff- und Brennstoffzellensysteme weisen im Bereich der Primärenergieversorgung über alle untersuchten Technologieoptionen und Anwendungsfälle hinweg die **niedrigsten Stromgestehungskosten am Standort Deutschland** auf.

Wasserstoffsysteme, die aus lokalen Photovoltaik- oder Windkraftanlagen versorgt werden, **weisen geringere Stromgestehungskosten als entsprechende Systeme mit Lithium-Ionen-Batteriespeicher** auf.

Im Anwendungsfall zur Primärenergieversorgung von abgelegenen, netzfernen Haushalten und Siedlungen für den Standort Deutschland sind windkraftbasierte, autarke Wasserstoff- und Brennstoffzellensysteme **perspektivisch wirtschaftlicher gegenüber dem Dieselgenerator**. Für photovoltaikbasierte Wasserstoff- und Brennstoffzellensysteme ergibt sich bei einer **starken Senkung der Investitionskosten für den Wasserstoffspeicher und die Brennstoffzelle** eine Wirtschaftlichkeitsperspektive.

(E4tech, 2023)



### Semistationäre Energieversorgung

Brennstoffzellensysteme, die mit grünem Wasserstoff beliefert werden, können in **semistationären Anwendungsfällen**, wie z.B. Baustellen oder Veranstaltungen, **Wettbewerbsfähigkeit gegenüber der konventionellen Dieseltechnologie** erreichen.

Die nähere Betrachtung eines Anwendungsfalls zur temporären Strom- und Wärmeversorgung im Katastrophenschutz zeigt, dass auch bei sinkendem Dieselpreis oder höheren Kosten für Brennstoffzellenkomponenten, belieferte **Wasserstoffsysteme perspektivisch die wirtschaftlichere Technologieoption** sind.

(E4tech, 2023)



### Notstromversorgung

In der **Notstromversorgung** sind Dieselgeneratoren noch die wettbewerbsfähigste Technologieoption, da sich die höheren Investitionskosten von belieferten Wasserstoff- und Brennstoffzellensystemen an Standorten mit wenigen Einsatzfällen, wie z.B. Deutschland, nur auf wenige Betriebsstunden verteilen und somit zu **vergleichsweise hohen Stromgestehungskosten** führen.

Am beispielhaften Anwendungsfall für kritische, nicht regulierte Notstromversorgung (wie z.B. in einem Datenzentrum) zeigt sich, dass insbesondere **sinkende Investitionskosten für die Brennstoffzelle oder den Wasserstoffspeicher** zur Wettbewerbsfähigkeit führen könnten. Bei einem starken Anstieg des Dieselpreises werden Generatoren wiederum unwirtschaftlich.

(E4tech, 2023)

## Wie können **Informationen und Daten** zu möglichen Anwendungen von grüner Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie in der dezentralen Energieversorgung auch **im Ausland erhoben** werden?

Das **Verständnis lokaler Gegebenheiten und der Zugang zu Daten** ist in der Planung und Durchführung von internationalen Projekten unumgänglich. Dialogbasierter Wissensaustausch ist daher eines der Ziele der EXI und wird durch die **Kooperation von der NOW GmbH und der DIHK Service GmbH im Rahmen der „Chambers for Greentech“** vorangetrieben. Dabei geht es unter anderem darum, das Thema dezentrale Energieversorgung mit Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologien im **Netzwerk der deutschen Auslandshandelskammern (AHKs)** in konkreten Projekten ortsspezifisch weiterzuentwickeln und Informationen zwischen deutschen und ausländischen Akteur\*innen auszutauschen.

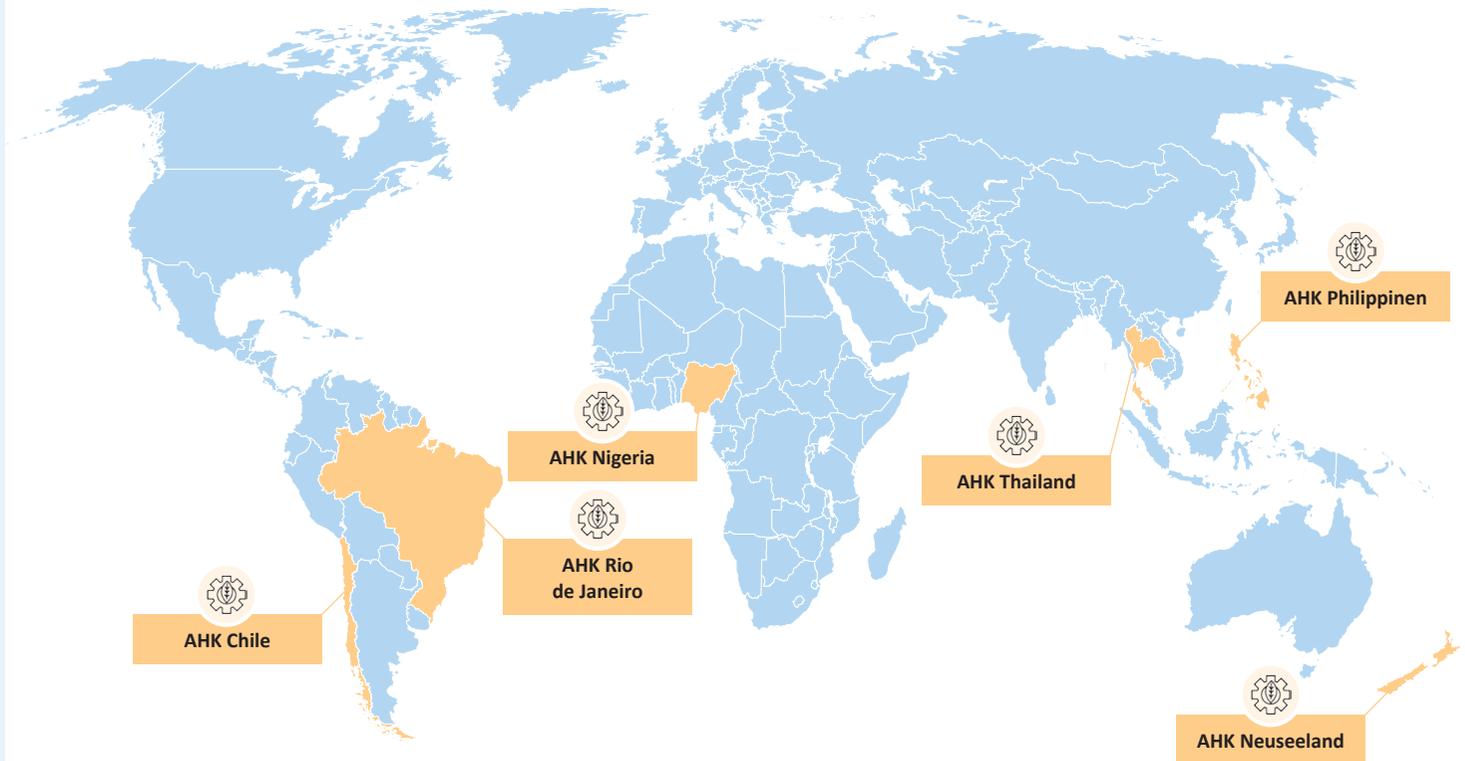
**DIHK** Service GmbH

**AHK** Deutsche  
Auslandshandelskammern



Mit ihrer umfassenden **Kenntnis der rechtlichen, politischen und kulturellen Besonderheiten ihrer Partnerländer** können die AHKs ausgezeichnete Unterstützung leisten. Sie stellen **Informationen und Analysen** über drängende Umweltprobleme bereit, knüpfen Netzwerke mit den zentralen Akteur\*innen und bringe diese mit passenden lokalen und deutschen Expert\*innen zusammen. Die DIHK Service GmbH ist dabei **Vermittlerin des Netzwerks** und steuert die programmatische Zusammenarbeit.

Im Themenbereich dezentrale Energieversorgung mit Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologien konnten bisher **sieben Projekte in AHKs** durchgeführt werden oder befinden sich in Umsetzung (siehe Grafik). Die meisten Projekte beschäftigen sich mit **Wirtschaftlichkeitsanalysen und der Identifikation von möglichen Standorten für dezentrale Energieversorgungssysteme** (Chile, Nigeria, Philippinen, Thailand und Neuseeland). Mit der AHK Brasilien (Standort Rio de Janeiro) werden derzeit Möglichkeiten zur Herstellung von grünem Wasserstoff in Kläranlagen unter Berücksichtigung von technischen, wirtschaftlichen und ökologischen Aspekten untersucht. Die AHK-Projekte tragen somit **zum erweiterten Verständnis von Wirtschaftlichkeitsperspektiven** bei.



## Inselnetze in Chile bieten schon heute eine wirtschaftliche Perspektive für den Einsatz von grüner Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie

Mit seinem großen Potential für erneuerbare Energien sowie seinen Ambitionen zum Aufbau einer grünen Wasserstoffwirtschaft ist Chile ein geeigneter Standort für den Einsatz von Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologien in der dezentralen Energieversorgung. So gibt es langfristige Pläne, die Elektrifizierung mit erneuerbaren Energien voranzutreiben und dezentrale Stromnetze, die aktuell größtenteils mit Dieselgeneratoren versorgt werden, zu dekarbonisieren. Dazu hat die AHK Chile im Rahmen der EXI das Potential und die Wirtschaftlichkeitsperspektiven zum Einsatz von grünem Wasserstoff in Insel- und kleineren Stromnetzen zum Ersatz von Dieselgeneratoren für die Anwendung im Inselnetz *Melinka* und der Fischzucht *Molino de Oro* untersucht.



**Elektrizitätsversorgung**  
75.000 Menschen in rund 25.000 Häusern sind in Chile noch ohne Zugang zu Elektrizität (AHK Chile, 2021).



**Dieselgeneratoren**  
Schätzungsweise werden jährlich mehr als 5.000 Dieselgeneratoren mit einer Leistung zwischen 10 und 3.000 kW nach Chile importiert (AHK Chile, 2021).



**Inselnetze in Chile**  
Es gibt 129 kleine Stromnetze in Chile für die Versorgung von über 15.000 Haushalten. Davon haben 72 Netze keine 24-stündige Versorgung. Diese Inselnetze werden von privaten oder kommunalen Kooperativen und Unternehmen betrieben (AHK Chile, 2021).

### Beispiel Inselnetz Melinka Inselnetz zur Stromversorgung von 1.329 Einwohnern

**Status Quo der Stromversorgung**  
1.660 MWh Jahresstromverbrauch  
1,4 MW Leistung aus 4 Dieselgeneratoren  
0,31 USD/kWh Stromgestehungskosten

#### Techno-ökonomische Modellierung

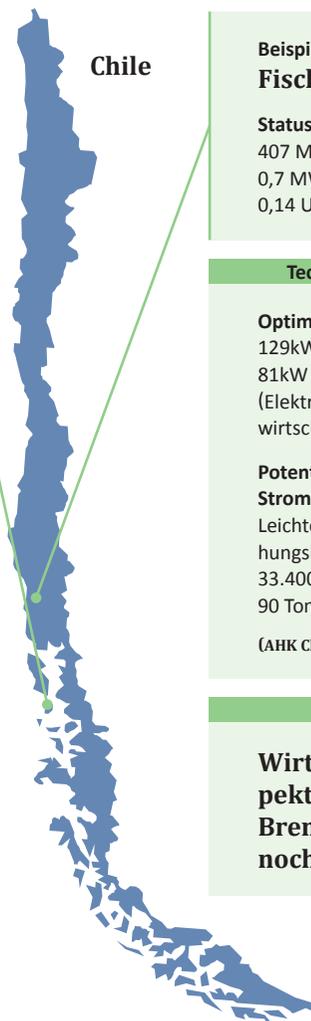
**Optimierte Stromversorgung**  
600kWp Photovoltaik & 574kW Wind  
33kW Elektrolyse & 18kg H<sub>2</sub>-Speicher  
38kW Brennstoffzelle  
249kW Dieselgenerator (-82%)

**Potentieller Nutzen der optimierten Stromversorgung**  
Verringerung der Stromgestehungskosten  
400.000 Liter Diesel pro Jahr eingespart  
1.123 Tonnen CO<sub>2</sub> pro Jahr eingespart  
(AHK Chile, 2021)

#### Ergebnis

**Wirtschaftlichkeitsperspektive vorhanden**

### Chile



### Beispiel Fischzucht in Molino de Oro

**Status Quo der Stromversorgung**  
407 MWh Jahresstromverbrauch  
0,7 MW aus 3 Dieselgeneratoren  
0,14 USD/kWh Stromgestehungskosten

#### Techno-ökonomische Modellierung

**Optimierte Stromversorgung**  
129kWp Photovoltaik  
81kW Dieselgenerator  
(Elektrolyse und Brennstoffzelle nicht wirtschaftlich)

**Potentieller Nutzen der optimierten Stromversorgung**  
Leichte Verringerung der Stromgestehungskosten  
33.400 Liter Diesel pro Jahr eingespart  
90 Tonnen CO<sub>2</sub> pro Jahr eingespart  
(AHK Chile, 2021)

#### Ergebnis

**Wirtschaftlichkeitsperspektive für Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie noch nicht gegeben**



### Wie könnten Wasserstoff- und Brennstoffzellensysteme in diesem Fall wirtschaftlich werden?

**Steigender Dieselpreis**  
Bei einem steigenden Dieselpreis ist ein wachsender Anteil an erneuerbaren Energien wirtschaftlicher. Liegt der Dieselpreis bei mehr als 1,0 US-Dollar pro Liter wird der Einsatz von Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologien wirtschaftlich.

**Nutzung von Sauerstoff**  
Der Sauerstoff, der bei der Elektrolyse als Nebenprodukt entsteht, könnte in diesem Anwendungsfall zur Anreicherung der Gewässer genutzt werden und die Wirtschaftlichkeitsperspektive verbessern.

## Mit dem Ersatz von Dieselgeneratoren durch grüne Technologien kann die Wirtschaftlichkeit von Inselnetzen in Nigeria verbessert werden.

Das anfällige Stromnetz und die spärlich vorhandenen Kraftwerke tragen in Nigeria nur einen geringen Teil zur Energieversorgung bei. Laut International Finance Corporation (IFC) gehört Nigeria weltweit zu den Ländern mit der niedrigsten installierten Netzkapazität pro Kopf. Der Großteil der **Stromversorgung stammt aus dezentralen Generatoren** und zunehmend aus Inselnetzen beziehungsweise aus Mini-Grids, die aus Photovoltaik gespeist werden. Die Delegation der Deutschen Wirtschaft in Nigeria (DGIC Nigeria) hat dazu im Rahmen der EXI das wirtschaftliche Potential, das der vollständige oder teilweise Ersatz eines vorhandenen Dieselgenerators in einem Mini-Grid in Nigeria bietet, an einem Beispiel untersucht.



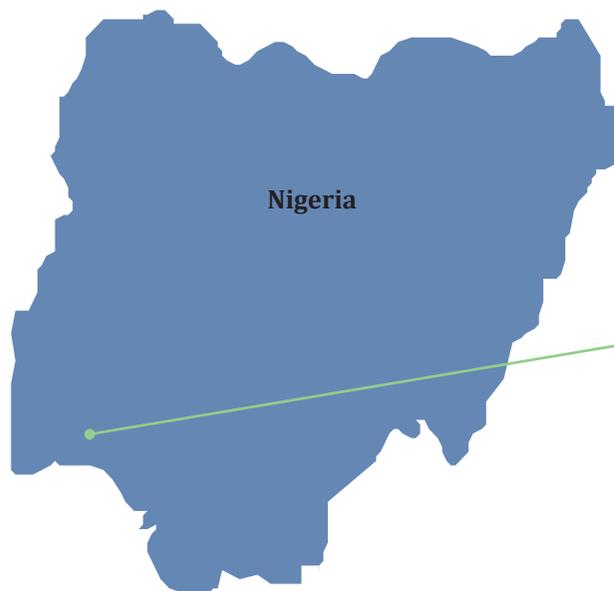
### Elektrizitätsversorgung

In Nigeria haben 40,5 Prozent der Bevölkerung und damit mehr als 80 Millionen Menschen keinen Zugang zu Elektrizität. Der Großteil davon lebt auf dem Land (IEA, 2023).



### Dieselgeneratoren

Nigeria gehört mit 3 Millionen Dieselgeneratoren zu den Ländern mit den meisten fossil betriebenen Generatoren. Auf 60 Personen oder 12 Haushalte kommt durchschnittlich ein Generator. Die Ausgaben für Kraftstoffe zum Betrieb von Generatoren sind in Westafrika ähnlich hoch wie die Ausgaben für Strom aus dem Netz, in Nigeria sogar höher (IFC 2019).



### Beispiel Mini-Grid Gbamu Gbamu Mini-Grid zur Stromversorgung von 5.000 Einwohnern in 550 Haushalten

#### Status Quo der Stromversorgung

550 MWh Jahresstromverbrauch  
85 kWp Photovoltaik  
288 kWh Batteriespeicher  
53 kW Dieselgeneratoren  
25% Nutzungsanteil erneuerbare Energien  
0,24 Euro/kWh Stromgestehungskosten

(DGIC Nigeria, 2022)

### Techno-ökonomische Modellierung

#### Szenario I

##### Optimierte Stromversorgung mit Dieselgenerator

156 kWp Photovoltaik  
288 kWh Batteriespeicher  
17kW Elektrolyse  
6kg H<sub>2</sub>-Speicher  
5kW Brennstoffzelle  
53kW Dieselgenerator

##### Potentieller Nutzen der optimierten Stromversorgung mit Dieselgenerator

Deutliche Verringerung der Stromgestehungskosten  
22.566 Liter Diesel pro Jahr eingespart  
61 Tonnen CO<sub>2</sub> pro Jahr eingespart  
80% Nutzungsanteil erneuerbare Energien

(DGIC Nigeria, 2022)

#### Szenario II

##### Optimierte Stromversorgung ohne Dieselgenerator

276 kWp Photovoltaik  
288 kWh Batteriespeicher  
33kW Elektrolyse  
30kg H<sub>2</sub>-Speicher  
12kW Brennstoffzelle

##### Potentieller Nutzen der optimierten Stromversorgung ohne Dieselgenerator

Leichte Verringerung der Stromgestehungskosten  
27.700 Liter Diesel pro Jahr eingespart  
75 Tonnen CO<sub>2</sub> pro Jahr eingespart  
100% Nutzungsanteil erneuerbare Energien

(DGIC Nigeria, 2022)

### Ergebnis

**Wirtschaftlichkeitsperspektive für beide Szenarien vorhanden**

## Auf den Philippinen werden Dieselgeneratoren schon heute durch den **Betrieb von Brennstoffzellen in der dezentralen Notstromversorgung** ersetzt.

Viele der philippinischen Inseln sind auf eine netzferne Energieversorgung mit Strom aus fossil betriebenen Generatoren angewiesen. Aktuell befinden sich einige **hybride Mini-Grids in Planung**, bei denen Photovoltaik einen Teil der Stromversorgung durch Dieselgeneratoren ersetzen soll. Eine weitere Steigerung des Nutzungsanteils von erneuerbaren Energien durch Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie ist hier durchaus denkbar. Neben dem noch nicht genutzten Potential, gibt es auf den Philippinen **schon heute Anwendungsfälle von Brennstoffzellentechnologie** z.B. bei der Notstromversorgung von Telekommunikationseinrichtungen. Die AHK Philippinen hat das Potential zur Nutzung von grünem Wasserstoff analysiert. Aktuell untersucht sie die Wirtschaftlichkeitsperspektiven in einem Folgeprojekt.



### Elektrizitätsversorgung

Die Philippinen haben einen der höchsten Strompreise in Asien. Die netzfernen und netzgebundenen Gebiete auf den Philippinen weisen starke Disparitäten auf, was die Stromversorgungsdauer, -sicherheit, und die Strompreise angeht. Auch innerhalb des Netzes kann es an den Randgebieten Versorgungsengpässe geben (AHK Philippinen, 2022).



### Inselnetze auf den Philippinen

Auf den Philippinen gibt es 281 Inselnetze, die in der Regel über Dieselgeneratoren versorgt und von der staatlichen National Power Corporation betrieben werden. Die verwendeten Dieselgeneratoren sind oft alt und haben einen geringen Wirkungsgrad bei der Stromerzeugung (AHK Philippinen, 2022).



### Fossile Kraftstoffe

Etwa 5% des Dieselverbrauchs und 2% des Benzinverbrauchs der Philippinen werden für den Betrieb von Generatoren genutzt (AHK Philippinen, 2022).



### Dieselgeneratoren

Auf den Philippinen wurden jährlich bisher rund 10.000 Dieselgeneratoren verkauft. Bis zum Jahr 2030 sollen jährlich sogar mehr als 17.000 Dieselgeneratoren erforderlich sein. Insbesondere die Leistungsklasse zwischen 17 und 75 kW ist für die Anwendung in Haushalten, Industrie und Gewerben wie Einzelhandel, Telekommunikation, Krankenhäusern, Hotels oder Büros gefragt (AHK Philippinen, 2022).



### Wind-Inselnetz | Calayan

Stromversorgung von 1.350 Haushalten  
1.309 MWh Jahresstrombedarf  
236 kW Spitzenlast



### PV-Inselnetz | Lubang

Stromversorgung von 6.700 Haushalten  
7.139 MWh Jahresstrombedarf  
1.340 kW Spitzenlast



### PV-Inselnetz | Maripipi

Stromversorgung von 1.550 Haushalten  
1.448 MWh Jahresstrombedarf  
261 kW Spitzenlast



### Notstromversorgung | verschiedene Standorte

In entlegenen Gebieten mit unzuverlässiger Stromversorgung werden Funkmasten philippinischer Telekommunikationsunternehmen anstelle von Dieselgeneratoren mit Brennstoffzellen der Leistungsklasse zwischen 5 und 15kW sowie vorgeschaltetem Reformer betrieben. So kann gut transportierbares Methanol als Brennstoff zur Notstromversorgung genutzt werden und ohne Aufwand durch klimaneutrales, grünes Methanol ersetzt werden, sobald dieses verfügbar ist (AHK Philippinen, 2022).

Techno-ökonomische Untersuchung in Folgeprojekten der AHK Philippinen

## Was ist notwendig, damit umweltfreundlichen Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologien weltweit der Durchbruch in der dezentralen Energieversorgung gelingen kann?

Der Einsatz von grüner Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie in der dezentralen Energieversorgung ist komplex. Eine Realisierung entsprechender internationaler Projektvorhaben erfordert einen **integrierten und systemischen Ansatz**, um das wirtschaftliche und sozio-ökologische Potential der Technologien bestmöglich zu nutzen. Damit die Rahmenbedingungen angepasst, Informationen verknüpft und dadurch die Wirtschaftlichkeitsperspektiven umweltfreundlicher Energiesysteme besser verstanden werden können, ist die enge **Zusammenarbeit unterschiedlicher Akteur\*innen** entscheidend.



### Technologische Entwicklungen allein sind noch nicht ausreichend.

#### Investitionskosten

Forschung und Entwicklung im Bereich der Komponentenherstellung und der Industrialisierung von Fertigungsprozessen um die Herstellungskosten von Brennstoffzellen- und Elektrolysesystemen zu reduzieren, tragen zur Senkung der Investitionskosten und somit dem Erreichen einer soliden wirtschaftlichen Perspektive bei.

#### Wasserstoffinfrastruktur

Insbesondere belieferte Wasserstoff- und Brennstoffzellensysteme profitieren von guter Verfügbarkeit von grünem Wasserstoff sowie den Netzwerkeffekten durch gemeinsam genutzte Wasserstoffinfrastruktur.

#### Regulatorik und Förderung

Der Hochlauf von Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologien in der dezentralen Energieversorgung muss in einer Übergangsphase mit Unterstützungsmechanismen durch die Politik flankiert werden. Hier können unter anderem Instrumente wie eine CO<sub>2</sub>-Bepreisung, lokale Emissionsbeschränkungen aber auch die Projektförderung sowie Umweltschutzbeihilfe eingesetzt werden.

#### Investition in Ausbildung

Die Verfügbarkeit kompetenter lokaler Partner\*innen ist für die erfolgreiche Installation, Inbetriebnahme und den Betrieb dezentraler Systeme notwendig. Die Ausbildung von qualifiziertem Personal trägt zur lokalen Verankerung und Wertschöpfung bei.

#### Erfahrungen aus der Projektumsetzung

Anhand konkreter Projekte können Erfahrungen gesammelt und Daten erhoben werden. Durch deren Bündelung und das Teilen mit interessierten Stakeholdern\*innen wird die Entwicklung von Geschäftsmodellen unterstützt. Die Ergebnisse können wiederum zur Beschaffung weiterer Finanzmittel dienen.



### Technische Charakteristika und gesamtsystemische Vorteile bergen Chancen.

#### Unterschiedliche Wirtschaftlichkeitsvoraussetzungen

Lokale Gegebenheiten in Kombination mit bestimmten Anwendungsfällen und Brennstoffzellen- bzw. Elektrolysetechnologien sorgen für stark voneinander abweichende Wirtschaftlichkeitsvoraussetzungen.

#### Wettbewerbsfähigkeit vorhanden

Bereits heute sind dezentrale Wasserstoff- und Brennstoffzellensysteme in bestimmten Anwendungsfällen im Vergleich zu fossilen Technologien vorteilhaft, z.B. bei hohen oder volatilen Dieselpreisen.

#### Wirtschaftlichkeit durch Hybridisierung

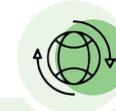
Eine schrittweise Hybridisierung mit anderen Speichertechnologien und bestehenden fossilen Energiesystemen, z.B. lokal bereits genutzte Dieselmotoren oder ein netzdienlicher Einsatz der Systeme können für die Schaffung einer Wirtschaftlichkeitsperspektive sorgen.

#### Wirtschaftlichkeit durch Nebenprodukte

Das wirtschaftliche und ökologische Potential, das sich durch Verwendung von Nebenprodukten der Elektrolyse und Rückverstromung, wie z.B. Sauerstoff, Wärme oder Wasser ergibt, sollte bestenfalls immer genutzt werden und bei der initialen Wahl von Anlagenstandorten berücksichtigt werden.

#### Wirtschaftlichkeit durch Standardisierung

Die laufende Entwicklung von standardisierten Energiesystemen auf Basis von Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologien hilft, eine breitgefächerte Wirtschaftlichkeitsperspektive zu schaffen.



### Deutsche Hersteller\*innen und Systemanbieter\*innen mit Innovationspotential für In- und Ausland.

#### Chancen auf internationalen Märkten

Internationale Märkte halten für deutsche Hersteller\*innen und Systemanbieter\*innen viele Möglichkeiten bei der dezentralen Energieversorgung mit Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologien bereit. Durch kontinuierliche internationale Vernetzung und die Unterstützung durch vorhandene Vernetzungspartner in den Zielländern, wie z.B. die AHKs, können diese Chancen realisiert werden.

#### Umweltnutzen als Wettbewerbsvorteil

Umweltnutzen und Nachhaltigkeit bieten deutschen Unternehmen die Möglichkeit, sich im internationalen Vergleich abzuheben. Der Einsatz von dezentraler Energieversorgung mit Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologien spannt einen Bogen von deutschem innovationspolitischem Potential hin zu Wertschöpfung am Einsatzort.

## Wie kann ein **Projekt im Ausland** zum Einsatz von Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie in der dezentralen Energieversorgung **gefördert** werden?

Das BMUV unterstützt mit seinem Förderprogramm EXI **deutsche GreenTech-Unternehmen, auch KMUs**, bei der **Internationalisierung ihrer grünen Innovationen, Produkte und Dienstleistungen**. Moderne, effiziente und ressourcenschonende Technologien sind nicht nur Wachstums- und Innovationstreiber. Sie tragen auch dazu bei, **Umweltstandards zu erhöhen, Umweltwissen zu verbreiten und so ökologische Grundlagen und Lebensbedingungen vor Ort nachhaltig zu verbessern**. Die NOW GmbH betreut im Auftrag des BMUV innerhalb der EXI das Handlungsfeld „Wasserstoff“ und bietet potenziellen sowie aktuell geförderten Projekten **inhaltliche Unterstützung** rund um die dezentrale Energieversorgung mit grüner Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie.



### **Inhaltlicher Fokus**

Im Handlungsfeld „Wasserstoff“ der EXI werden Vorhaben rund um die dezentrale Energieversorgung mit grüner Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie im globalen Süden gefördert. Dabei soll grüner Wasserstoff lokal produziert werden und in lokalen Anwendungsfällen der dezentralen Energieversorgung in den Partnerländern angewendet werden. Die zusätzliche Nutzung von Nebenprodukten wie Sauerstoff oder Abwärme sowie die Versorgung der Elektrolyse mit Wasser aus nachhaltigen Ressourcen sind Beispiele für sinnvolle inhaltliche Erweiterungen eines Förderprojekts. Der Projektbeitrag zur Erreichung der Ziele für nachhaltige Entwicklung der Vereinten Nationen kann durch Konzepte zum Wissenstransfer oder die Ausbildung von Menschen vor Ort ergänzt werden.



### **Geförderte Maßnahmen**

Der Förderrahmen umspannt Pilot- und Demonstrationsvorhaben sowie Machbarkeitsstudien. Dabei werden Projektvorhaben bei einer Umsetzung durch kleine und mittelständische Unternehmen mit Sitz in Deutschland und unter Beteiligung einer Forschungseinrichtung Beihilfen von 40 bis 80 Prozent (abhängig von der Zusammensetzung des Konsortiums) der förderfähigen Kosten gewährt. Die Projekte sollten mit Investitionsprojekten verknüpft sein, um die Nachhaltigkeit sicherzustellen. Machbarkeitsstudien werden mit bis zu 50 Prozent gefördert. Prinzipiell unterliegt das Förderprogramm der Allgemeinen Gruppenfeststellungsverordnung (AGVO) – möglich ist sowohl eine De-Minimis-Förderung als auch eine F & E-Förderung (AGVO Abschnitt 4).



### **Unterstützte Akteur\*innen**

Die Förderung im Rahmen der EXI richtet sich in erster Linie an KMUs mit Standort in Deutschland sowie an in Deutschland ansässige Forschungseinrichtungen. Internationale Partner\*innen können ihre Leistung an den Projekten im Auftrag der deutschen Partner\*innen einbringen. Idealerweise bildet sich ein Projektkonsortium – etwa aus einer Forschungseinrichtung, einem oder mehreren Komponentenherstellern\*innen und/oder einem Projektentwickler\*in. Die Projektpartner\*innen sollten das Ziel haben, sich international zu etablieren und weltweit Absatzmärkte zu schaffen. Gewonnene Kenntnisse sollen einem projektübergreifenden Wissenstransfer zur Verfügung gestellt werden.



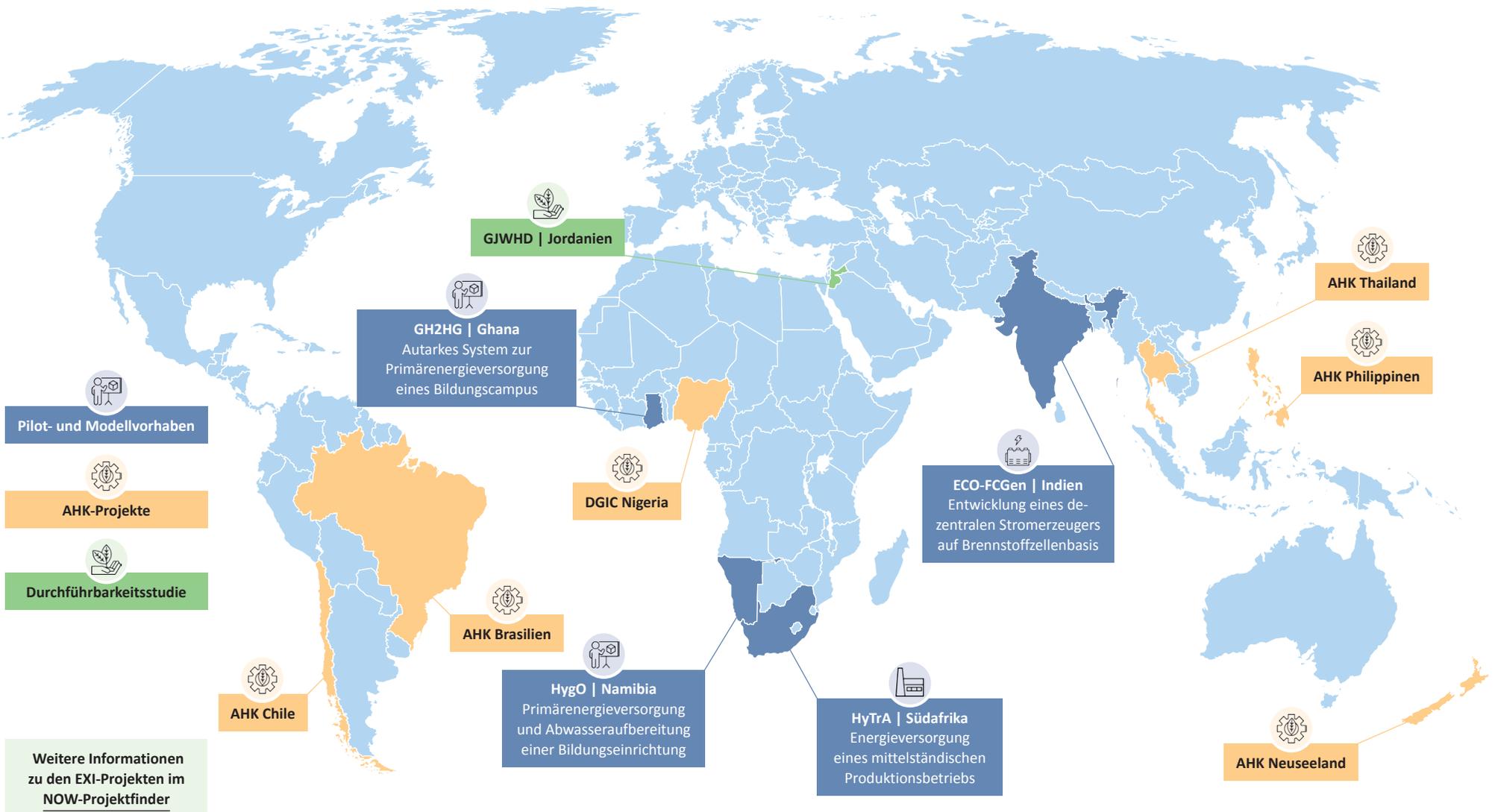
### **Fortlaufende Begleitung**

Neben der finanziellen Unterstützung mithilfe der Fördermittel stehen den Anwendungsempfänger\*innen der EXI auch die Projektträgerin und die NOW GmbH mit fachlicher Kompetenz zur Seite. Projekte mit dem Fokus Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie in der dezentralen Energieversorgung begleitet die NOW von der Projektinitiierung bis zum letzten Meilenstein. Dabei spielt auch die Vernetzung mit den starken Partnern DIHK Service GmbH und der Deutschen Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH eine wichtige Rolle. An der Programmteilnahme interessierte Akteur\*innen aus Industrie und Forschung sind herzlich eingeladen, frühzeitig in den Dialog mit der NOW GmbH zu gehen, um optimal in ihrem Vorhaben unterstützt zu werden.

Die jeweils aktuelle Version der Förderrichtlinie sowie Informationen rund um die Antragsstellung werden von der Projektträgerin Zukunft – Umwelt – Gesellschaft (ZUG) gGmbH unter [www.exportinitiative-umweltschutz.de](http://www.exportinitiative-umweltschutz.de) veröffentlicht.

## Wo ist die EXI bereits aktiv?

Die EXI ist mit dem Handlungsfeld „Grüne Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie in der dezentralen Energieversorgung“ bereits auf vier Kontinenten aktiv. Dazu gehören **Umsetzungsvorhaben** in Ghana, Namibia, Südafrika, und Indien, in denen jeweils eine Pilotanlage vor Ort errichtet wird (blau). Weiterhin wurde in Jordanien **eine Durchführbarkeitsstudie** erarbeitet (grün). An weiteren sechs Standorten führen die jeweiligen AHKs und Wirtschaftsvertretungen **Umfeldanalysen** zum Einsatzpotential von Wasserstoff durch (gelb).



## Impressum

### Herausgeber

NOW GmbH  
Fasanenstraße 5, 10623 Berlin  
030 311 611 6100  
kontakt@now-gmbh.de  
[www.now-gmbh.de](http://www.now-gmbh.de)

### Autor\*innen

Tom Mikus, NOW GmbH  
Sabine Ziem-Milojevic, NOW GmbH  
Catharina Horn, NOW GmbH  
Sammy Wittop, NOW GmbH

### Gestaltung

Studio Zweibrand GmbH  
August-Bebel-Straße 27,  
14482 Potsdam  
seifert@studio-zweibrand.de  
[www.studio-zweibrand.de](http://www.studio-zweibrand.de)

### Stand

Februar 2024

### Bild- und Grafikquellen

S.2: Clean Power Net (2018)  
S.2: United Nations (2023)

### Kontakt

exporthinitiative@now-gmbh.de

## Quellen

**IEA (2022):** For the First Time in Decades, the Number of People without Access to Electricity is Set to Increase in 2022

**IEA (2023):** Tracking SDG<sub>7</sub> – The Energy Progress Report 2023

**IFC (2019):** The Dirty Footprint of the Broken Grid – The Impacts of Fossil Fuel Back-up Generators in Developing Countries

**UNESCAP (2021):** Systematic Review of the Socio-Economic Impacts of Rural Electrification

**Clean Power Net (2018):** Planning Guideline for Fuel Cell Back-Up Power Supplies – Uninterruptible Power Supply (UPS) and Emergency Power Systems (EPS) With Fuel Cells

**Tensay Hadush Meles (2020):** Impact of power outages on households in developing countries: Evidence from Ethiopia

**World Bank (2019):** In the Dark – How Much Do Power Sector Distortions Cost South Asia?

**E4tech (2023):** Potentialanalyse zu technischer Eignung und Wirtschaftlichkeit von Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologien in verschiedenen Anwendungsbereichen der dezentralen/netzfernen Stromversorgung

**AHK Chile (2021):** Einsatz von grünem Wasserstoff zur netzfernen Stromversorgung in Insel- und kleineren Stromnetzen in Chile

**DGIC Nigeria (2022):** Technisch-wirtschaftliche Machbarkeitsstudie: Produktion von grünem Wasserstoff für den Einsatz in netzfernen Anwendungen, Lagos – Nigeria

**IEA (2023a):** Population, total - Nigeria

**IEA (2023b):** Access to electricity (% of population) – Nigeria

**IEA (2023c):** Access to electricity, rural (% of rural population) - Nigeria

**AHK Philippinen (2022):** Grüner Wasserstoff – Umfeldanalyse Philippinen 2022

**NPC (2021):** NPC signifies bid for more solar hybrid facilities in its SPUG areas



Im Auftrag des:



Bundesministerium  
für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit  
und Verbraucherschutz