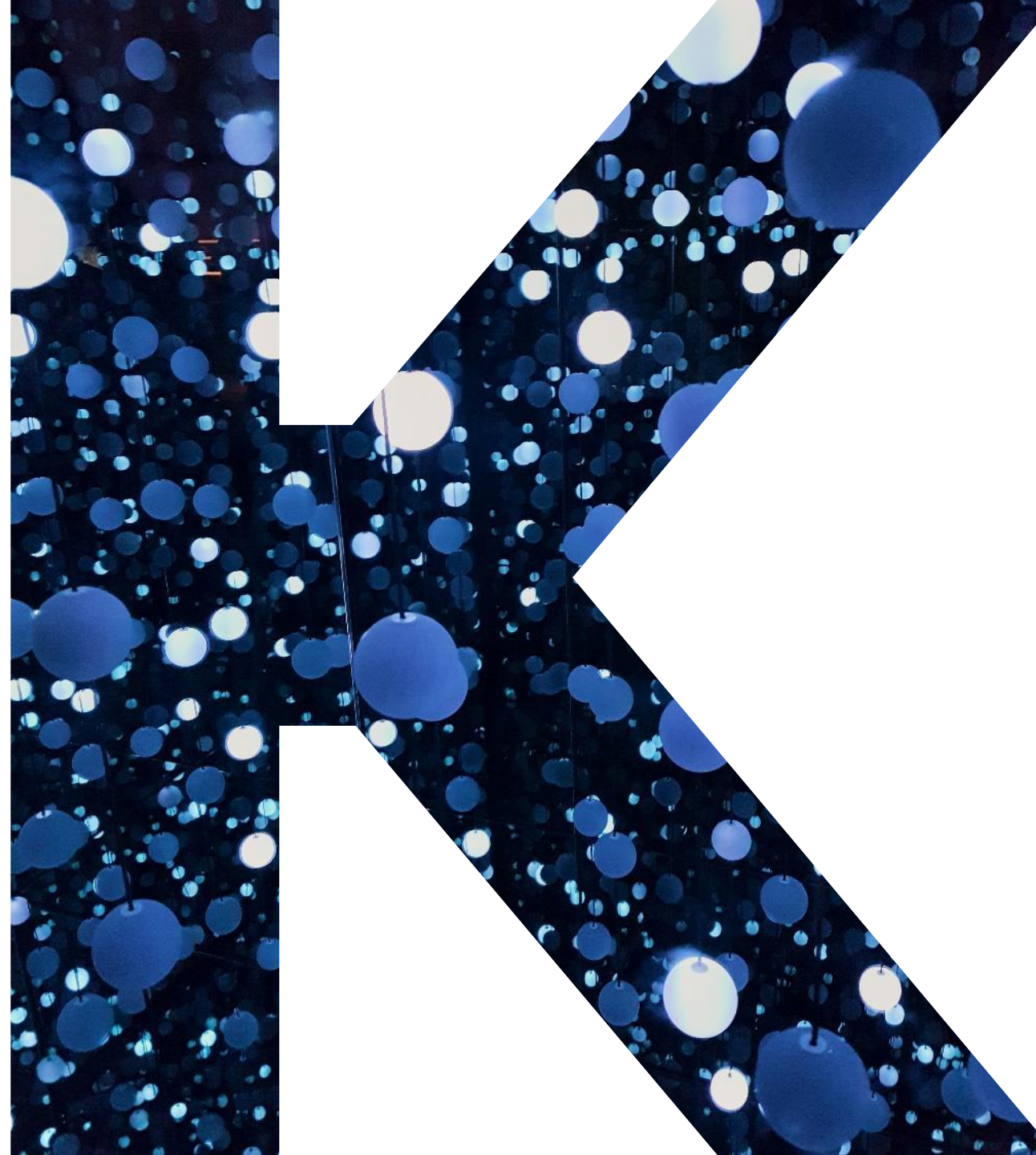


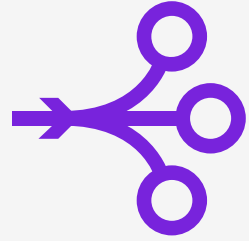
Die Rolle des Wasserstoffs in der Dekarbonisierung

WING-Forum 2023
Wien, 02.06.2023

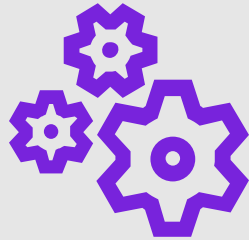
Dr. Bernhard Pribyl-Kranewitter

KEARNEY

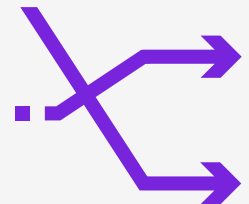




Existierende & neue Anwendungsgebiete für Wasserstoff



Produktion von Wasserstoff



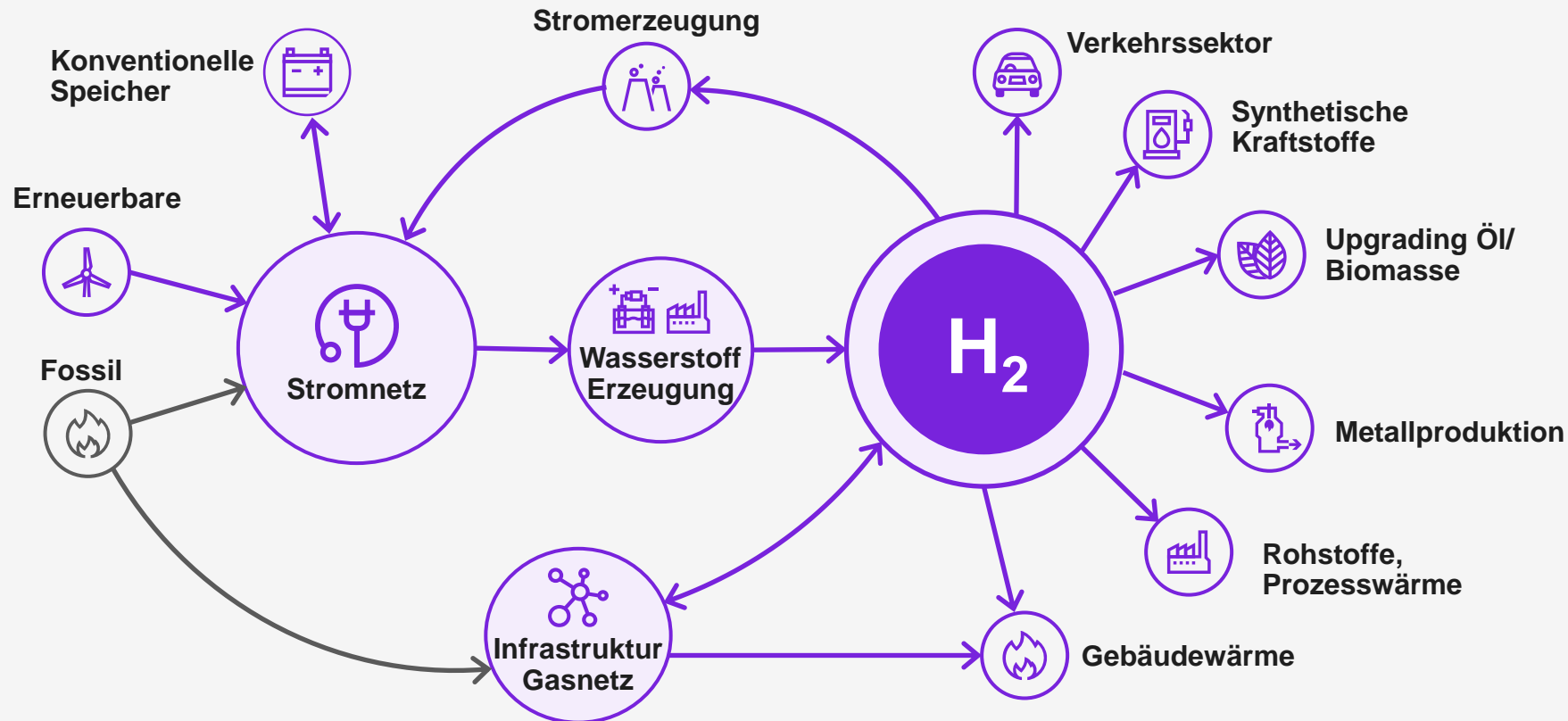
Weltweiter und europäischer Transport von Wasserstoff

Wasserstoff kann direkt als Dekarbonisierungslösung sowie zur Stabilisierung CO₂-armer Energiesysteme eingesetzt werden.



H₂ Anwendungen

Vereinfachte Wertschöpfungskette für H₂-basierte Energielösungen



Probleme, welche durch H₂ Nutzung gelöst werden

Dekarbonisierung bei fehlenden Alternativen

- Industrielle Rohstoffe
- Industrielle Hochtemperaturprozesswärme
- Schwere Langstreckenmobilität: Schiff, Schiene, Straße

Stabilität des Energiesystems:

- Speicherung >72 Stunden für erneuerbare Stromerzeugung
- Umwandlung zwischen Energieträgern

**Globale H₂ Nachfrage 2050:
550-650 Mt/a**

Mögliche neue H₂ Anwendungen werden unterschiedlich rasch die Marktreife erlangen, während bereits genutzter grauer H₂ direkt ersetzt werden kann.

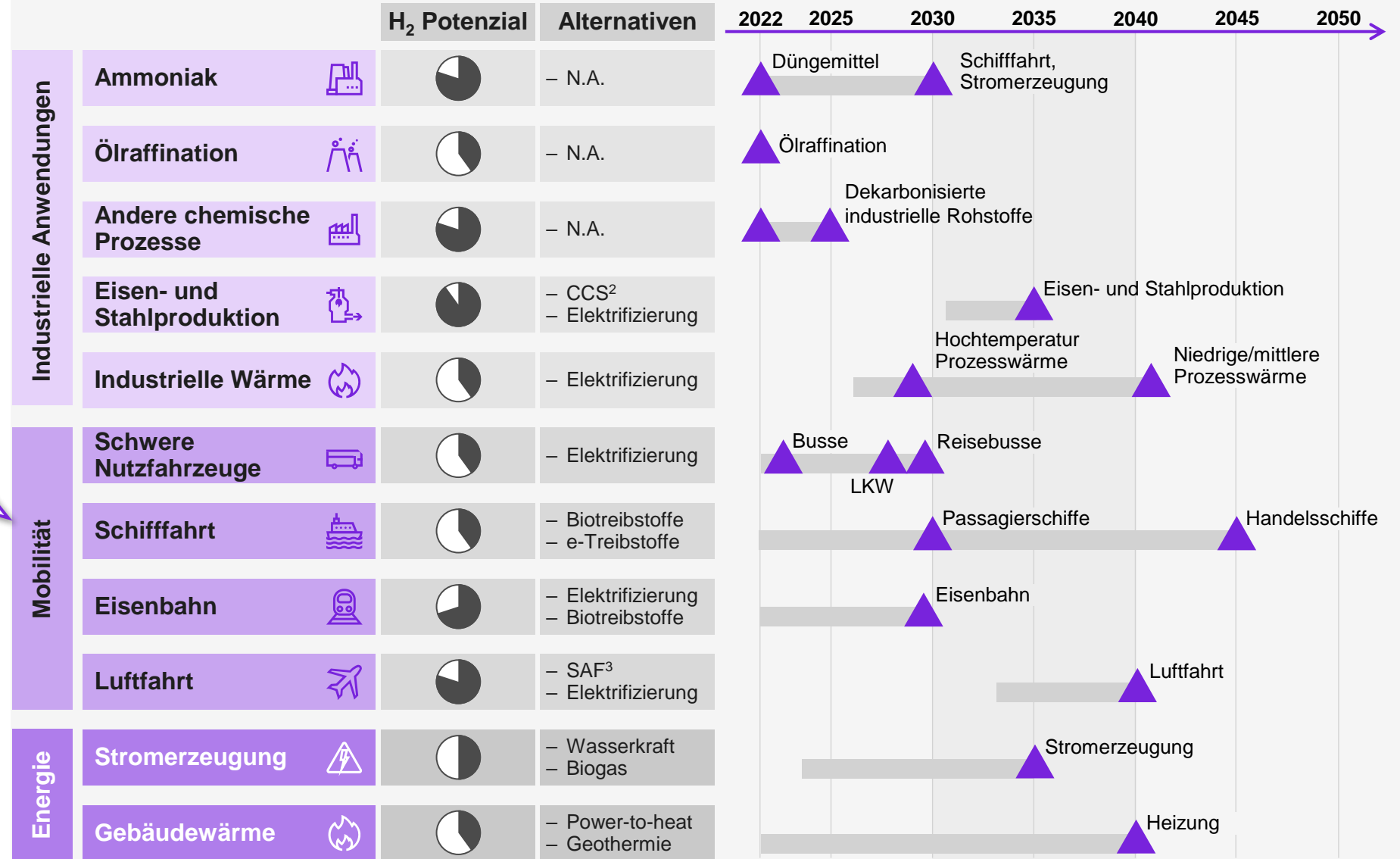
Der Blick auf zukünftige H₂-Anwendungsfelder ist dynamisch & ändert sich kontinuierlich

- Beginn der Kommerzialisierung
- Erwartete Akzeptanz auf dem Massenmarkt¹
- Geringes Potenzial vgl. mit den Alternativen
- Hohes Potenzial vgl. mit den Alternativen



H₂ Anwendungen

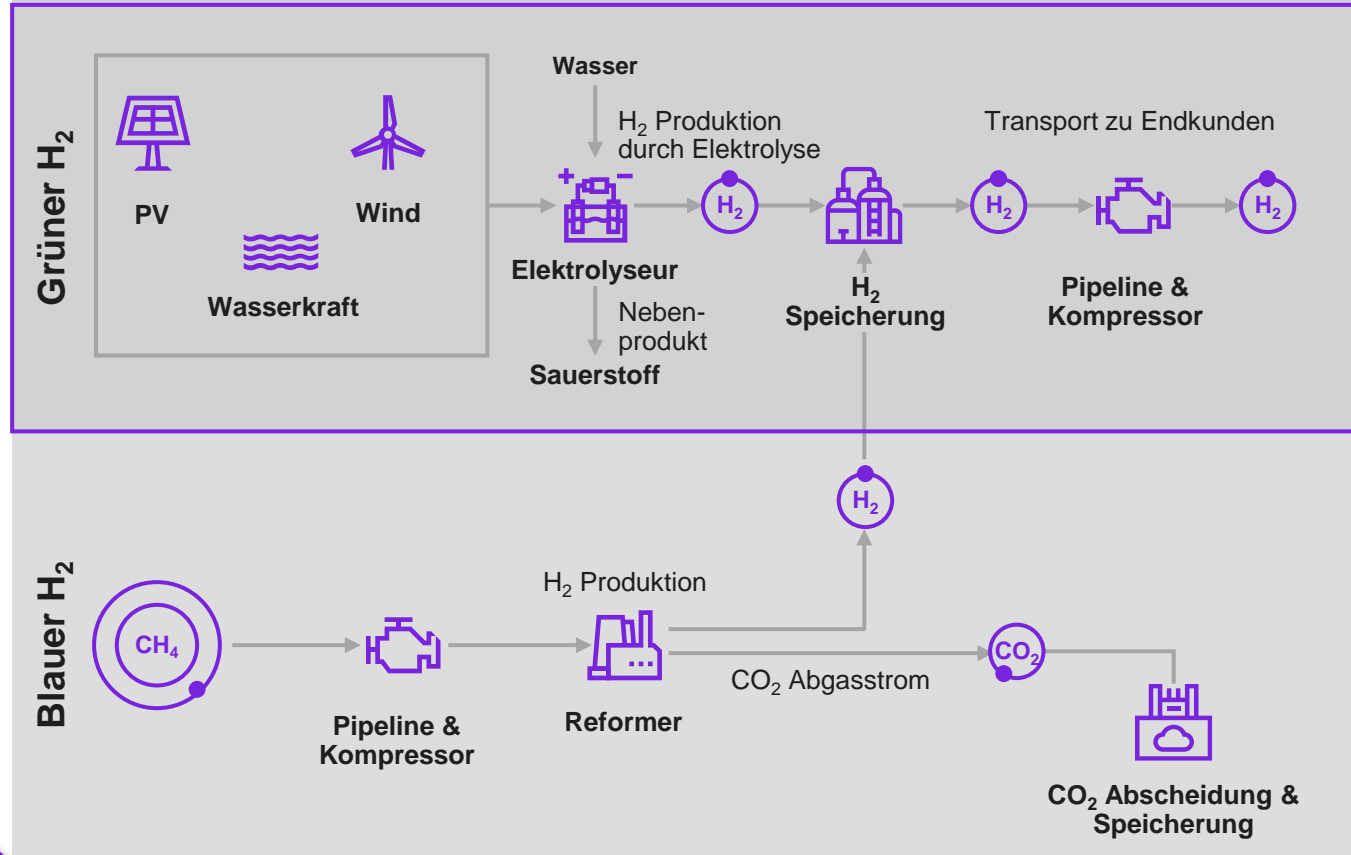
Voraussichtliche Kommerzialisierung von Wasserstoffanwendungen



1. Definiert als >1% des Umsatzes innerhalb des Segments | 2. CCS = Carbon Capture & Storage | 3. SAF = Sustainable Aviation Fuel
Quellen: Afhyprac; IEA; Kearney Energy Transition Institute

H₂ kann auf unterschiedlichen Wegen hergestellt werden, welche nach ihrer „Farbe“ unterschieden werden.

H₂ Erzeugung



Grauer H₂ ist der einzig gezeigte Typ mit erheblichen CO₂ Emissionen

Andere Typen



Grauer H₂

Produktionsprozess wie bei blauem H₂, wobei das CO₂ in die Luft abgegeben wird



Pinker H₂

Elektrolyse betrieben mit Nuklearenergie



Gelber H₂

Produkt chemischer Prozesse

Anmerkungen

- Der **Großteil** des heute industriell **produzierten H₂** ist **grau**
- **Abscheidung & Einlagerung** der CO₂ Emissionen in einem herkömmlichen grauen Verfahren führt zu CO₂-reduziertem **blauem H₂**
- **Grüner H₂** stellt **<1%** des **industriellen H₂** dar und wird durch **Elektrolyse** erzeugt (bei Nutzung von erneuerbarem Strom)
- Grüner H₂ stellt daher einen **CO₂-neutralen Energieträger** dar



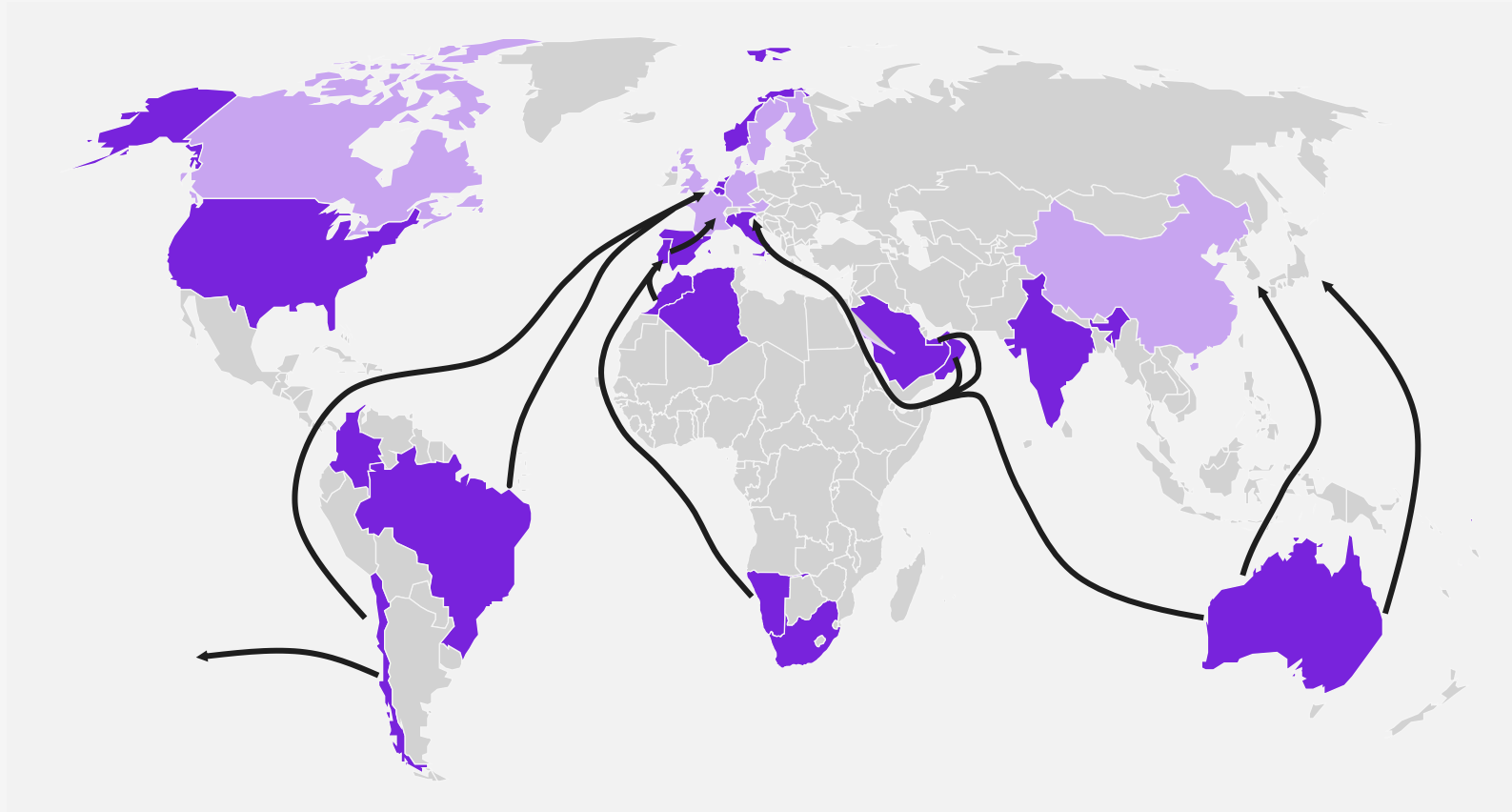
H₂ Produktion

Die Wettbewerbsfähigkeit globaler H₂-Importe über geeignete Trägermedien kann durch zentralisierte Produktion in Regionen mit niedrigen Energiekosten ermöglicht werden.



H₂ Globaler Import




Mögliche Regionen mit niedrigen Energiekosten & Importpfade (Auswahl)



Kommentare

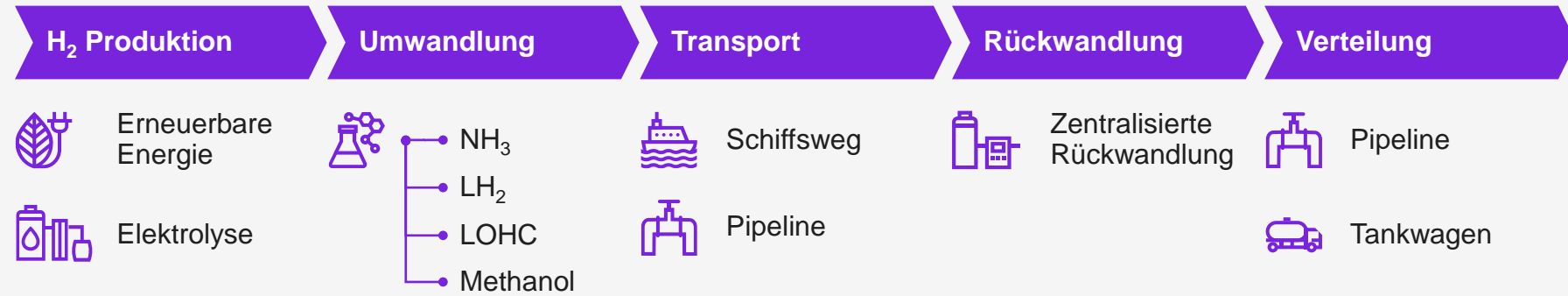
- **Kosten für Strom & Energieeinsatz** sind **entscheidend** für die Wettbewerbsfähigkeit von H₂-Importen nach Europa
- **Regionen** mit einer hohen Verfügbarkeit von **billigem Strom** aus erneuerbaren Energien sind **gut positioniert**, um die **Produktion in großem Maßstab** umzusetzen
- **Import/Export** von H₂-Trägern (Ammoniak, LOHC¹, ...) über **etablierte Netzwerke** ist leichter **möglich** als über neue komplexere H₂-Transportwege (flüssiges H₂)

Legende

-  Region mit potenziell niedrigen grünen Energiekosten
-  Andere potenzielle Erzeugerregionen
-  Mögliche Importrouten

Unter den H₂ Trägermedien ist Ammoniak die einzig ausgereifte und realisierbare Option für große Importmengen in den nächsten Jahren.

Wertschöpfungskette für den Import von grünem H₂



Konvertierung, Transport & Rückwandlung hängen maßgeblich vom gewählten Trägermedium ab

Ammoniak (NH₃)

- + **Ammoniak** wird bereits in **großem Umfang verwendet & transportiert**
- + Die **Umwandlung & der Transport** von Ammoniak ist **billiger** und **vorhandene Infrastruktur** ist nutzbar
- Die **Rückwandlung** in **Ammoniak-Crackern** ist noch **unreif & nicht im großen Maßstab** eingesetzt

Quellen: Uniper; Kearney

Verflüssigter H₂ (LH₂)

- + Die **Rückwandlung** ist **einfach** und vergleichsweise kostengünstig
- Benötigte Temperatur **-253 °C** machen **Transport & Lagerung teuer** (Hoher Energiebedarf, Wärme- und Verdampfungsverluste)
- **Transport** von LH₂ ist **unausgereift** (aktuell nur ein Schiff weltweit)

Flüssige organische H₂-Träger (LOHC)

- + **LOHCs** ermöglichen **einfache & sichere Handhabung** von H₂ sowie die Nutzung bestehender Infrastruktur
- **Wiederverwendung** der LOHCs **erfordert Rücktransport** (erhöhte Lieferkettenkomplexität)
- Die **Rückwandlung** ist **energie-intensiv** und mögliche LOHCs befinden sich **noch in Entwicklung**

Methanol

- + **Methanol** bietet als End- und Zwischenprodukt viel Flexibilität
- + Einfacher Transport als Flüssigkeit
- **Zusätzlicher Bedarf** von **zirkulärem CO₂**
- **Aufwändigere Prozesskette** vor Ort
- **Rückwandlung** in H₂ **nicht sinnvoll** (Kosten, Effizienz)



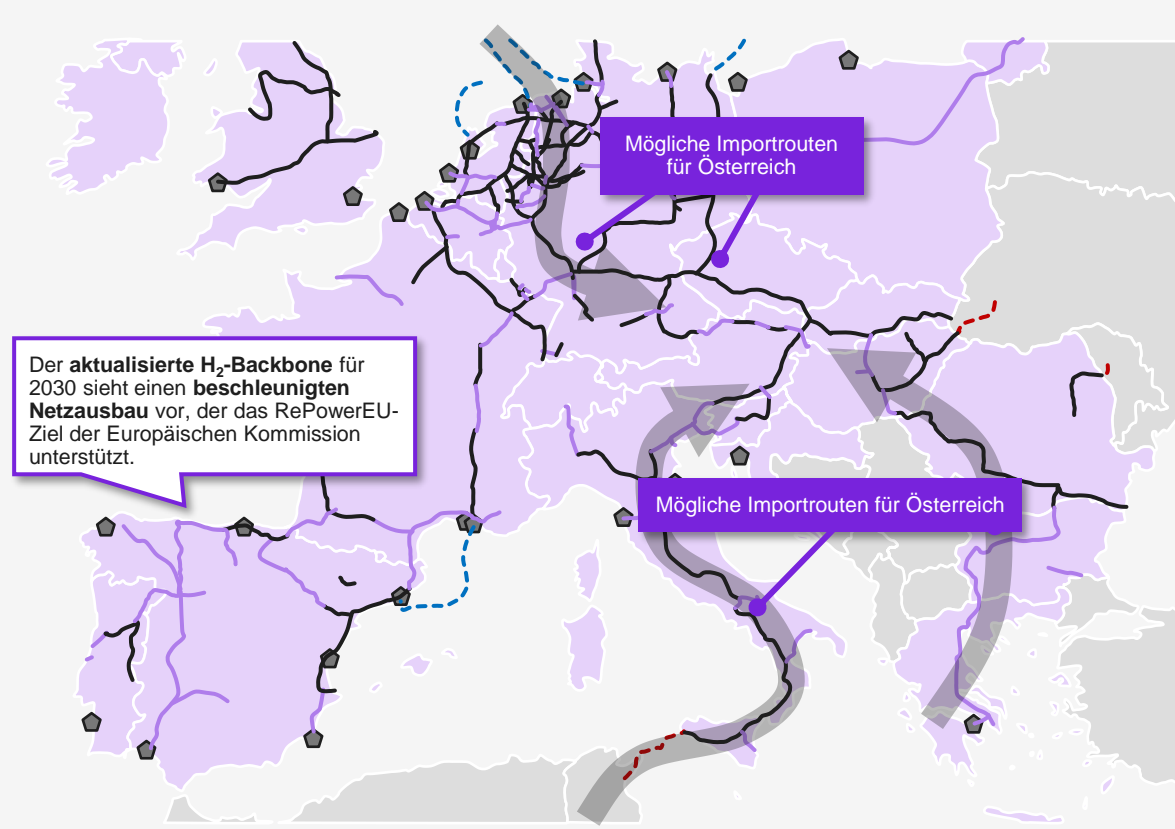
Gemeinsame Studie mit

uni per

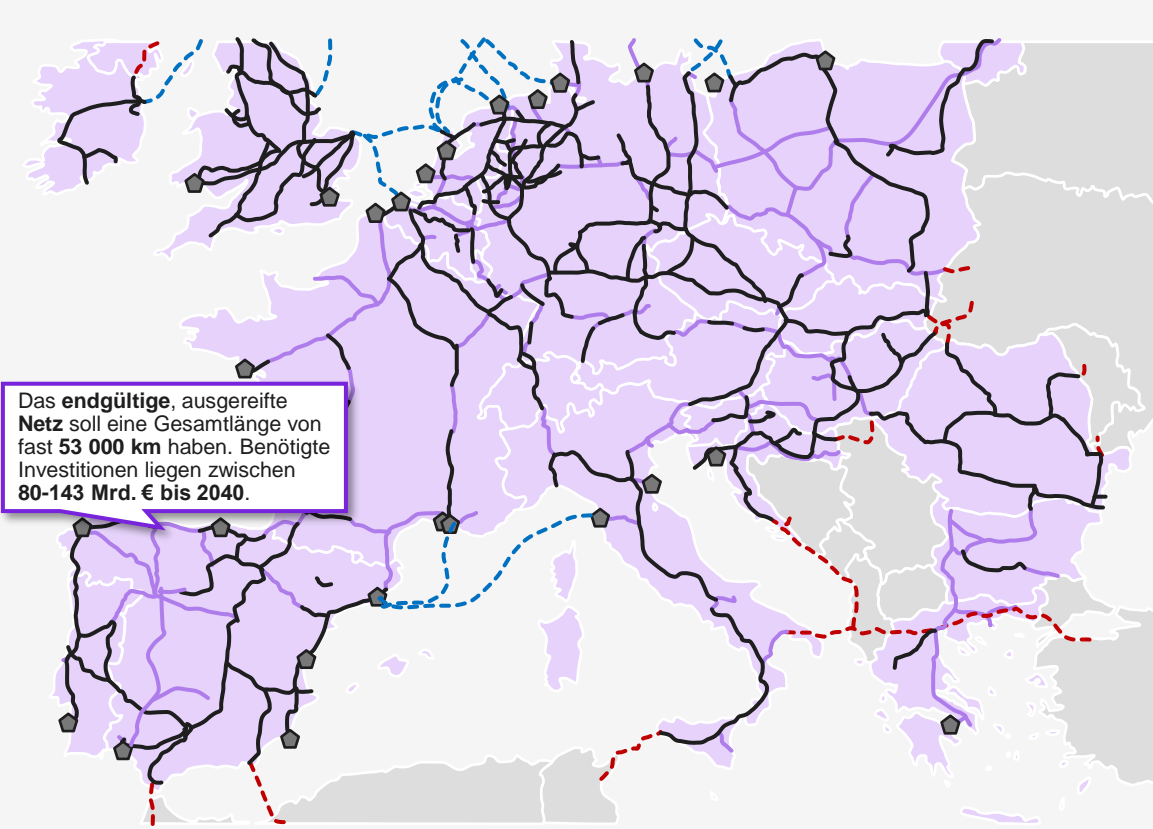


H₂ Globaler Import

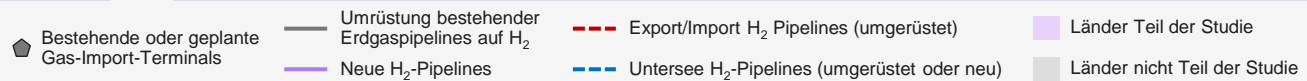
Der europäische H₂-Backbone wird bis 2040 etabliert, um den H₂-Bedarf auf dem gesamten europäischen Kontinent zu decken.



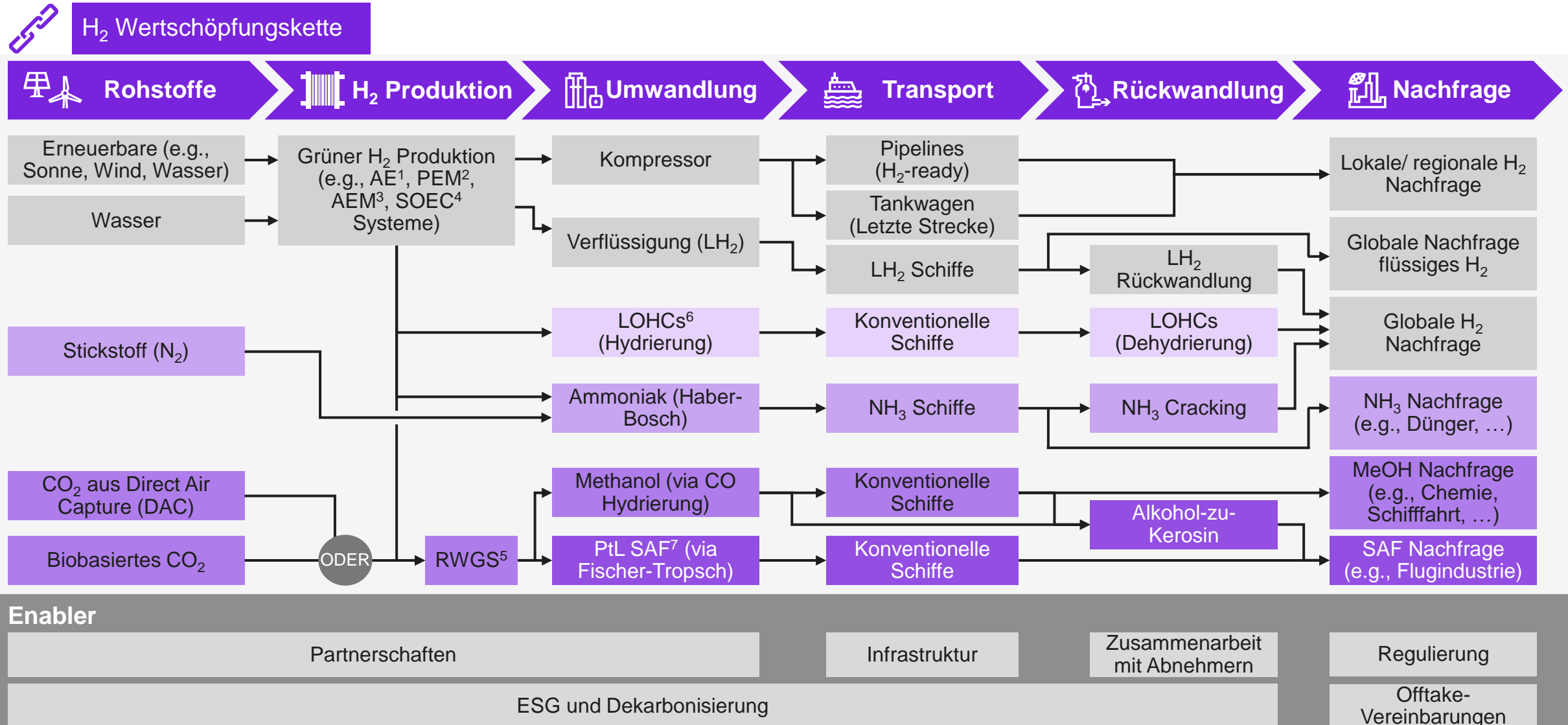
– **Umrüstungen bestehender Pipelines** auf H₂ zur **Beschleunigung** des Backbone geplant
 – **Ziel: Entwicklung** eines ~20.6 Mt grünem & blauem H₂-Markts in Europa (RePowerEU Vorschlag)



– **Mehrere Importoptionen** für die Gewährleistung der Versorgungssicherheit:
 – **Östliche und südliche Nachbarregionen** via **Pipeline**
 – **Weltweit** zentralisierte **Produktionsstätten** über **Schiffswege**



Die aus der globalen und lokalen Versorgung mit H₂ und H₂-Derivaten resultierende Wertschöpfungskette ist komplex und stark von der gewünschten Endanwendung abhängig.



1. AE = Alkalischer Elektrolyseur | 2. PEM = Protonenaustauschmembran Elektrolyseur | 3. AEM = Anionenaustauschmembran Elektrolyseur | 4. SOEC = Festoxid-Elektrolyseur | 5. RWGS = umgekehrte Wassergas-Shift-Reaktion | 6. LOHC = Flüssige organische Wasserstoffträger; 7. PtL SAF = Power-to-liquid nachhaltige Flugzeugtreibstoffe | Quelle: Kearney

Importe aus EE¹-reichen Regionen Europas bieten Kostenvorteile und sie fördern die Unabhängigkeit von globalen Energieimporten.

Legende

- H₂ Grüner Strom
- Transport
- H₂ Produktion
- Lagerung
- Umwandlung
- Rückwandlung

H ₂ Produktion:	Alkalische Elektrolyse	▼
Endprodukt:	H ₂	▼
Produktion:	Zentraleuropa/ Spanien/ Saudi Arabien	▼
Zielmarkt:	Zentraleuropa	▼



Kostenperspektive



Lokal

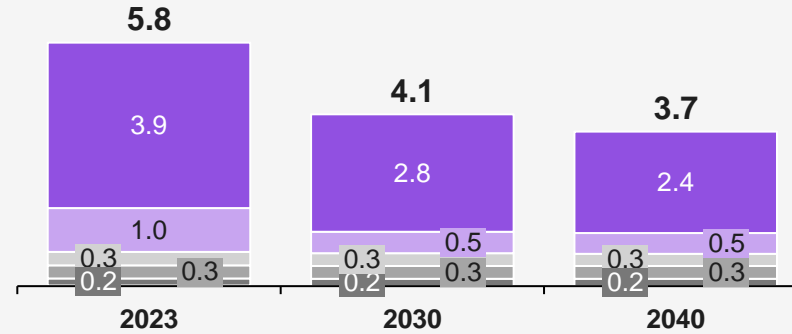
vs.



Global

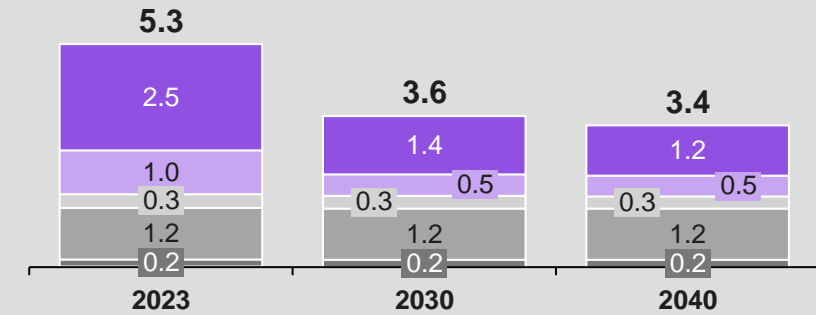
Lokale/ regionale Produktion

[€/kg_{H2_Geliefert}]



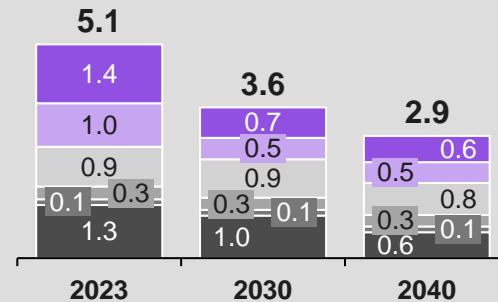
Europäischer H₂-Pipeline Import

[€/kg_{H2_Geliefert}]



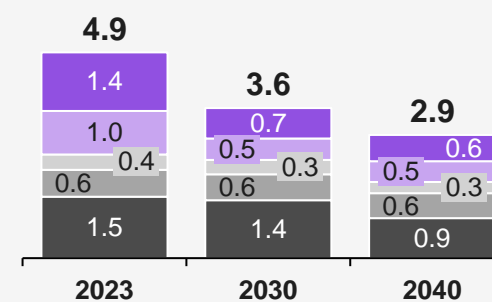
Ammoniak Import

[€/kg_{H2_Geliefert}]



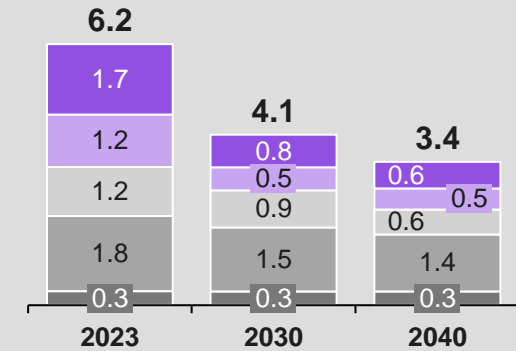
LOHC² Import

[€/kg_{H2_Geliefert}]



Flüssiger H₂ Import

[€/kg_{H2_Geliefert}]



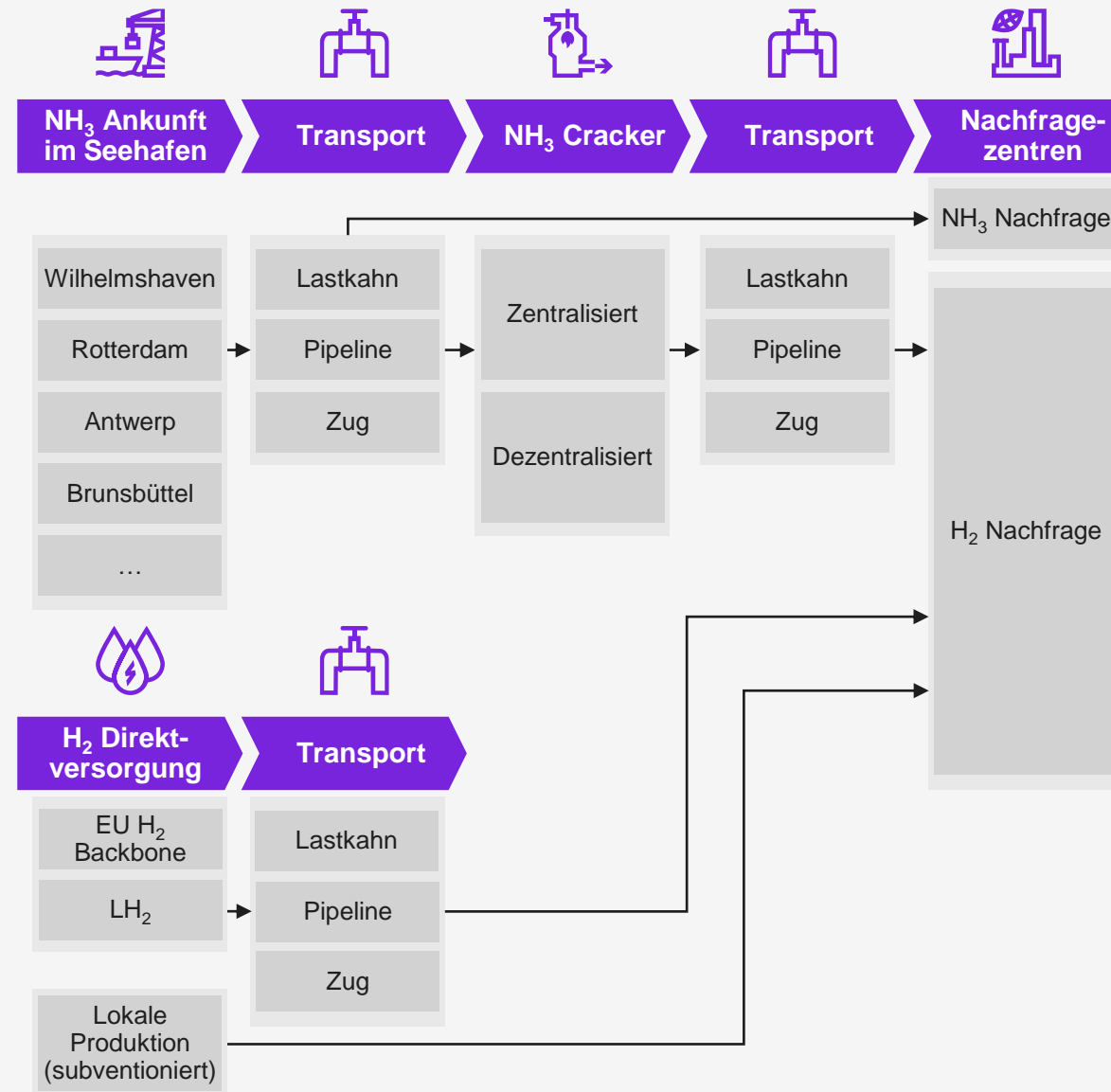
Kernpunkte

- **Global Importe** ermöglichen bereits heute **kompetitive Preise** – selbst inkl. Rückwandlung zu H₂
- Die **Verfügbarkeit** ausreichender Mengen & der **Pipeline-Anschluss** sind **hierfür entscheidend**
- **Europäische H₂-Importe** sind **attraktiv**: niedrige **Kosten** & **Unabhängigkeit** von globalen Akteuren

1. EE = Erneuerbare Energie | 2. LOHC = Flüssige organische Wasserstoffträger | Quelle: Kearney


Mehrere Versorgungsoptionen ergeben sich für Österreich, welche individuell für jede mögliche Nutzung verglichen werden müssen.

Überblick über die Wertschöpfungskette (vereinfacht)



Anmerkungen

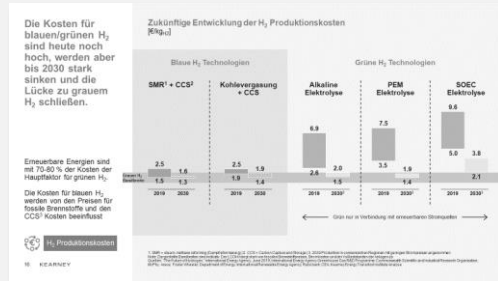
- Für die **Nachfragezentren** in **Mitteleuropa** werden sich verschiedene **mögliche Versorgungswege** ergeben
- Die **Wettbewerbsfähigkeit** der unterschiedlichen Wege muss **über die kommenden Jahre bewertet** werden, um **langfristig attraktive Optionen zu identifizieren**
- Die **Wahl** zwischen einem **zentralisierten oder dezentralisierten NH₃-Cracker** muss für jede Anwendung **individuell geprüft** werden

 AUT H₂ Importrouten

Pioniere im H₂-Markt sollten 5 Kernfragen für ihren Markteintritt klären.

1

Auf grünen oder blauen H₂ setzen?



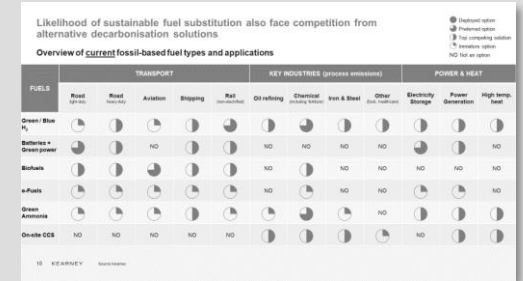
2

Welche Anwendungen & Geschäftsmodelle?



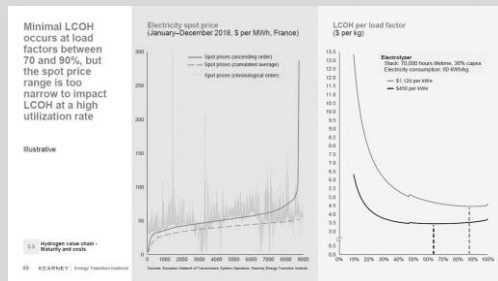
3

Wettbewerb mit anderen Dekarbonisierungslösungen?



4

Gesicherter Zugang zu grünem Strom?

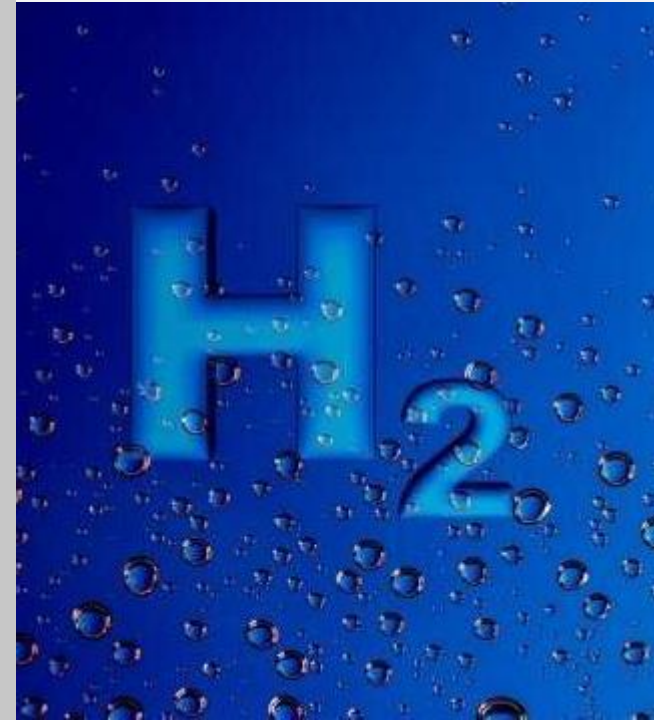
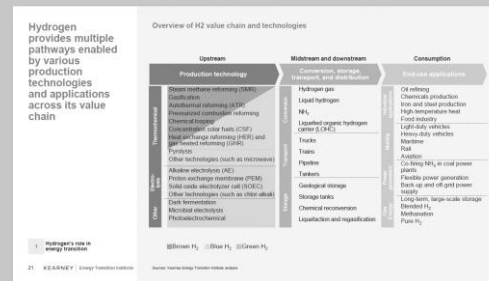


Quelle: Kearney



5

Was ist die Markteinführungsstrategie?



Ausblick

Thank you

Dr. Bernhard Pribyl-Kranewitter

Manager

bernhard.pribyl-kranewitter@kearney.com

+43 664 606 48 192

Stay connected with Kearney



This document is exclusively intended for participants of the „WING-Forum 2023“ conference on 02.06.2023 in Vienna. Distribution, quotations and duplications – even in the form of extracts – for third parties is only permitted upon prior written consent of Kearney.

Kearney used the text and charts compiled in this report in a presentation; they do not represent a complete documentation of the presentation.

KEARNEY

