



Leopoldina
Nationale Akademie
der Wissenschaften



Optionen für den Import von grünem Wasserstoff nach Deutschland per Tanker und Pipeline

Zwischenergebnisse der ESYS-AG „Wasserstoffwirtschaft 2030“

Impuls auf den Berliner Energietagen (02.05.2022)

AG-Kernteam: Philipp Stöcker (RWTH Aachen), Frithjof Staiß (ZSW),

Maike Schmidt (ZSW), Cyril Stephanos (ESYS), Sven Wurbs (ESYS)

www.energiesysteme-zukunft.de

AG Wasserstoffwirtschaft 2030

interdisziplinär: 16 Mitglieder | Natur-, Ingenieur-, Geisteswissenschaften | Wissenschaft und Industrie
Leitung: Prof. Dr. Frithjof Staiß (ZSW, Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-W.)

Jan. 2021

Q1 2022

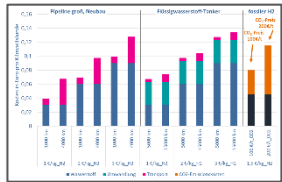
Q2 2022

VÖ: Mitte 2022



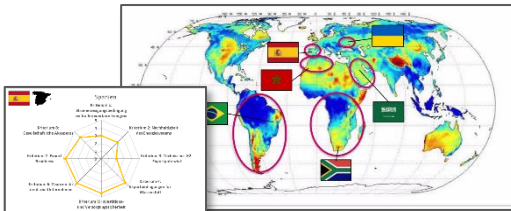
Entwurf

Abstimmung



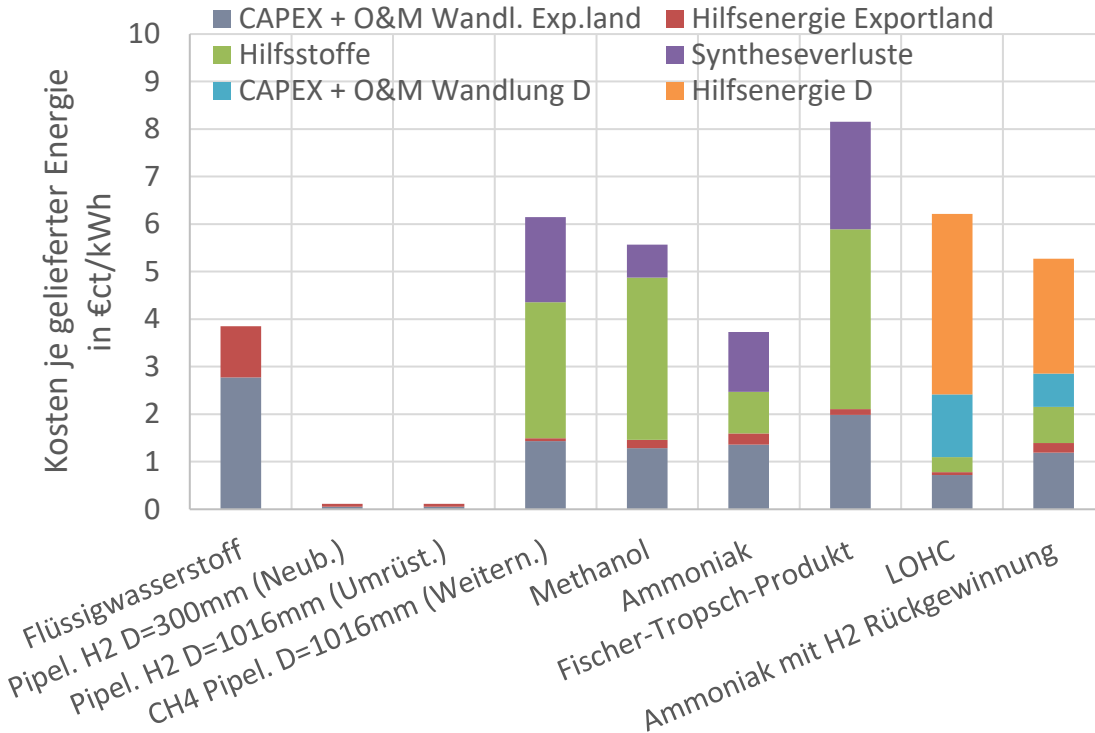
Ergebnisse:

- Bewertungstool zum Kostenvergleich von Transportoptionen
 - Methodik zum Einstieg in die Analyse von Exportländern
 - Analyse technischer, rechtlicher und sozio-ökonomischer Realisierungshemmnisse mit skizzierten Handlungsoptionen
 - Rechtsgutachten zu Regulierung/Zertifizierung/internationalem Handel
- ➔ **transparente Methodikdarstellung**
- ➔ **für alle zugängliches und adaptierbares Bewertungstool**
- ➔ **Methodik auf frei zugänglicher Datenbasis mit regelm. Aktualisierung**



Veröffentlichungen: - Analysepapier und Methodenpapier im Q2 2022
- zwei (externe) Rechtsgutachten im Juli 2021

Umwandlungskosten (Status 2030)



Quelle: Eigene Rechnungen, exkl. Kosten Wasserstoff

Systemgrenzen

- generische Analyse
- Input: gasförmiger H₂, Hilfsenergien
- Output: Endprodukt an Landesgrenze (D)

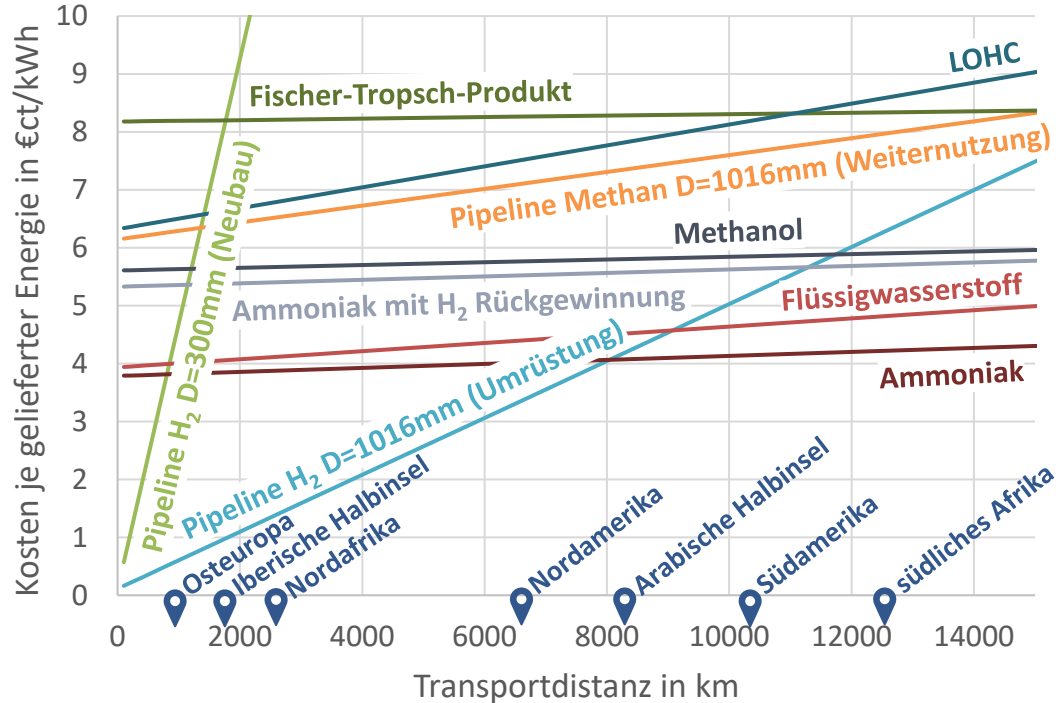
Modellumfang

- Umwandlung von H₂ im Exportland (inkl. Gewinnung Hilfsstoffe)
- Transport und ggf. Umwandlung am Import-Terminal (D)
- Fokus: Transport (Pipelines/Schiffe)

Basisdaten:

- kalkulatorischer Zinssatz: 8%
- Umwandlung/Pipelines: 5.000 äquiv. VLS
- Schiffe: kontin. Pendelbetrieb
- Kosten Hilfsstoffe:
CO₂ 145 €/t N₂ 55 €/t BT 2 €/kg (LOHC)

Transport- und Umwandlungskosten nach Entfernung (Status 2030)



Quelle: Eigene Rechnungen, exkl. Kosten Wasserstoff

Systemgrenzen

- generische Analyse
- Input: gasförmiger H₂, Hilfsenergien
- Output: Endprodukt an Landesgrenze (D)

Modellumfang

- Umwandlung von H₂ im Exportland (inkl. Gewinnung Hilfsstoffe)
- Transport und ggf. Umwandlung am Import-Terminal (D)
- Fokus: Transport (Pipelines/Schiffe)

Basisdaten:

- kalkulatorischer Zinssatz: 8%
- Umwandlung/Pipelines: 5.000 äquiv. VLS
- Schiffe: kontin. Pendelbetrieb
- Kosten Hilfsstoffe:

CO ₂ 145 €/t	N ₂ 55 €/t	BT 2 €/kg (LOHC)
-------------------------	-----------------------	------------------

Wirkungsgrade

Transportoption	Distanz	Prozesskette	Wirkungsgrad, bezogen auf den eingesetzten	
			Wasserstoff	EE-Strom
gasförmiger Wasserstoff per Pipeline	1.000 km	99 % → 99 %	98%	63%
	4.000 km	99 % → 96 %	94%	61%
flüssiger Wasserstoff per Schiff	10.000 km	81 % → 93 %	75%	49%
LOHC per Schiff	10.000 km	99 % → 94 % → 73 %	68%	44%
Ammoniak per Schiff (stoffliche Nutzung)	10.000 km	83 % → 97 %	80%	52%
Ammoniak per Schiff mit H ₂ -Rückgewinnung	10.000 km	83 % → 97 % → 93 %	75%	49%
Methan per Pipeline	1.000 km	100 %	63%	41%
	4.000 km	63 % → 99 %	63%	41%
Methanol per Schiff	10.000 km	65 % → 98 %	63%	41%
FT-Produkte per Schiff	10.000 km	57 % → 99 %	56%	37%

Zusammenfassung



Leopoldina
Nationale Akademie
der Wissenschaften



- **Vielfältige Optionen** für den Import von Wasserstoff, je nach
 - Einsatzzweck
 - Zeithorizont der Umsetzung
 - Geografisch-politische Gegebenheiten
- **Kostenstruktur** bei Pipelines durch Transport dominiert, bei Schiffen durch Umwandlung
- **Relevante Kostenposition** neben Kosten für Wasserstoff selbst
 - 4 - 8 ct/kWh (2 €/kg Wasserstoff sind 6 ct/kWh)
 - Ausnahme: große Pipelines aus dem europäischen Ausland / Nordafrika
- **Effizienz** im Blick behalten
 - Große Bandbreite
 - Beeinflusst direkt den Bedarf an EE-Stromerzeugung im Exportland





Leopoldina
Nationale Akademie
der Wissenschaften



Kontakt

Koordinierungsstelle Energiesysteme der Zukunft

Sven Wurbs

Pariser Platz 4a

10117 Berlin

wurbs@acatech.de

www.energiesysteme-zukunft.de



Nationale Akademie der Wissenschaften Leopoldina
acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften
Union der deutschen Akademien der Wissenschaften

Qualitative Bewertung



- Anlandung in den Niederlanden mit Regasifizierung und Verteilung über das Erdgasnetz wäre unmittelbar möglich.
- Planungen für zwei eigene LNG-Terminals in Deutschland bestehen, Umsetzungshorizont aufgrund der Diskussionen eher 5 Jahre (+), keine technologischen Hürden sondern eher politische und ggf. zu geringe Auslastung.
- Die Terminalplanungen sind teilweise umstritten. Ob LNG der zukünftige Transportvektor sein wird, ist auch hier offen (Diskussion um Flexibilisierung bspw. mit Ammoniak).
- Umsetzung hängt auch an den Skalierungsfortschritten für die Syntheseanlagen und an der CO₂-Verfügbarkeit/Quelle.

- Es besteht eine Gefahr, bestehende Pfadabhängigkeiten beim Erdgas zu verlängern und ggf. auch zu erhöhen durch neue Hafeninfrastrukturen etc.
- Fortführung des Bestehenden führt ggf. zu einer geringen Transformationsbereitschaft bzw. -aktivität
- Die Weiternutzung bestehender Assets bedeutet finanzielle Vorteile, was diesen Pfad begünstigt.

- Bei einer Freisetzung verdampft LNG zu Methan.
- Methan entfaltet eine negative Wirkung als Treibhausgas.
- daneben eher geringe Umweltwirkungen

Transportvektoren

	Importinfrastruktur	Umsetzungshorizont	Energiesystemstabilität	Pfadabhängigkeiten/ Lock-ins	polit.-regulator. Rahmen	Umweltrisiken	Sicherheit
CH ₄ (per Schiff)	+	+ (CO ₂ aus Industrie) - (CO ₂ aus DAC)	++	-	+	0	0

- In Europa ist eine entsprechende Transport- und Anlandungsinfrastruktur für LNG vorhanden. LNG wird allerdings kaum als LNG weitertransportiert, sondern hauptsächlich regasifiziert und in die vorhandene Pipelineinfrastruktur eingespeist.
- In Deutschland gibt es bislang keine eigenen LNG-Terminals. Diese sind in Planung, jedoch teilweise umstritten.

- Durch die Speicherbarkeit in bestehenden Infrastrukturen kann LNG einen Beitrag zur Stabilisierung des Energiesystems ebenso wie zu dessen Flexibilisierung leisten.
- unterstützt auch den Einsatz vorhandener Flexibilitäten wie Gasturbinen als Spitzenlastkraftwerke

- Der regulatorische Rahmen für Erdgas (auch LNG als Energieträger z.B. als Treibstoff für Schiffe und LKW) ist gegeben.
- zusätzlicher Regulierungsbedarf erscheint nicht gegeben

- als LNG flüssig, aber aktiv gekühlt
- bei Leckage Übergang in die gasförmige Phase, relativ flüchtig, rasche Verdünnung, brennbar
- In geschlossenen Räumen besteht ab einem bestimmten Mischverhältnis Explosionsgefahr.

	Importinfrastruktur	Energiesystemstabilität	Pfadabhängigkeiten / Lock-ins	Politisch-regulator. Rahmen	Umweltrisiken	Sicherheit	Umsetzungshorizont
Wasserstoff (komprimiert Pipeline)	0	+	0	+	++	0	+
Wasserstoff (flüssig Pipeline)	-	+	0	0	++	0	8-10 Jahre
Wasserstoff (Schiff)	-	0	+	-	++	0	8-10 Jahre
Methan (Pipeline) CO ₂ -arm (Industrieerzeugnisse)	++	+	-	++	0	0	0-2 Jahre
Methan (Pipeline) CO ₂ -arm (DAC)	++	+	-	++	0	0	8-10 Jahre
Ammoniak (Schiff) spezifische Nutzung	++ bis ++	0	0	+	-	-	0-2 Jahre
Ammoniak (Schiff) mit H ₂ -Nutzung	+	-	0	0	-	-	0 bis ... ab 7 Jahre
Methan (Schiff) CO ₂ -arm (Industrieerzeugnisse)	++	0	+	++ bis ++	0	0	++ ab 2 Jahre
Methan (Schiff) CO ₂ -arm (DAC)	++	0	+	++ bis ++	0	0	8-10 Jahre / 10 Jahre / 10 Jahre
CO ₂ (Schiff) direkte Nutzung	0 bis +	-	-	+	-	++ bis ++	-

Qualitative Bewertung 1



	Umsetzungs- horizont	vorhandene Import- infrastruktur	politisch- gesetzlicher Rahmen	Pfadabhangig- keiten/ Lock-ins	Energiesyste- mstabilitat	Umwelt- risiken	Sicherheit
Wasserstoff (umgerustete Pipeline)	+	0	+	0	+	++	0
Wasserstoff (neue Pipeline)	-	-	0	0	+	++	0
Flussigwasserstoff (Schiff)	-	--	-	+	+	++	0
Methan (Pipeline) CO ₂ aus Industrieprozessen	++	++	++	-	+	0	0
Methan (Pipeline) CO ₂ aus DAC	-	++	++	-	+	0	0
Ammoniak (Schiff) stoffliche Nutzung	++	+ bis ++	+	0	0	--	-
Ammoniak (Schiff) mit H ₂ - Ruckgewinnung	0 bis -	+	0	0	-	--	-

Qualitative Bewertung 2



	Umsetzungs- horizont	vorhandene Import- infrastruktur	politisch- gesetzlicher Rahmen	Pfadabhangig- keiten/ Lock-ins	Energiesyste- mstabilitat	Umwelt- risiken	Sicherheit
Methanol (Schiff) CO ₂ aus Industriepro- zessen	++ (0-2 Jahre)	++	+ bis ++	+	0	0	0
Methanol (Schiff) CO ₂ aus DAC	- (8-10 Jahre)	++	+ bis ++	+	0	0	0
LOHC (Schiff) Ruckgewinn- ung zentral	- (8-10 Jahre)	0 bis +	+	-	-	--	+ bis ++
LOHC (Schiff) Ruckgewinn- ung dezentral	- (8-10 Jahre)	0 bis +	+	--	0	--	+ bis ++
synthetische FT-Produkte (Schiff) CO ₂ aus Industriepro- zessen	++ (0-2 Jahre)	++	++	0 bis -	+	--	+
synthetische FT-Produkte (Schiff) CO ₂ aus DAC	- (8-10 Jahre)	++	++	0 bis -	+	--	+

Kriterien qualitative Bewertung

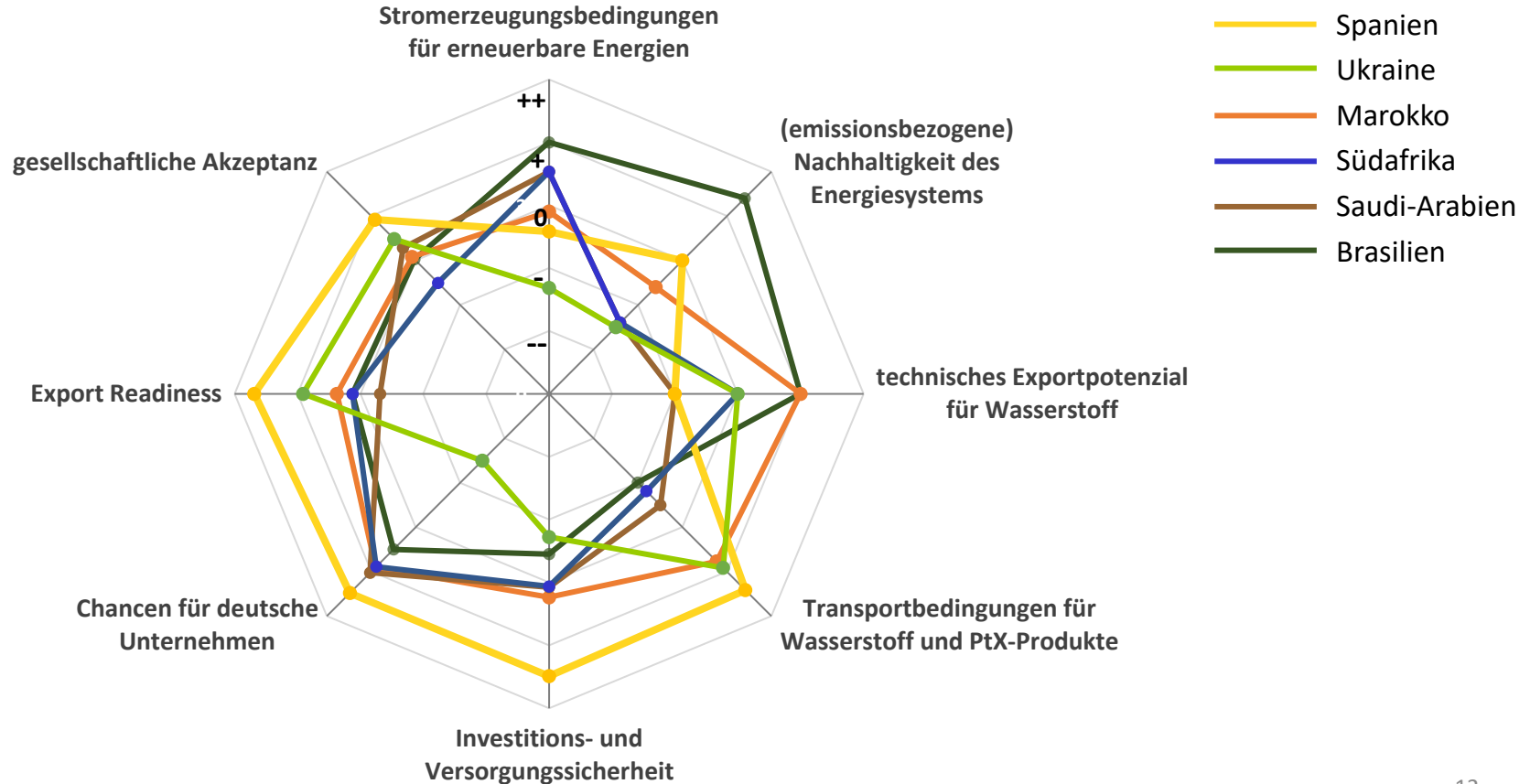


Qualitative Bewertungsmatrix		Bewertungsmaßstab
Kriterium 1	bestehende Importinfrastrukturen	-- nichts vorhanden ++ vollständig vorhanden
Kriterium 2	Energiesystemstabilität	-- stark negative Wirkungen auf andere zentrale Elemente des Energiesystems, negative Wirkung auf Versorgungssicherheit ++ stark positive Wirkungen auf andere zentrale Elemente des Energiesystems, positive Wirkung auf Versorgungssicherheit
Kriterium 3	Pfadabhängigkeiten und Lock-in-Effekte	-- hohe Gefahr ++ keine Gefahr
Kriterium 4	regulatorischer Rahmen	-- geringe Umsetzungswahrscheinlichkeit und hoher Aufwand ++ hohe Umsetzungswahrscheinlichkeit und geringer Aufwand
Kriterium 5	Umweltrisiken	-- hohes Umweltgefährdungspotenzial ++ keine Umweltgefährdung
Kriterium 6	Sicherheit	-- hohes Gefahrenpotenzial ++ keine Gefährdung
Kriterium 7	erwarteter Umsetzungshorizont	-- > 10 Jahre ++ 0-2 Jahre

Länderanalyse: Gesamtschau



Leopoldina
Nationale Akademie
der Wissenschaften



Länderanalyse: Indikatorik



Kriterium 8:

- A: Wasserverbrauch (25%)
- B: Environmental Sustainability (25%)
- C: Exportbereitschaft (25%)
- D. Akzeptanz für Ausbau von EE vor Ort (25%)

Kriterium 1:

- A: EE-Potenzial (80%)
- B: EE-Optionen (20%)

Kriterium 2:

- A: Defossilisierungsgrad Primärenergiemix (40%)
- B: Defossilisierungsgrad Strommix (40%)
- C: Grad der Elektrifizierung (20%)

Kriterium 3:

- A: H2-Export-Potenzial (100%)
abgeleitet aus K1 und K2

Kriterium 4:

- A: Transportdistanz (50%)
- B: Logistic Performance Index (50%)

Kriterium 5:

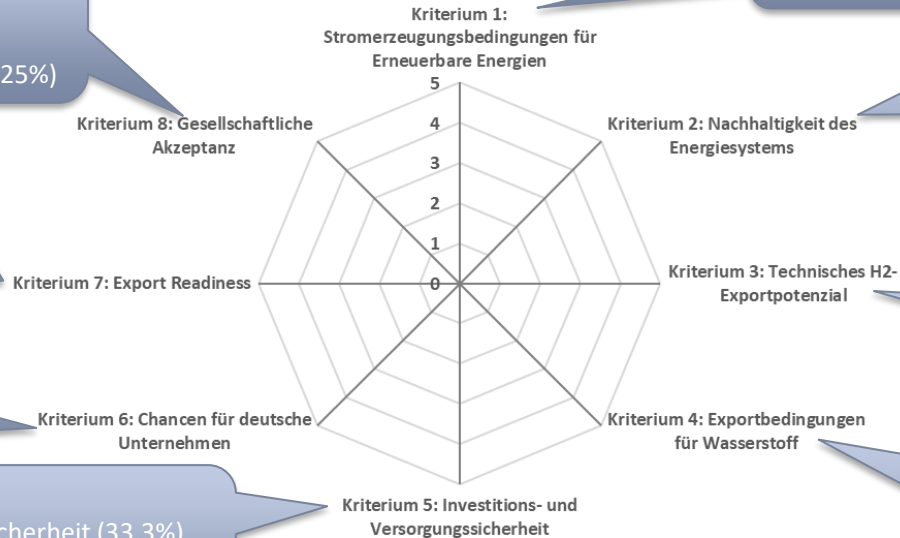
- A: Investitionssicherheit (33,3%)
- B: Demokratieindex (33,3%)
- C: Stabilität (33,3%)

Kriterium 7:

- A: Energiepartnerschaften (25%)
- B: Wasserstoffstrategien (25%)
- C: Bestehende Exportinfrastrukturen (25%)
- D: Human Development Index (25%)

Kriterium 6 :

- A: Ease of Doing Business (40%)
- B: Experteneinschätzung (60%)



Quelle: ESYS