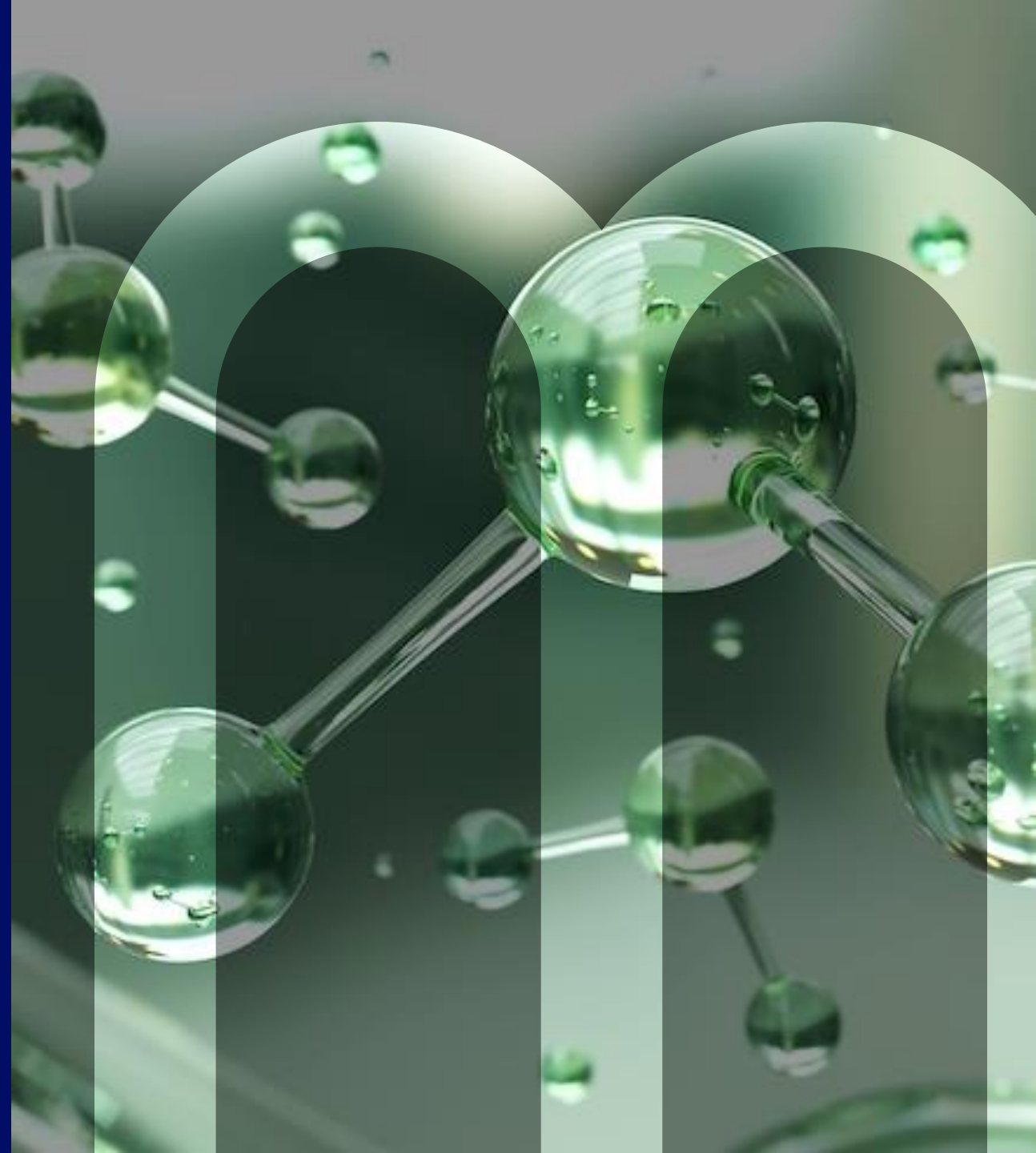


Grüner Wasserstoff: Entsperrung des brasilianischen Potenzials

Diskussionsdokument

Rio de Janeiro, November 2023





CONTENT

Overview des globalen Wasserstoffmarktes

Chancen für Brasilien auf dem Wasserstoffmarkt

Angesichts des schnellen Wachstums des Wasserstoffmarktes haben Unternehmen die Möglichkeit, sich als führende Akteure im globalen Dekarbonisierungsprozess zu etablieren.

Wasserstoff spielt eine entscheidende Rolle bei der Erreichung globaler Dekarbonisierungsziele

- Die Umsetzung dieser Ziele erfordert den Einsatz sauberer Rohstoffe und Brennstoffe in schwer zu dekarbonisierenden Branchen wie Stahl, Düngemittel, Luftfahrt, Schifffahrt, Zement und anderen
- Niedrigkohlenstoffwasserstoff wird weltweit akzeptiert, weil er vielseitig einsetzbar ist und fossile Brennstoffe ersetzen kann, besonders in Bereichen, wo Elektrifizierung schwierig ist.
- Länder mit 80 % des globalen BIP haben Strategien zur Förderung des Marktes für kohlenstoffarmen Wasserstoff implementiert. Ziel ist die Expansion durch Festlegung von Angebot- und Nachfragezielen, Finanzierung und Anreizen. In den USA bietet die IRA Steuergutschriften von bis zu 3 USD/kg an.

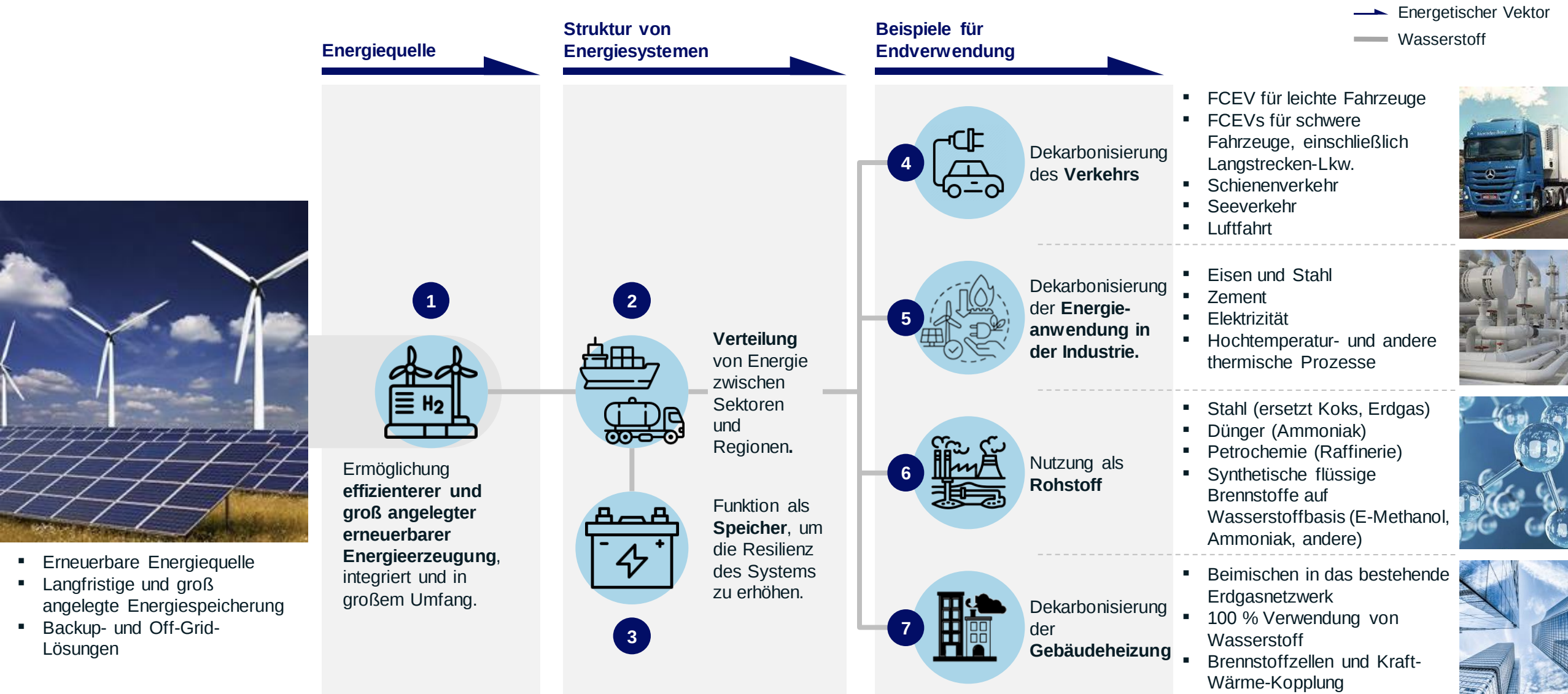
Derzeit erleben wir einen stark wachsenden Markt mit außergewöhnlichem Potenzial.

- Szenarien zeigen, dass der Markt für kohlenstoffarmen Wasserstoff bis 2050 225 Mt/Jahr erreichen wird, mehr als das Doppelte des Marktes im Jahr 2020 (88 Mt/Jahr), was einem Wert von 340-450 Milliarden USD pro Jahr entspricht.
- Projekte vermehren sich weltweit - es gibt über 1.400 niedrigkohlenstoffhaltige Wasserstoffprojekte in verschiedenen Phasen (konzeptionell, Machbarkeit, FID, Bau oder Betrieb)
- Die angekündigten Investitionen stiegen von Mai 2023 bis Oktober 2023 um 36 % auf 570 Milliarden USD, mit etwa 25% dieser Investition bereit getätigt
- USA und China könnten zu den Hauptzentren von Angebot und Nachfrage für kohlenstoffarmen H₂ werden, während die EU, Südkorea und Japan möglicherweise wichtige Importeure aus kostengünstigen Produktionsregionen wie dem Nahen Osten, Nordafrika, Australien und Lateinamerika werden. Brasilien könnte aufgrund niedriger Energiekosten zu einem führenden Exporteur von grünem Wasserstoff werden.

Jetzt ist die Gelegenheit für Unternehmen, sich trotz der Herausforderungen als führende Akteure in dieser aufstrebenden Branche zu etablieren

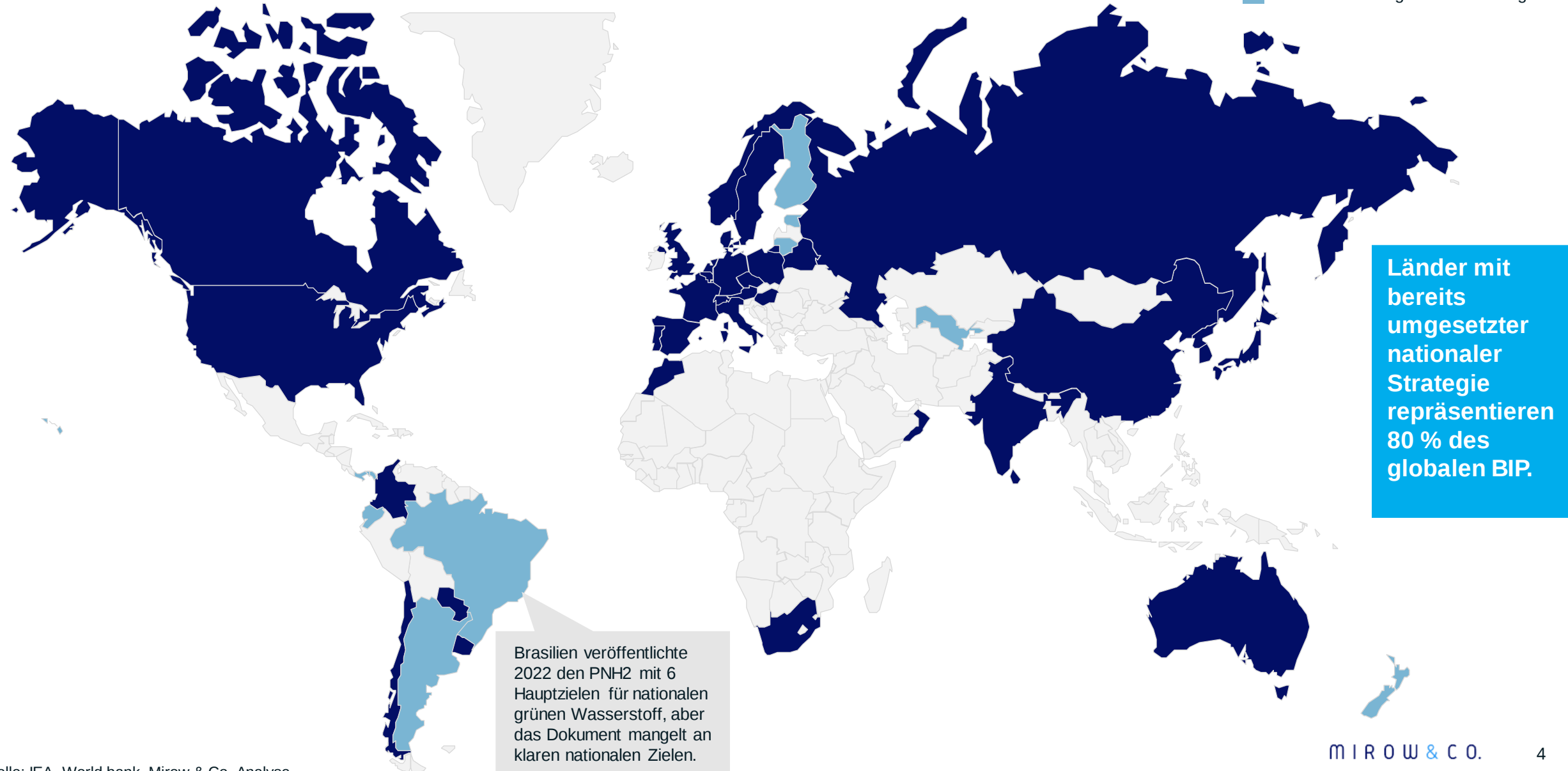
- Große Teilnehmer der Öl- und Gas- sowie Chemiebranche entwickeln aktiv Projekte zur Produktion von niedrigkohlenstoffhaltigem Wasserstoff, während große Unternehmen der Düngemittel- und Stahlbranche sich strategisch als Verbraucher von niedrigkohlenstoffhaltigem Wasserstoff positionieren
- Die größte Herausforderung für die Entwicklung des Wasserstoffmarktes besteht darin, wettbewerbsfähig zu werden, ohne Subventionen, was bereits bis 2030 mit einem Wasserstoff im Bereich von 1-3 USD/kg erreicht werden könnte, hauptsächlich durch Reduzierung des Elektrolyseur-CAPEX und der Stromkosten.

Wasserstoff kann mehrere Aktivitäten dekarbonisieren



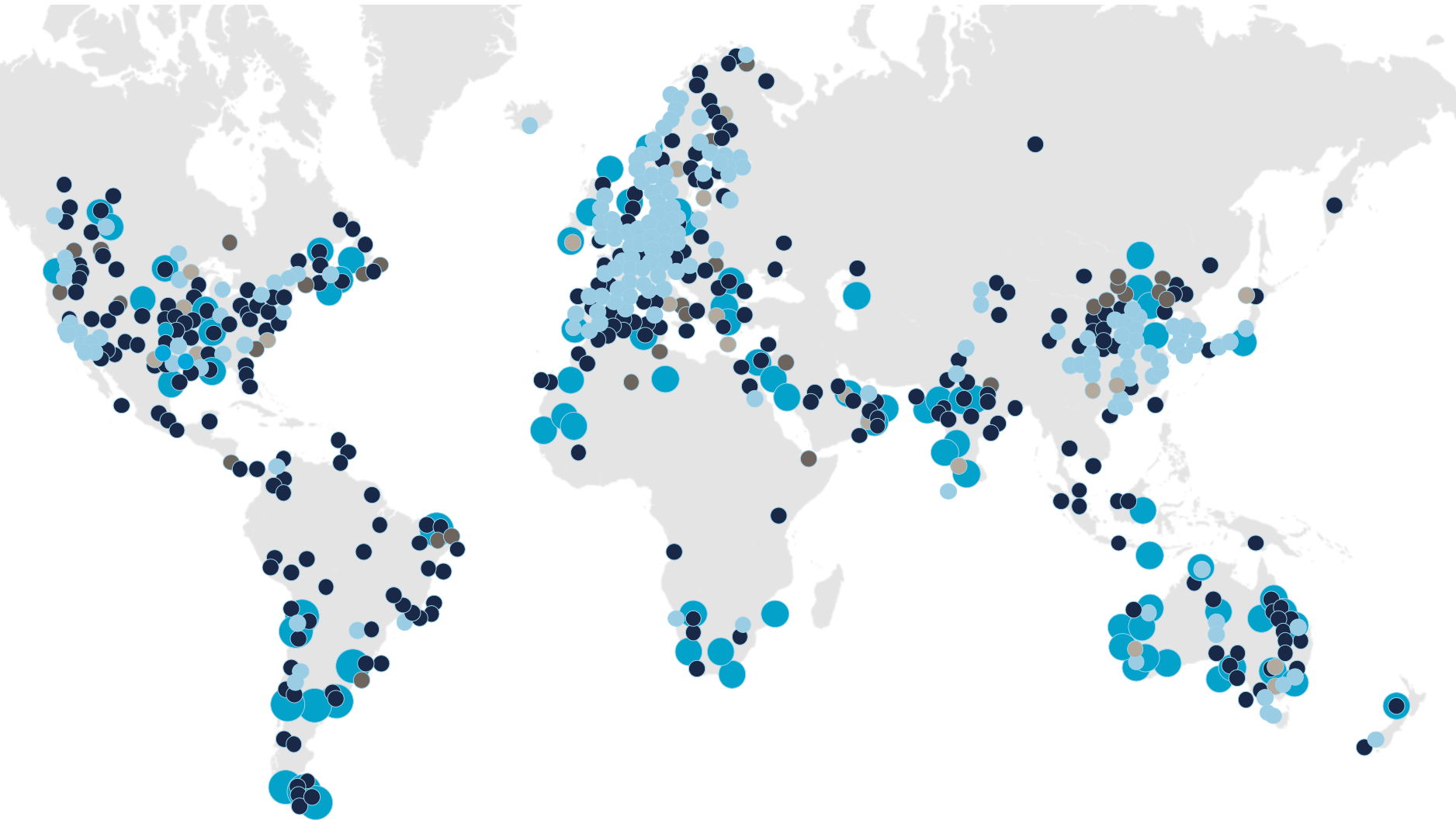
Deshalb fördert eine weltweite Bewegung den Markt für Niedrigkohlenstoffwasserstoff...

Länder mit einer nationalen umgesetzte oder entwickelnde Wasserstoffstrategie



... was einen Boom an Projekten auf der ganzen Welt fördert.

Anzahl der kohlenstoffarmen Wasserstoffprojekte weltweit¹ bis Oktober 2023:



1.418 Projekte¹

1.046 in Mai 2023 (36% wachstum)

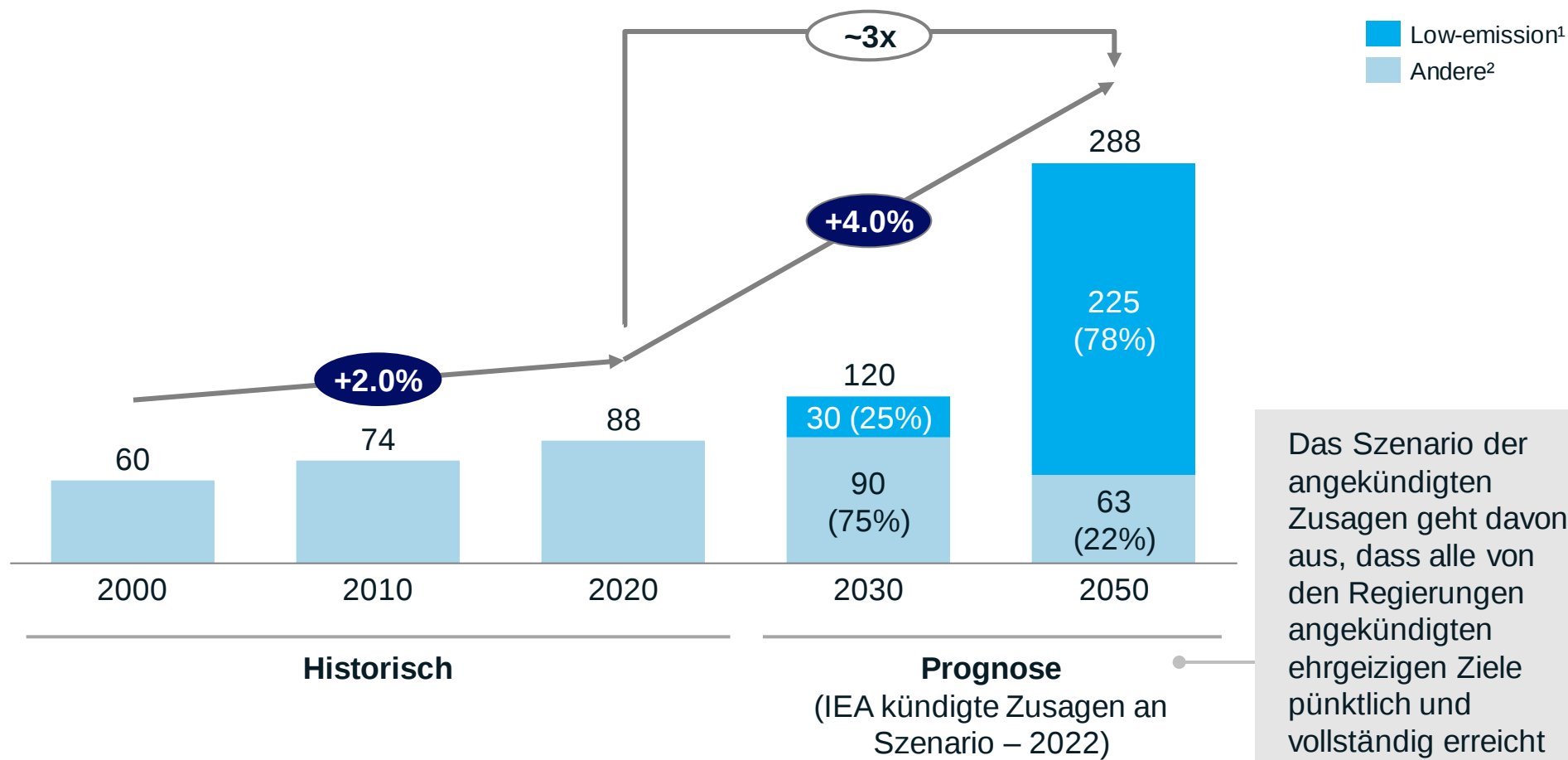
- 166 (+48% wachstum)**
Giga-scale Produktion
- 719**
Großindustrielle Nutzung
- 256**
Mobilität
- 144**
Integrierte Wasserstoffwirtschaft
- 126**
Infrastrukturprojekte

1. Projektankündigungen unter 1 MW ausgeschlossen; enthält 7 Projekte ohne spezifizierte Art.
Quelle: Hydrogen Council, Mirow & co. Analyse

Die weltweite Wasserstoffnachfrage wuchs in den letzten 20 Jahren mit einer CAGR von 2 % und wird sich bis 2050 voraussichtlich verdreifachen.

Globale Wasserstoff Nachfrage, 2000-2050

Mt H₂

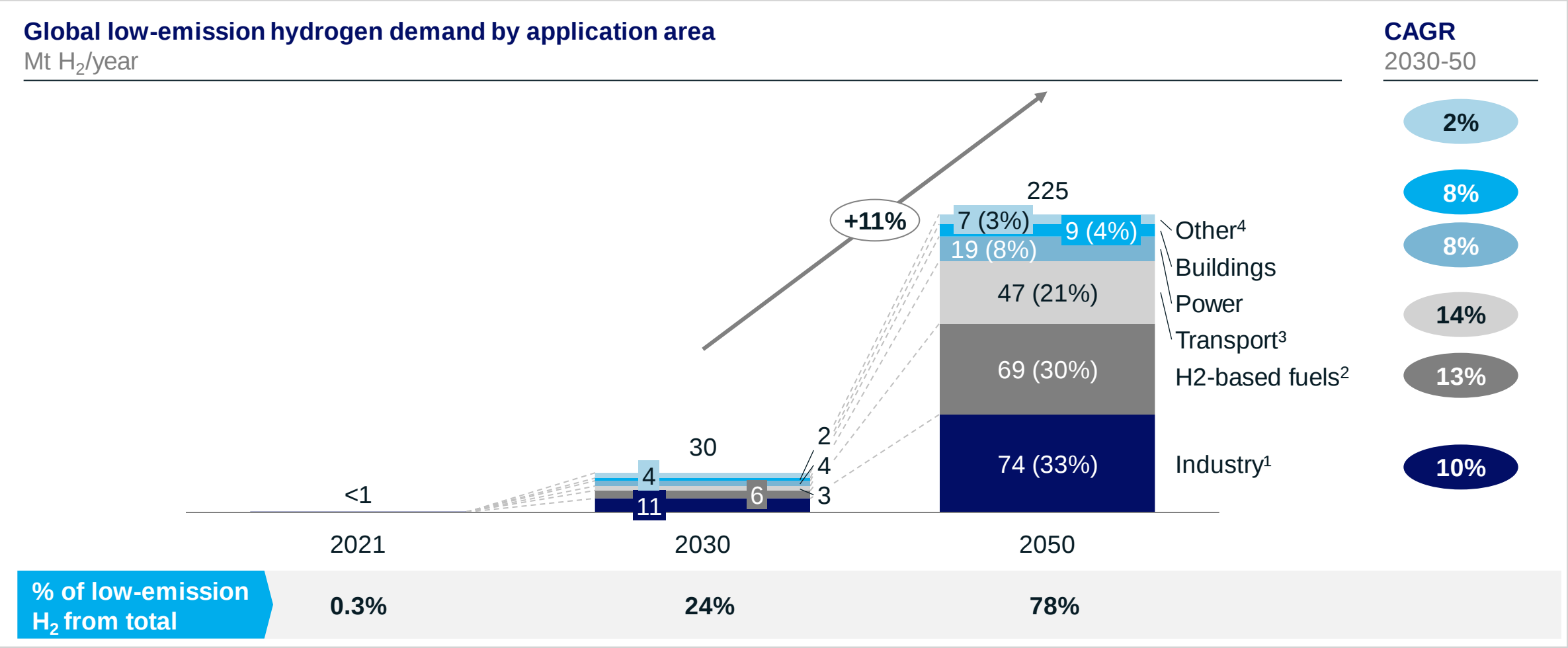


Das Szenario der angekündigten Zusagen geht davon aus, dass alle von den Regierungen angekündigten ehrgeizigen Ziele pünktlich und vollständig erreicht werden

Es wird erwartet, dass die Nachfrage nach emissionsarmem Wasserstoff in den kommenden Jahren rapide steigen wird, da der Schwerpunkt auf der Reduzierung von Treibhausgasemissionen, staatlichen Anreizen und den sinkenden Kosten für die Herstellung von Wasserstoff liegt, um ihn gegenüber anderen Energiequellen wettbewerbsfähig zu machen

1. Umfasst hauptsächlich Grün und Blau und andere Arten aus sauberen Quellen;
2. Wasserstoff mit hohen Emissionen, einschließlich grauem, braunem und schwarzem Wasserstoff
Quelle: IEA, Teamanalyse

Low carbon hydrogen demand will grow mainly driven by the applications in the industry, hydrogen-based fuels and transportation, according to the announced pledges scenario



Considering Announced Pledges Scenario, low-emission hydrogen demand could reach up to USD 340-450 bn globally⁵ by 2050

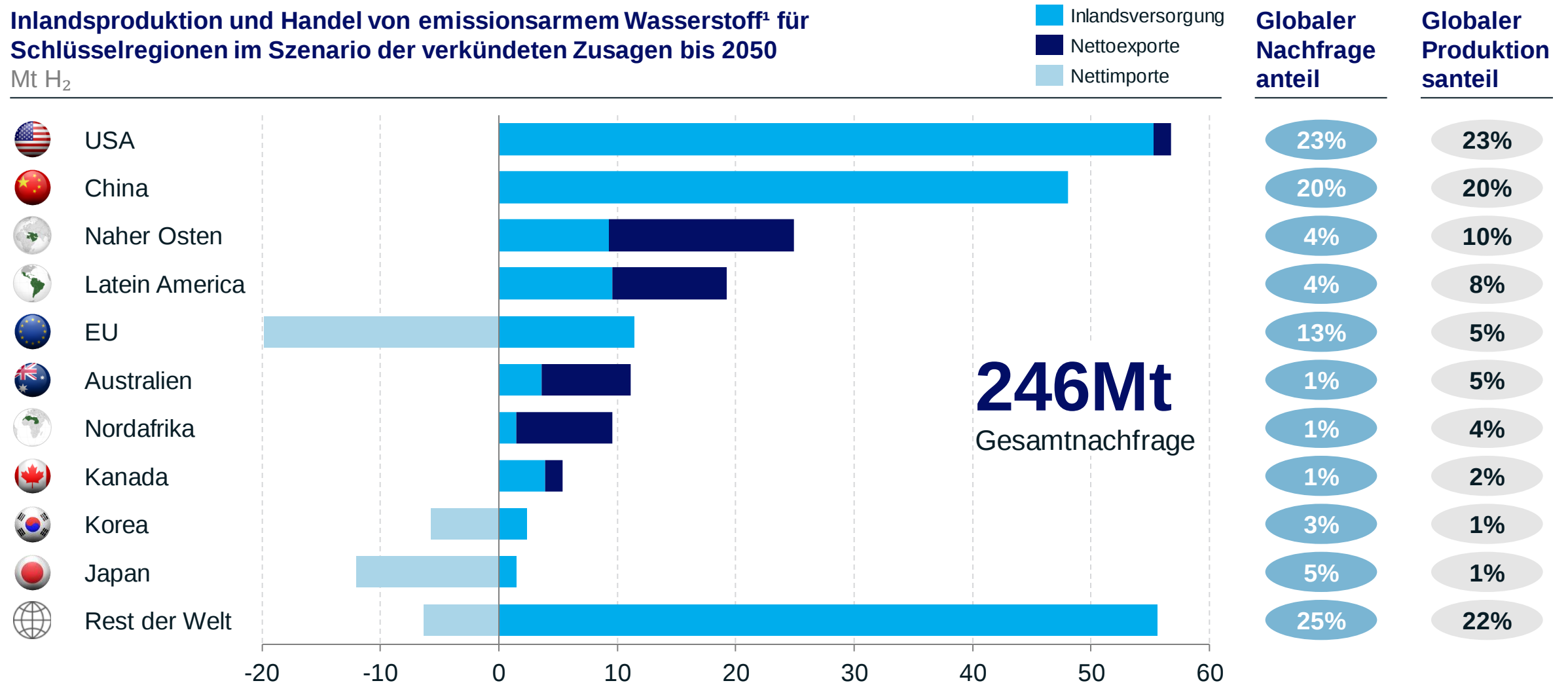
1. Mainly chemicals, iron & steel, and cement;
3. Mainly light-duty vehicles, heavy trucks, and aviation & shipping;
Source: IEA, team analysis

2. Ammonia, methanol and other synthetic hydrocarbons (gases and liquids) made from low-emissions hydrogen;
4. Mainly hydrogen used in refineries; 5. Price assumption of 1.5-2.0 USD/kg of low-emission hydrogen

Es wird erwartet, dass China und die USA die größten Märkte für emissionsarmen Wasserstoff sein werden, auf die 43 % der weltweiten Nachfrage und Produktion entfallen

Inlandsproduktion und Handel von emissionsarmem Wasserstoff¹ für Schlüsselregionen im Szenario der verkündeten Zusagen bis 2050

Mt H₂

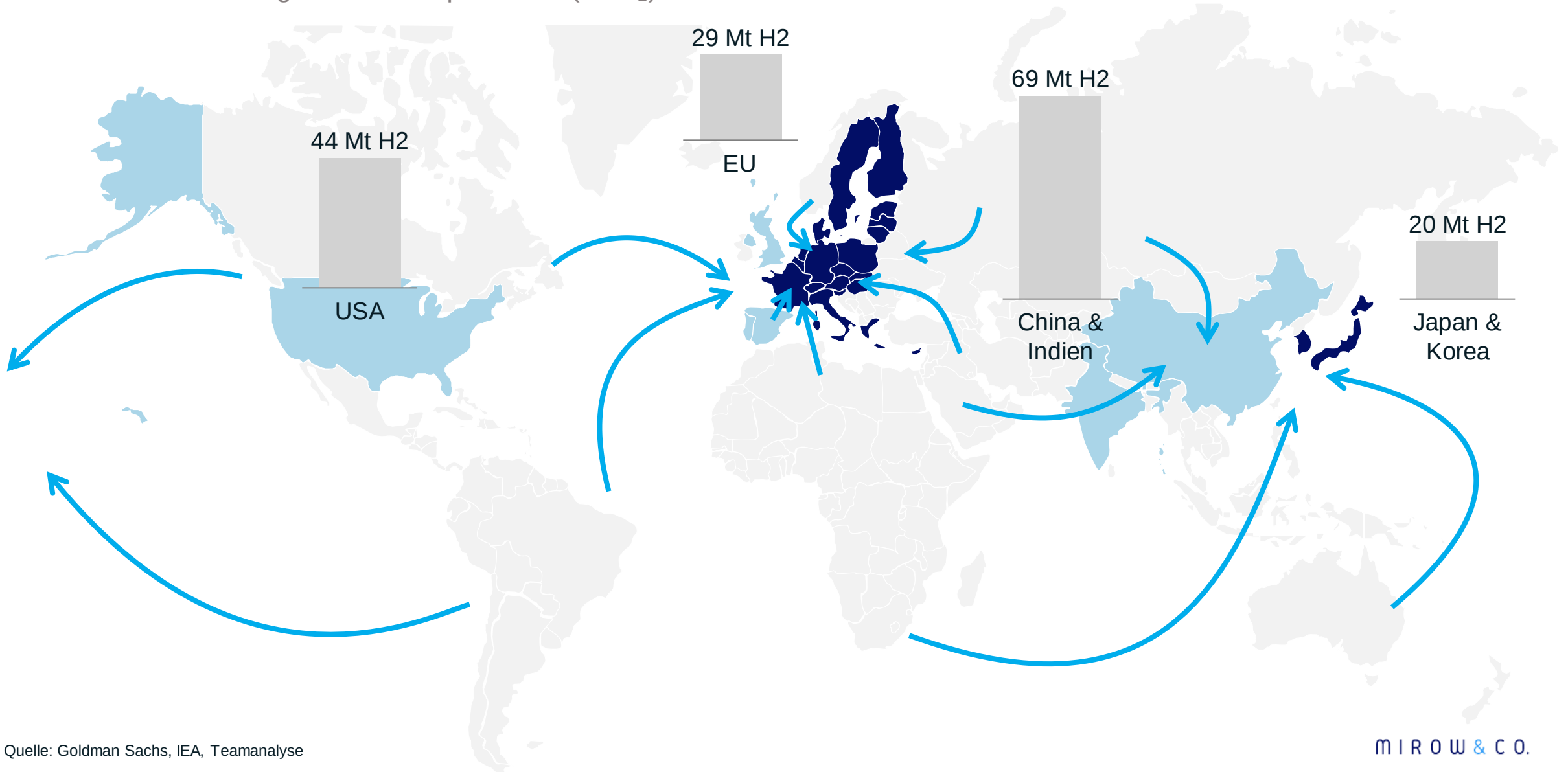


1. Emissionsarmer Wasserstoff umfasst wasserstoffbasierte Kraftstoffe als Mittel zum Export sauberer Energie durch seine Umwandlung in Wasserstoff
Quelle: IEA, Teamanalyse

Die Europäische Union, Japan und Korea dürften bis 2050 die wichtigsten Importmärkte für sauberen Wasserstoff sein

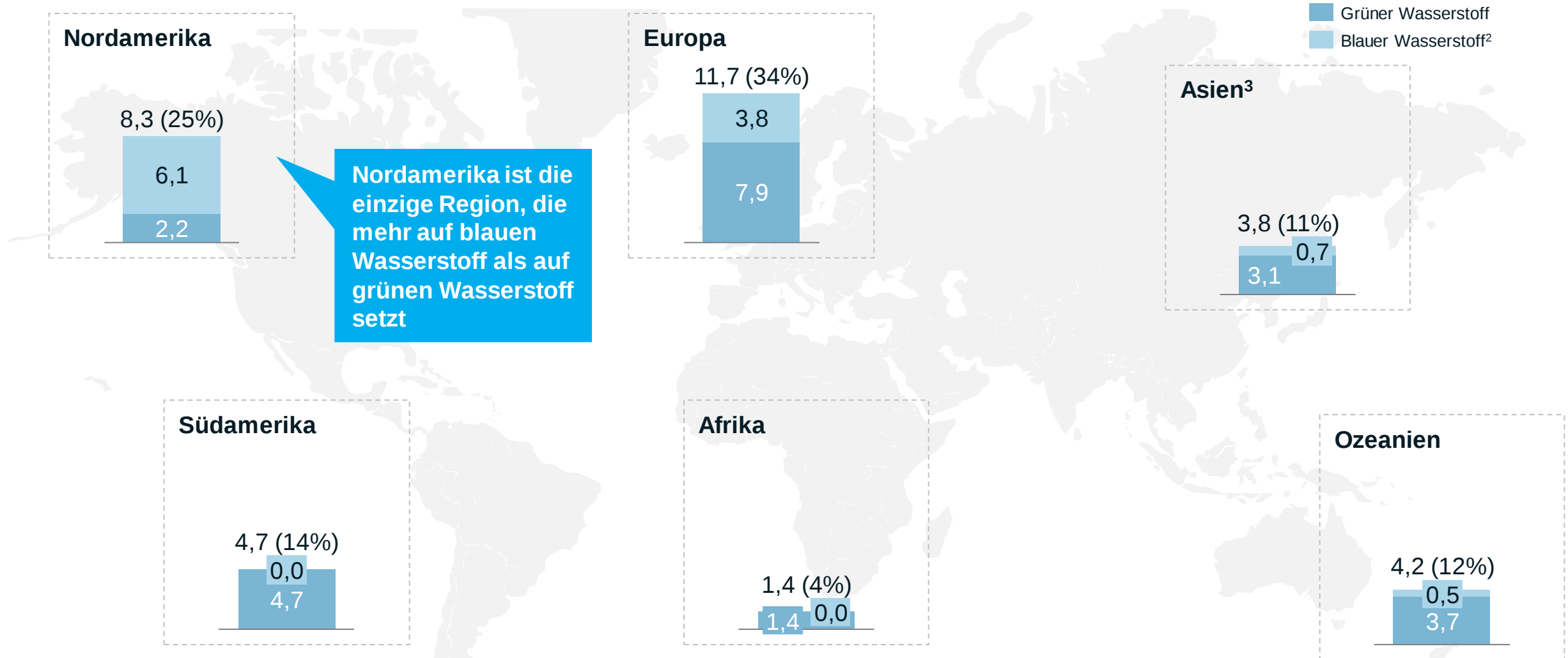
Wasserstoffnachfrage in den Hauptzentren (Mt H₂)

- Hauptnachfragezentren, die Märkte importieren werden
- Hauptbedarfszentren, die autark sein werden oder nahezu autark
- ➔ Strömung des internationalen Wasserstoffmarktes



Europa und Nordamerika konzentrieren 60% der 34 Mt angekündigten Projekten, wobei Nordamerika mehr in andere emissionsarme Wasserstoffprojekte investiert

Kapazität der angekündigten emissionsarmen Wasserstoffprojekte weltweit¹ in Mio. Tonnen H₂/Jahr (Stand Oktober 2022)



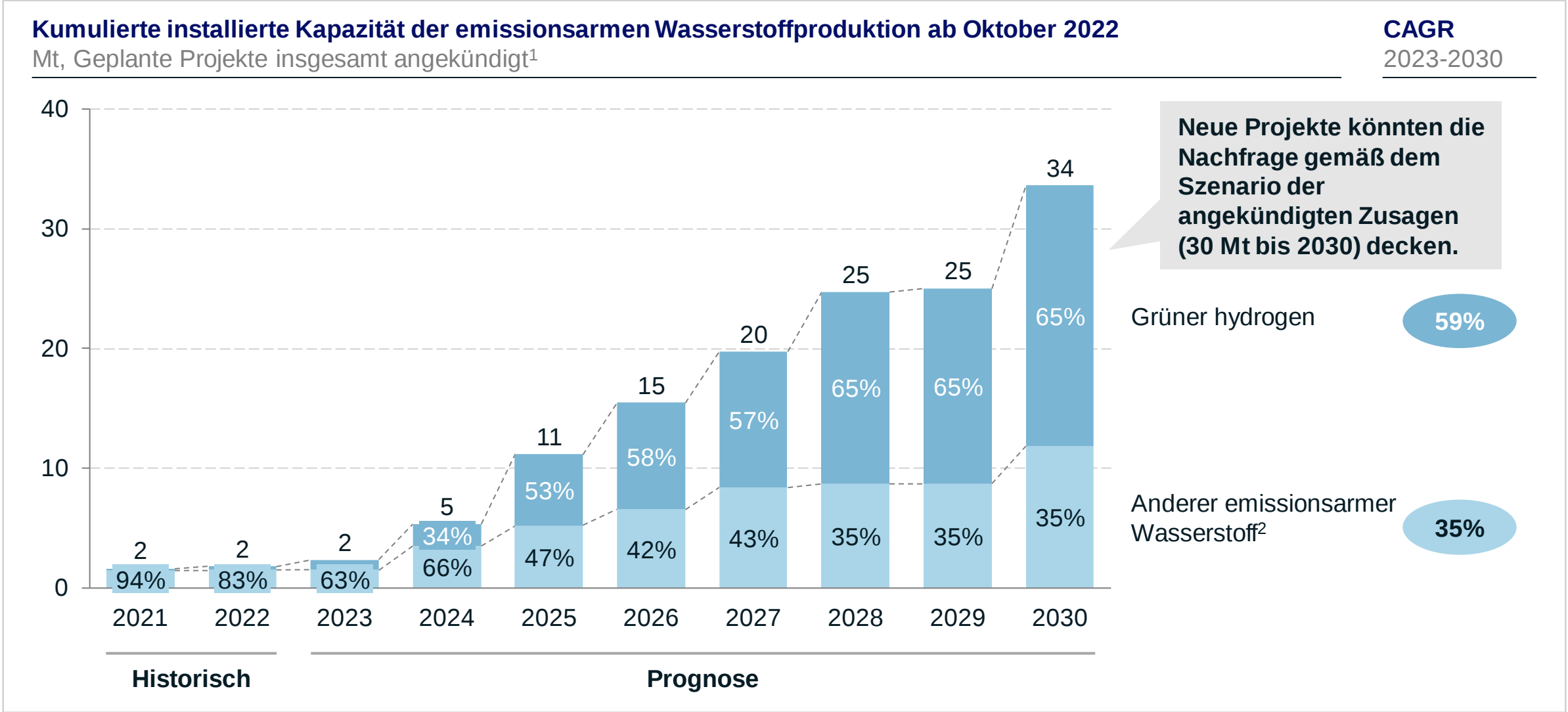
1. Es wurden nur Projekte berücksichtigt, die sich in einer Durchführbarkeitsstudie, einer endgültigen Investitionsentscheidung, im Bau oder in Betrieb befindlich befinden

2. Enthält hauptsächlich blauen Wasserstoff und andere Arten aus sauberen Quellen

3. Berücksichtigung des Nahen Ostens

Quelle: Hydrogen Council, IEA, Stand: Oktober 2022, Teamanalyse

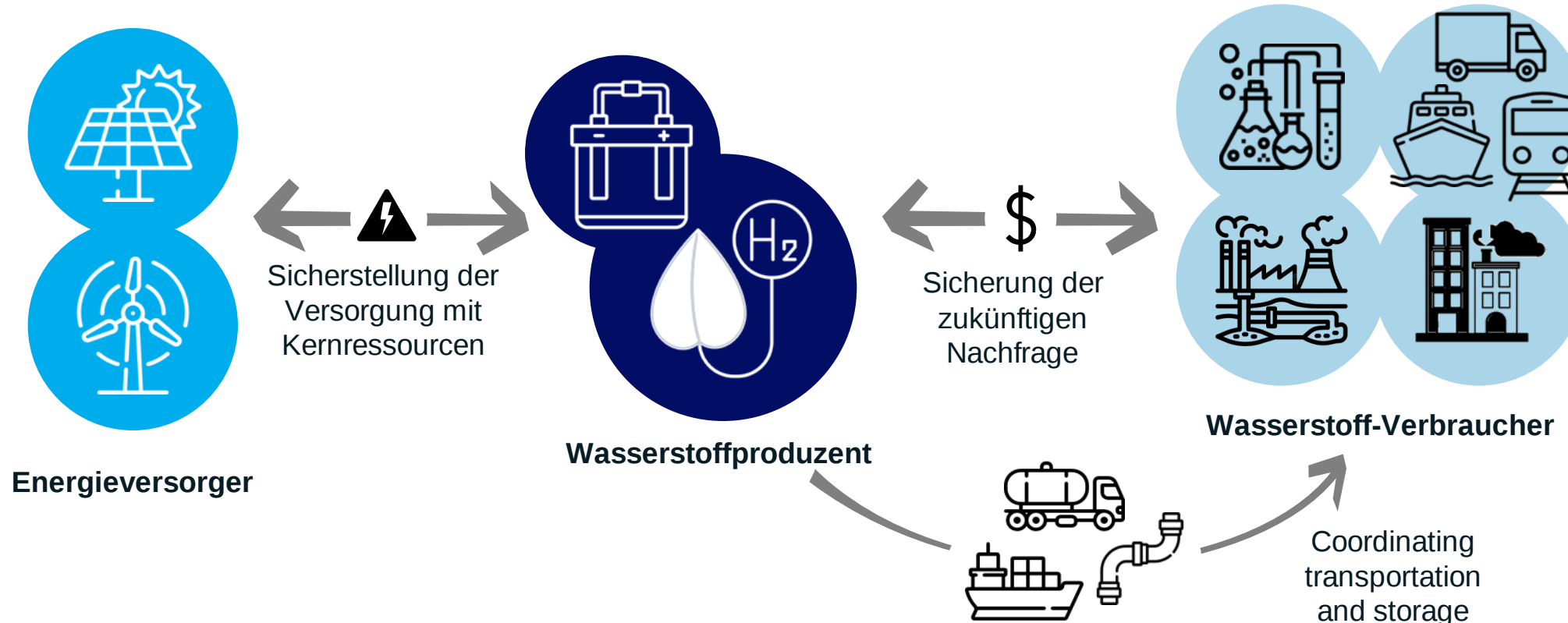
In diesem Jahrzehnt sind 34 Mt emissionsarme Wasserstoffprojekte geplant, meist grün und bis 2030 im Rahmen des Szenarios der angekündigten Zusagen (30 Mt).



1. Umfasst Projekte in der Machbarkeits-, FID-, Bau- und Betriebsphase
2. Enthält hauptsächlich blauen Wasserstoff und andere Arten aus sauberen Quellen
Quelle: IEA, Stand: Oktober 2022, hydrogen council, Teamanalyse

Aktuelle Projekte sind in der Regel End-to-End-Projekte konzipiert, mit langfristigen Verträgen über die Lieferung von Wasserstoff zu Cost-Plus-Preisen

- Frühzeitige Projekte sind von Anfang bis Ende konzipiert, um sowohl die grüne Energieversorgung als auch Wasserstoffkaufverträge zu gewährleisten. **Langfristige Umsatzverträge** sind entscheidend für frühzeitige Wasserstoffprojekte, um **die Risiken** im Zusammenhang mit dem Fehlen eines Wasserstoffhandelsmarktes **zu mindern**.

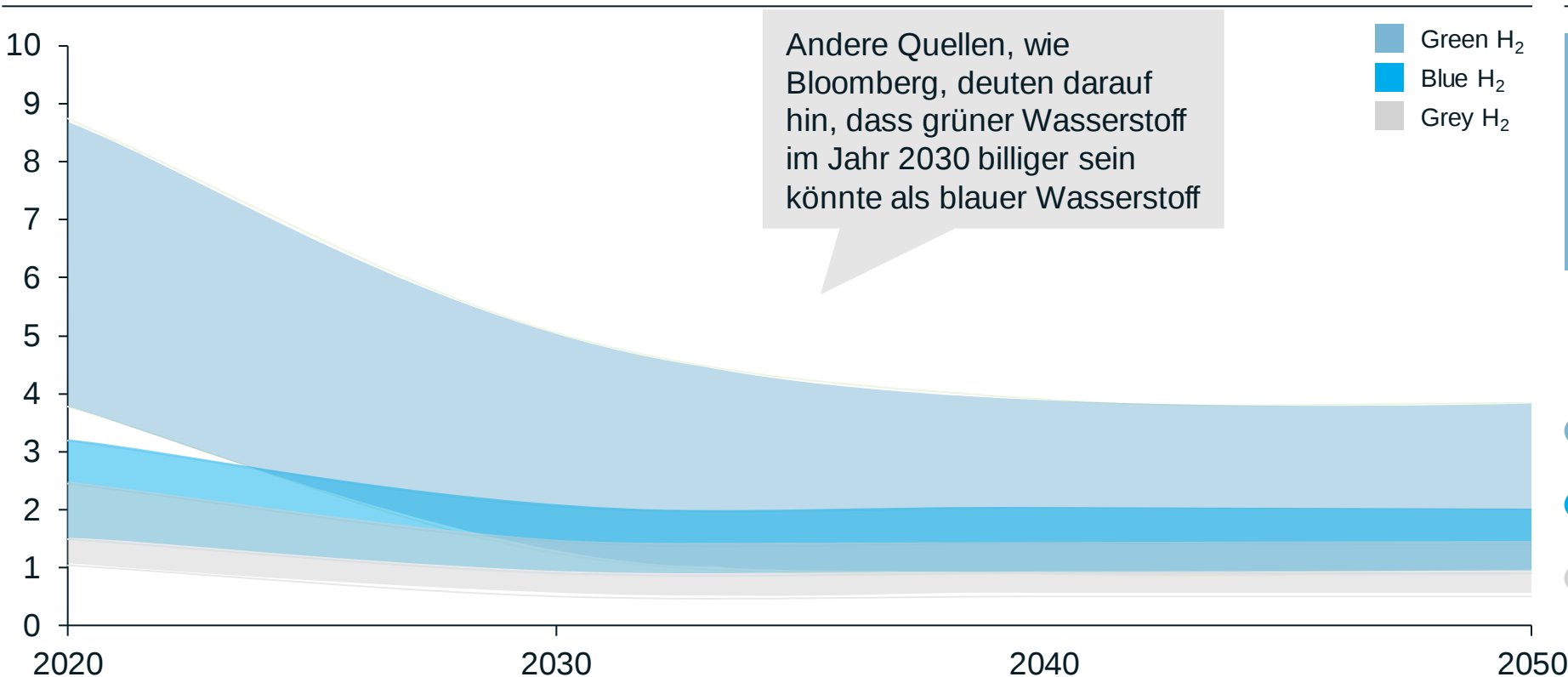


- Es gibt keine **Spotpreise für Wasserstoff**, da es keinen Handelsmarkt gibt
- Bis ein Referenzpreis für Wasserstoff auf dem Markt eingeführt wird, können die Vertragspreise für grünen und blauen Wasserstoff einer **Kostenaufschlagslogik** folgen¹
- Typische Stakeholder sind **saubere Stromerzeuger und Unternehmen, die ihre Lieferkette dekarbonisieren wollen**

1. Laufende Verträge über den Verkauf von grauem Wasserstoff basieren häufig auf dem tatsächlichen Rohstoffpreis (Erdgas) zuzüglich anderer fixer und variabler Kosten und eines Gewinnelements
Quelle: Norton Rose Fulbright, S&P Global, Teamanalyse

Grüner Wasserstoff könnte im Vergleich zu anderen Typen wettbewerbsfähiger werden, wobei der Preis im unteren Bereich im Zeitraum 2021-2050 von 3,8 auf 0,9 USD/kg sinkt

Levelisierte Kosten der Wasserstoffproduktion (LCOH) nach Technologie pro Jahr im Szenario Netto-Null¹ USD/kg



Lower-range Kosten
USD/kg

2020 2030 2050

Es wird erwartet, dass Grüner Wasserstoff LCOH wird voraussichtlich sinken von USD6.3/kg in 2021 auf USD3.2/kg in 2030 und auf USD2.4/kg in 2050

3.8

1.3

0.9

1.5

0.9

0.9

1.0

0.5

0.5

CO₂-Preis (nicht berücksichtigt) könnte Grauwasserstoff stark beeinflussen.

1. Die Spannen der Produktionskostenschätzungen spiegeln regionale Unterschiede bei den Kosten und den Bedingungen für erneuerbare Ressourcen wider
Quelle: IEA, Teamanalyse



CONTENT

Overview des globalen Wasserstoffmarktes

Chancen für Brasilien auf dem Wasserstoffmarkt

Brasilien hat das Potenzial, weltweit ein wichtiger Exporteur von grünem Wasserstoff zu werden

Brasilien hat einen starken Wettbewerbsvorteil in der H₂-Produktion mit kostengünstiger erneuerbarer Erzeugung

Infolgedessen hat Brasilien eine der niedrigsten Wasserstoffkosten weltweit

Der internationale Markt wird die Nachfrage ankurbeln, da der Inlandsverbrauch nicht signifikant zu sein scheint

Ein solides Regulierungsumfeld ist entscheidend für tragfähige Investitionen.

- Brasilien verfügt eine vorteilhafte Faktorenkombination für die preiswerte Produktion erneuerbarer Energien.
 - hochwertige und reichlich vorhandene Solarenergie- und Windressourcen.
 - Gut ausgestattete Infrastruktur und gute geografische Bedingungen mit über 175.000 Kilometern Übertragungsleitungen in der Nähe potenzieller Produktionsstandorte und Verbrauchsregionen sowie verfügbarem, kostengünstigem Land
- Die Energiekosten in Brasilien liegen derzeit bei 39 USD/MWh. Könnten bis 2030 auf unter 30 USD/MWh fallen.
- Dank dieses Vorteils kann Brasilien grünen Wasserstoff zu einem steuerfreien FOB-Preis von 3,3 USD/kg produzieren, womit Brasilien zu den Ländern mit den niedrigsten Wasserstoffkosten gehört
- Prognostizierte Kosten bis 2030 sind 1.7 USD/kg Angetrieben durch die Senkung der Energiekosten sowie der Investitionskosten und der Effizienz des Elektrolyseurs
- Hauptzentren der Wasserstoffproduktion in Brasilien sind die Häfen von Pecém, Açú und Suape. Pecém sticht dabei hervor, da es sich in einer steuerlich vorteilhaften Zone befindet und zudem näher an Europa liegt.
- Die meisten Projekte konzentrieren sich auf Exporte nach Europa, wo das brasilianische H₂ ~3,0 USD/kg erreichen könnte (ohne steuer) in 2030
 - Andere Energie- und Rohstoffquellen wie Biomasse und Erdgas könnten bevorzugt werden aufgrund niedrigerer Kosten und fehlender konkreter Emissionskontrollregulierungen für Wasserstoff.
 - Grüner Wasserstoff könnte in Nischenzwecken wie der Düngemittel- und Stahlproduktion wachsen
 - Längerfristig, wenn Wasserstoff Kostenparität mit anderen Kraftstoffen erreicht, kann Wasserstoff in mehr Anwendungen wie der Mobilität (Lkw und Züge) eingesetzt werden
- Ein stabiles regulatorisches Umfeld ist entscheidend für tragfähige Investitionen und sollte wichtige Wettbewerbsfaktoren für Brasilien im globalen Wasserstoffmarkt berücksichtigen
 - ZPE¹ Vorteile zu andere Exportzentren erweitern
 - Aktuelle Steuerbefreiung für die Erzeugung Erneuerbare Energien und Beschaffung Investitionsgütern (CAPEX)

Brasilien hat reichlich verfügbare Hauptrohstoffe für die Produktion von grünem, blauem oder Moos-Wasserstoff, wobei die Mehrheit der Projekte den Schwerpunkt auf grünen Wasserstoff legt.

Details auf die nächsten slides

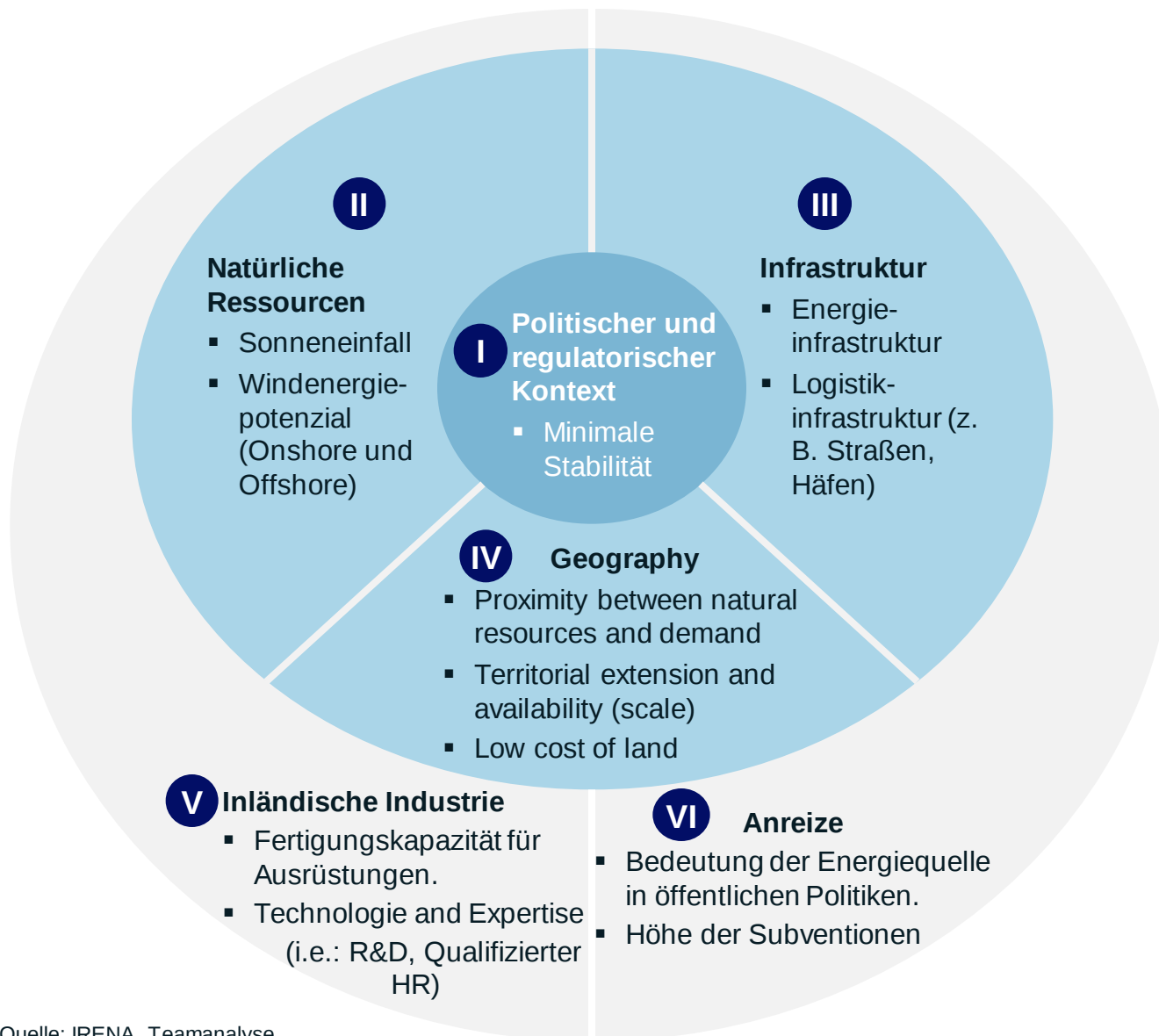
		Feedstock	Verfügbarkeit in Brasilien	Ausgeschriebene Projekte
Grüner Wasserstoff	Elektrolyse	 Solar- und Windstrom  Süßwasser	 Im Nordosten reichlich vorhanden  In den meisten Regionen verbreitet – Lange Küste für Entsalzung auch verfügbar	56
Blauer Wasserstoff	Dampf-reformierung	 Erdgas  Süßwasser	 Weit verbreitet  In den meisten Regionen verbreitet – Lange Küste für Entsalzung auch verfügbar	2
		 Erdgas  Süßwasser	 Weit verbreitet  In den meisten Regionen verbreitet – Lange Küste für Entsalzung auch verfügbar	
	Katalytische Reformierung	 Biomasse  Kritische Metalle (bsp. Rh, Ir, Pd, Pt)	 Weit verbreitet  Zu hohen Kosten erhältlich	
		 Biomasse  Dampf	 Weit verbreitet  Weit verbreitet	
Moos-Wasserstoff	Vergasung	 Biomasse  Dampf	 Weit verbreitet  Weit verbreitet	0
	Anaerobe Vergärung	 Biomasse Enzyme	 Weit verbreitet Natürliche Erscheinung während des Prozesses	

Experten unterstützen die Ansicht, dass Brasilien neben grünem Wasserstoff auch ein relevanter Produzent von blauem und Moos-Wasserstoff sein könnte.

Brasilien hat entscheidende Wettbewerbsvorteile bei der erneuerbaren Energieerzeugung.

Schlüsselkriterien für eine Kostenabschätzung für erneuerbare Energien

■ Mindestanforderung ■ Kernkriterien ■ Weitere Vorteile



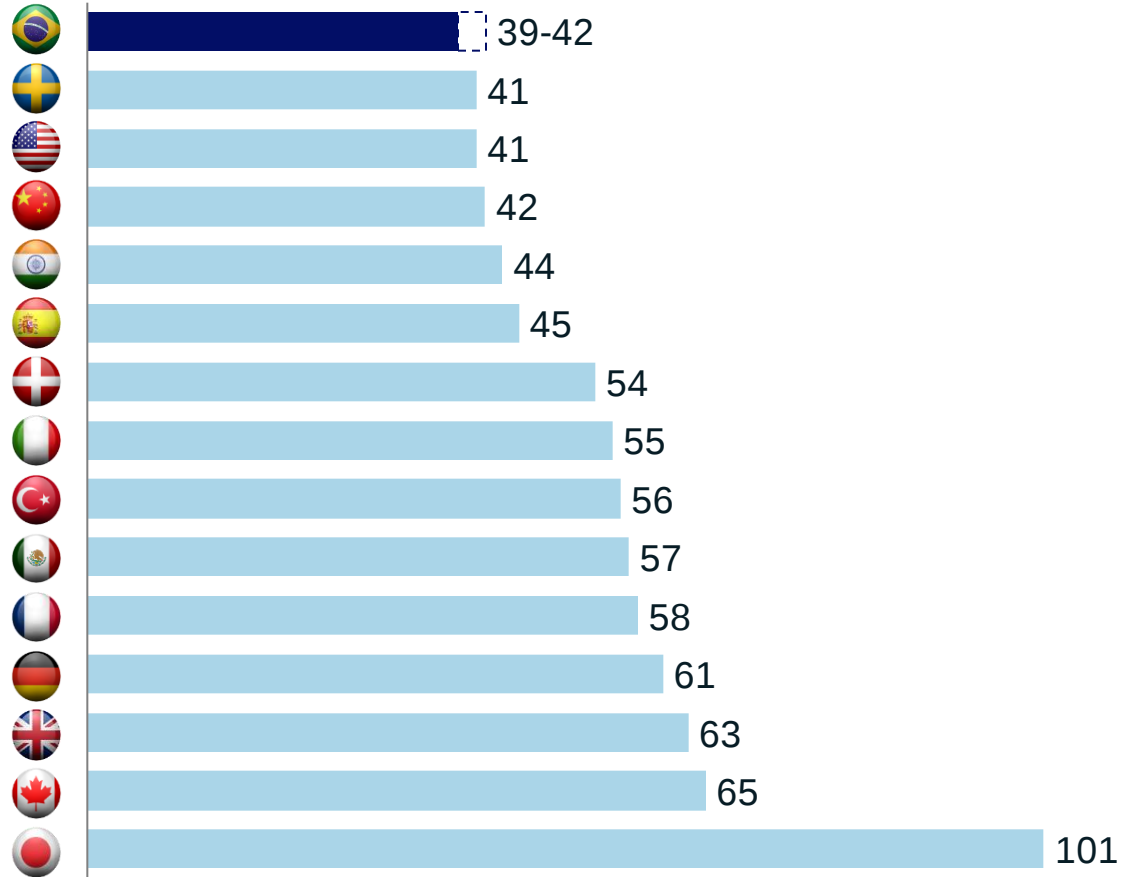
Brasilien erfüllt wichtige Anforderungen an die Erzeugung kostengünstiger erneuerbarer Energie

- | | | |
|--|--|-------------|
| I Politischer und regulatorischer Kontext | <ul style="list-style-type: none"> Minimale Stabilität als demokratisches und politisch stabiles Land erreicht | ✓ |
| II Natürliche Ressourcen | <ul style="list-style-type: none"> Hoher Sonneneinfall in den meisten Regionen Hohes Onshore- und Offshore-Windenergiepotenzial, insbesondere im Nordosten | ✓
✓ |
| III Infrastruktur | <ul style="list-style-type: none"> Vorhandensein eines nationalen Verbundnetzes Straßenanbindung in den meisten Regionen Vorhandensein großer Häfen | ✓
✓
✓ |
| IV Geografie | <ul style="list-style-type: none"> Großes Territorium mit verfügbarem, kostengünstigem Land und Potenzial für Solarenergie und Windenergie. | ✓ |
| V Inländische Industrie | <ul style="list-style-type: none"> Regionale Fertigung wichtiger Ausrüstungen zur Erzeugung erneuerbarer Energien | ✓ |
| VI Anreize | <ul style="list-style-type: none"> Regierungspolitik und relevante Subventionen, die auf die Erzeugung sauberer Energie ausgerichtet sind | ✓ |

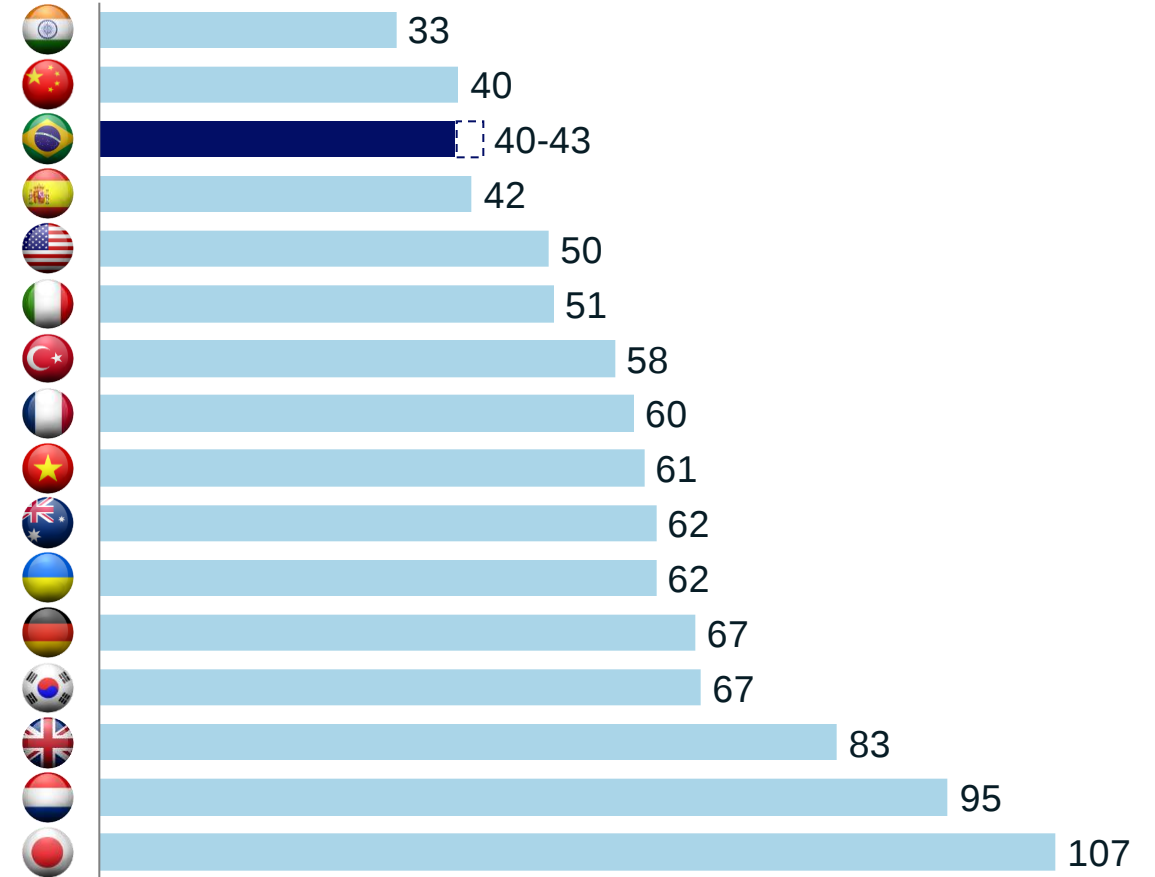
Die aktuellen brasilianischen Kosten für erneuerbare Energien sind im internationalen Markt sehr wettbewerbsfähig

■ Untere Grenze (Brasilien) □ Höhere Grenze (Brasilien) ■ Durchschnitt

Stromgestehungskosten der Windenergie für ausgewählte Länder, 2023¹ USD/MWh



Stromgestehungskosten der Solarenergie für ausgewählte Länder, 2023¹ USD/MWh



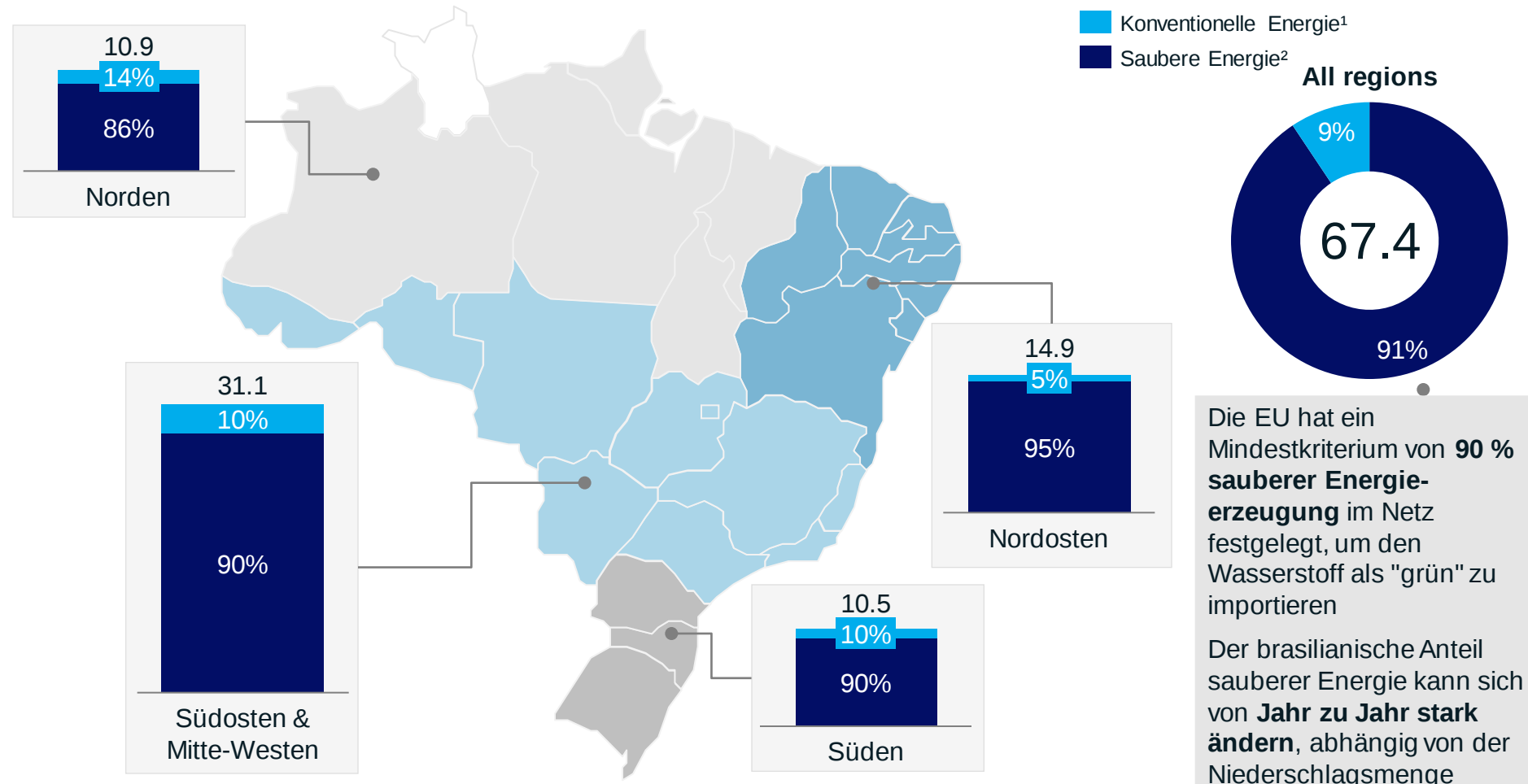
1. Die Daten für Brasilien wurden aus dem Mirow-Modell extrahiert, wobei die Eigenenergieerzeugung (Vollbetrieb) mit einer Genauigkeit von 80 % in den attraktivsten Bereichen berücksichtigt wurde. Die Daten für andere Länder beziehen sich ursprünglich auf das Jahr 2019, wurden aber mit einer von BP prognostizierten globalen Energiekostensenkungsrate zwischen 2019 und 2023 multipliziert (-25,5 % für Solarenergie und -10,8 % für Windenergie)

Quelle: IRENA, BP, Mirow-Wasserstoffmodell, Teamanalyse

Brasilien kann von einem sauberen Stromnetz profitieren, das auch netzgekoppelte Projekte rentabel macht – die nordöstliche Region ist besonders attraktiv

Brasilianische Energieerzeugung, 2022

MWmed (000')



Zertifizierung von grünem Wasserstoff

- **Sehr fragmentierter globaler Markt**
 - Derzeit gibt es weltweit mindestens **8 freiwillige Zertifizierungssysteme**, die sich grundlegend unterscheiden
- In Brasilien haben die CCEE ein Handbuch zur Wasserstoffzertifizierung veröffentlicht, das auf den neuesten Definitionen europäischer Normen basiert und Folgendes definiert:
 - **Erneuerbares H₂**: vollständig mit erneuerbarer Energie aus PPA, Eigenerzeugung oder einer Mischung aus beiden, on-grid oder off-grid
 - **Teilweise erneuerbares H₂**: mit Energie aus dem Netz erzeugt werden, die den PPA für erneuerbare Energien oder die Eigenerzeugung übersteigt

In Brasilien wurden 40+ potenzielle Projekte identifiziert, hauptsächlich für den Exportmarkt

NON-EXHAUSTIVE

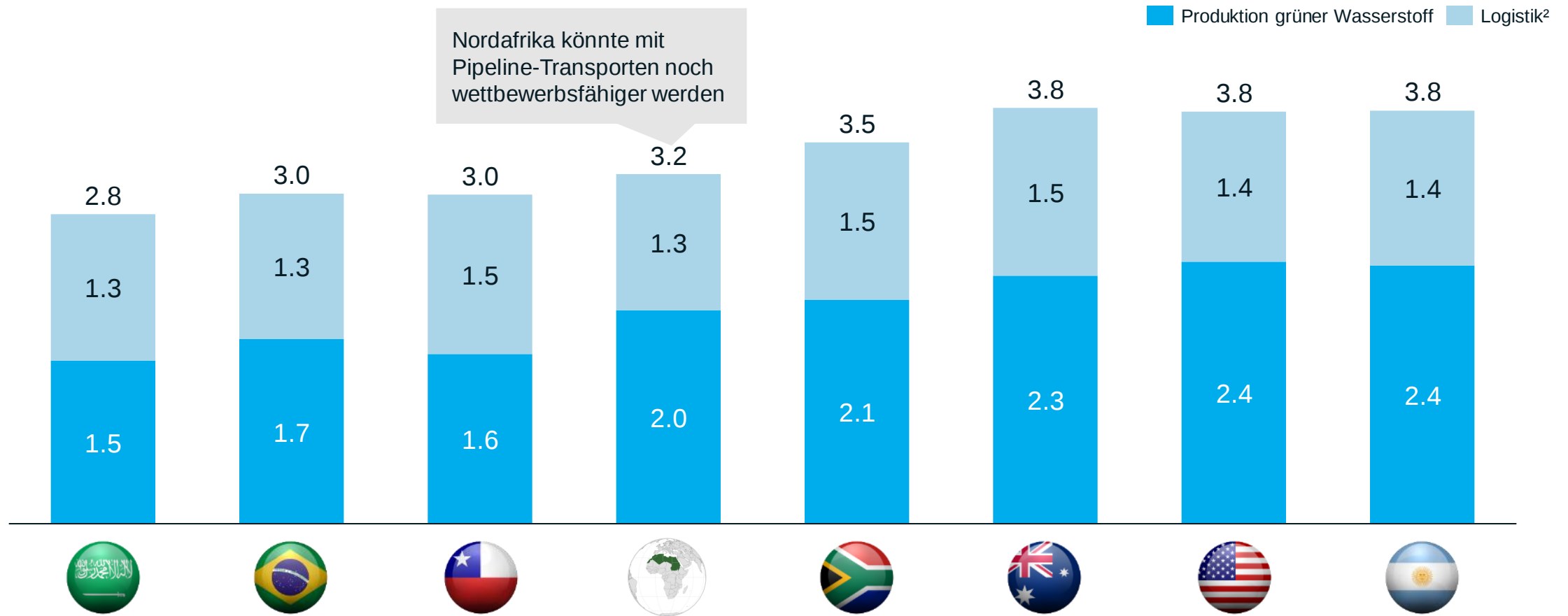


80%+ der angekündigten Projekte befinden sich im Nordosten und **60%** aller für Brasilien angekündigten **Investitionen** entfallen auf Ceará

60%+ der in Brasilien angekündigten Projekte werden von **Energieunternehmen** geleitet, die auf den Export abzielen.

Infolgedessen könnte brasilianischer grüner Wasserstoff sehr wettbewerbsfähig werden, um die Nachfrage des europäischen Importmarktes zu befriedigen

Stromgestehungskosten für grünen Wasserstoff im Rotterdamer Hafen, nach ausgewählten Exportländern/-regionen, 2030¹
US\$/kgH₂



1. Die brasilianische Datenquelle ist das Mirow-Wasserstoffmodell. Für andere Länder galten IEA-Daten ohne Steuern und Subventionen

2. Darin enthalten sind die Kosten für die Umwandlung, die Lagerung, den Transport (per Frachtschiff) und die Rückverlagerung unter Verwendung von Ammoniak als Trägerstoff

Quelle: Searoutes, IEA, Goldman Sachs, Bloomberg, Mirow-Wasserstoffmodell, Teamanalyse

A variety of potential applications for green hydrogen could promote the development of a domestic market in Brazil; however, most won't be viable in the short term without incentives

		Begründung für die Anwendung von grünem H2	Wahrscheinlichkeit der Annahme	Geschätzte Zeit bis breakeven	Hauptprodukt auf Wasserstoffbasis
Industrie	Stahl	Stahlhersteller in Brasilien können kostengünstigen Wasserstoff zur Herstellung und zum Export von grünen Stahlprodukten einsetzen	Wahrscheinlich	Langfristig (+10 years)	H2 gas
	Dünger	Brasilien kann grüne Düngemittel für die Landwirtschaft produzieren, insbesondere für den Export	Wahrscheinlich	Mittelfristig (5-10 years)	Urea¹
	Raffination	Ersatz von grauem Wasserstoff, der derzeit in den Hydrotreatment- und Hydrocracking-Prozessen in Raffinerien verwendet wird	Möglich	Mittelfristig (5-10 years)	H2 gas
	Gasleitungen input	- Wasserstoff kann in die bestehende Erdgasinfrastruktur bis zu 15-20 % ohne signifikante Umrüstung im Netz eingemischt werden. - Vertieftes Verständnis für den Betrieb von thermischen Kraftwerken ist nötig.	Möglich	Langfristig (+10 years)	H2 gas
	Strom-erzeugung	- Die brasilianische Energiematrix ist bereits stark sauber, und es wird erwartet, dass andere Energiequellen Priorität haben (Wind, Solar). - Auch Erdgas könnte an Relevanz gewinnen	Sehr unwahrscheinlich	Langfristig (+10 years)	H2 gas
Mobilität	Schiffe	Erneuerbare Brennstoffe werden in der Schifffahrt und Luftfahrt immer wichtiger, angetrieben durch regulatorische Ziele zur Emissionsminderung	Wahrscheinlich	Mittelfristig (5-10 years)	E-methanol²
	Flugzeuge	E-Methanol und SAF, insbesondere aus H2, sind mögliche Optionen	Wahrscheinlich	Mittelfristig (5-10 years)	E-SAF
	Lastwagen	Langstrecken-Lkw und -Züge sind aufgrund teurer Batterien schwer zu elektrifizieren und Biokraftstoffe könnten den Bedarf nicht voll decken	Möglich	Kurzfristig (up to 5 years)	H2 gas
	Züge		Möglich	Kurzfristig (up to 5 years)	Ammoniak
	Autos	Elektroautos sind wahrscheinlich die Mainstream-Technologie für die Dekarbonisierung, zusammen mit dem derzeit verwendeten Ethanol	Unwahrscheinlich	Mittelfristig (5-10 years)	H2 gas

1. und andere aus Ammoniak hergestellte Stickstoffdüngemittel; 2. Ammoniak und Wasserstoffgas sind auch potenzielle Kraftstoffe für Schiffe

Quelle: Experteninterviews, Teamanalyse

M I R O W & C O.