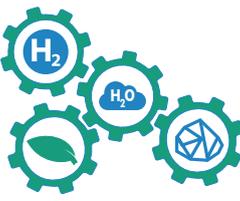




### Wasserstoff – Auf was lassen wir uns da ein?

- Leichtestes Element H
  - erstes im Periodensystem (ein Proton und Elektron, tritt als dimerisierter, molekularer Wasserstoff H<sub>2</sub> auf)
- Auf der Erde chemisch gebunden in
  - Wasser H<sub>2</sub>O,
  - organischen Verbindungen C<sub>n</sub>H<sub>m</sub>O<sub>p</sub> (Flora, Fauna, fossile Rohstoffe)
  - Mineralien



5

Hochschule Karlsruhe University of Applied Sciences Fraunhofer IKT

### Wasserstoff – Auf was lassen wir uns da ein?

- Wasserstoff im Stadtgas (50% H<sub>2</sub>)
  - Brenngas im Gasnetz (Lampen, Öfen, Boiler)
  - Aus Kohlevergasung oder Kokerei
  - in sehr vielen Haushalten und öffentlichen Einrichtungen
  - bis in 1950er Jahre im Ruhrgebiet, dann Umstellung auf Erdgas
- Wasserstoff war in vielen Lebenslagen bekannt und geschätzt





6

Hochschule Karlsruhe University of Applied Sciences Fraunhofer IKT

### Wasserstoff – Auf was lassen wir uns da ein?

- Wasserstoff ist sehr gefährlich?
  - Wasserstoff wird in der Schule als Beispiel für Explosionen genutzt (... natürlich, weil man das mit Wasserstoff in der Schule machen kann!)
  - Dadurch und durch einzelne Vorkommen hat sich das Narrativ vom gefährlichen Wasserstoff ausgeprägt



7

Hochschule Karlsruhe University of Applied Sciences Fraunhofer IKT

### Wasserstoff – Auf was lassen wir uns da ein?

- Wasserstoff ist
  - nicht detonativ im Freien
  - nicht zerfallsfähig
  - nicht selbstentzündlich
  - nicht oxidierend
  - nicht brandfördernd
  - nicht giftig
  - nicht korrosiv
- Wasserstoff ist
  - nicht radioaktiv
  - nicht überriechend
  - nicht ansteckend
  - nicht wassergefährdend
  - nicht fruchtschädigend
  - nicht krebserzeugend



8

Hochschule Karlsruhe University of Applied Sciences Fraunhofer IKT

### Wasserstoff – Auf was lassen wir uns da ein?

- Wasserstoff ist
  - leichter als Luft und entweicht schnell nach oben.
  - Farb- und geruchslos
- Wasserstoff hat
  - einen hohen Diffusionskoeffizienten (viermal größer als Methan) und verdünnt sich rasch in Luft.
  - deutlich engere Detonations- als Explosionsgrenzen: bei früher Zündung brennt er, bevor die Detonationsgrenzen erreicht werden.
- Wasserstoff brennt mit unsichtbarer Flamme, die sehr wenig Wärme abstrahlt.

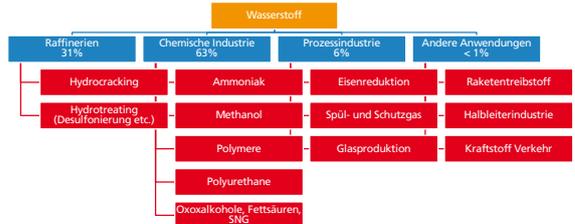
Wasserstoff ist nicht gefährlicher als Erdgas oder Benzin  
 Der Umgang ist (natürlich) anders!



Hochschule Karlsruhe University of Applied Sciences | Fraunhofer ICT

9

### Aktuelle Wege des Wasserstoff



(Department of Energy, Feb-19, Lin-01)

Hochschule Karlsruhe University of Applied Sciences | Fraunhofer ICT

10

### Aktuelle Wege des Wasserstoff

- 69 Mio.t Herstellung aus Erdgas und Kohle, überwiegend zur Kraftstoff- und Düngemittelherstellung
- 2018 globale Wasserstoff-Wertschöpfungsketten
- Dicke der Linien entspricht dem Energiegehalt der dargestellten Ströme



©2018 IEA. The Future of Hydrogen

Hochschule Karlsruhe University of Applied Sciences | Fraunhofer ICT

11

### Kopplung der Sektoren

- Ist - Zustand



Hochschule Karlsruhe University of Applied Sciences | Fraunhofer ICT

12

### „Fit for 55“ Stellschrauben der EU

- Zielsetzung in 10 Jahren etwa die gleiche Menge Treibhausgase einzusparen wie von 1990 bis 2021
- 8 Maßnahmen Ausbau bestehender Gesetze
- 5 Initiativen für die Bereiche Klima, Energie und Kraftstoffe, Verkehr, Gebäude, Landwirtschaft und Forstwirtschaft

Industrie	Gebäude	Verkehr	Seehäfen
75% der Emissionen verursachen Produktion und Verbrauch	12% der Rohstoffe stammen aus dem Recycling	25% der Emissionen verursacht dieser Sektor	40% des Energieverbrauchs geht in Gebäude
Revision des Emissionshandelsystems (ETS) und Generieren eines eigenständigen ETS für Gebäude und Straßentransport	Revision der Carbon-Budgets	Revision der Carbon-Budgets	Revision der Carbon-Budgets
Revision der Erneuerbare-Energien-Richtlinie	Revision der Erneuerbare-Energien-Richtlinie	Revision der Erneuerbare-Energien-Richtlinie	Revision der Erneuerbare-Energien-Richtlinie
Revision der Energieeffizienz-Richtlinie	Revision der Energieeffizienz-Richtlinie	Revision der Energieeffizienz-Richtlinie	Revision der Energieeffizienz-Richtlinie
Drittes Energiepaket für Gas	Drittes Energiepaket für Gas	Drittes Energiepaket für Gas	Drittes Energiepaket für Gas
Erweitern eines CO2-Grenzausgleichs	Erweitern eines CO2-Grenzausgleichs	Erweitern eines CO2-Grenzausgleichs	Erweitern eines CO2-Grenzausgleichs

11 | Institut | Hochschule Karlsruhe University of Applied Sciences | Fraunhofer IKT

13

### EU Wasserstoffstrategie im Kontext des "Green Deal"

»Green Deal: Das Ziel der EU-Wirtschaft mit einer Treibhausgasneutralität bis 2050

**Wasserstofftechnologien** sind eine Schlüsseltechnologie um den Green Deal zu erreichen:  
**H<sub>2</sub>: Basischemikale, Kraftstoff, Energieträger und Speichermedium** für klimaneutrale Wirtschaft

**Der Pfad zu einem Europäischen H<sub>2</sub>-Ökosystem**

**Heute-2024**

- Installation von mindestens **6GW Elektrolyseleistung**
- Erzeugung von **1 Mio t nachhaltigem H<sub>2</sub>**

**2025 - 2030**

- H<sub>2</sub> intrinsischer Teil eines integrierten Energiesystems
- > **40GW Elektrolyseleistung**
- Erzeugung von **10 Mio t nachhaltigem H<sub>2</sub>**

**2030 - 2050**

- Erneuerbares H<sub>2</sub> wird großflächig in Sektoren eingesetzt werden die ansonsten schwer zu defossilisieren sind.

A Hydrogen Strategy for a Greener Europe

11 | Institut | Hochschule Karlsruhe University of Applied Sciences | Fraunhofer IKT

14

### Wege zur Herstellung des Wasserstoff

11 | Institut | Hochschule Karlsruhe University of Applied Sciences | Fraunhofer IKT

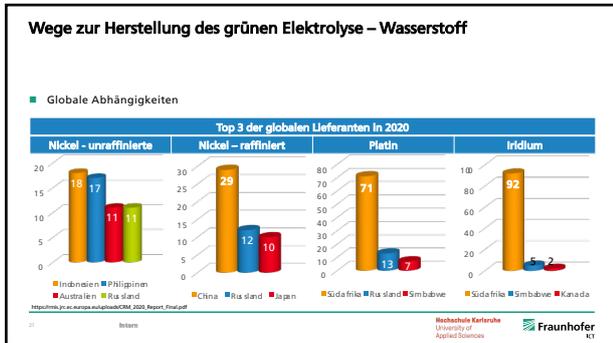
15

### Wege zur Herstellung des Wasserstoff

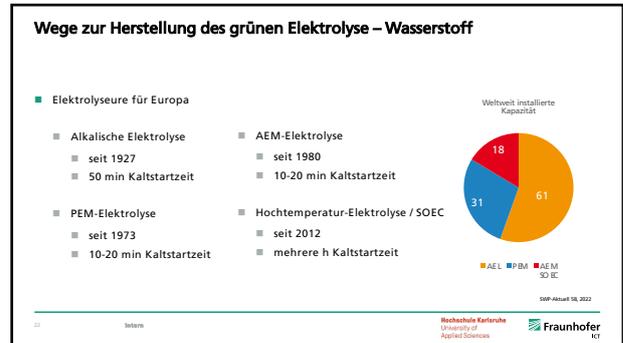
11 | Institut | Hochschule Karlsruhe University of Applied Sciences | Fraunhofer IKT

16

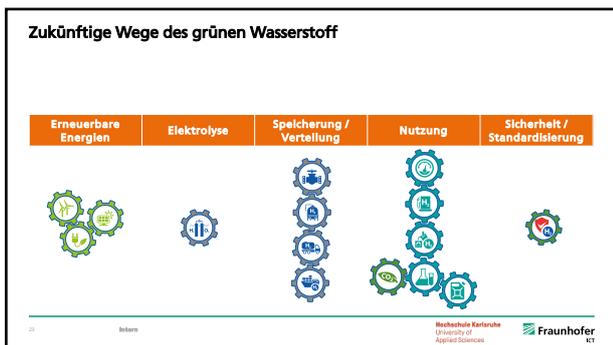




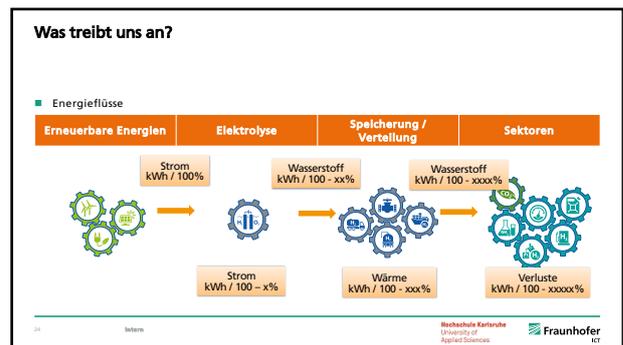
21



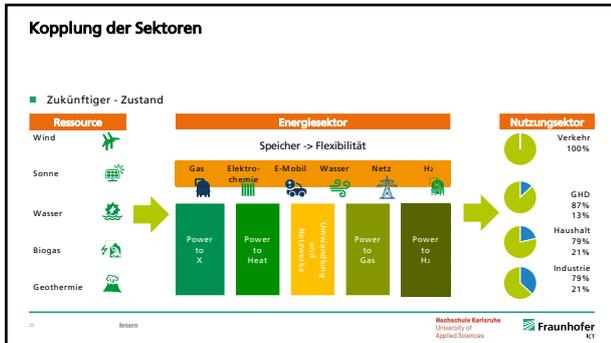
22



23



24



25

### Nationale Wasserstoffstrategie

- Nationale Wasserstoffstrategie
  - definiert die Schritte, die die Bundesregierung für notwendig hält
  - mit Hilfe der Wasserstofftechnologie zur Erreichung der Klimaschutzziele beizutragen
  - Schaffung neuer Wertschöpfungsketten für die deutsche Wirtschaft im Bereich der Wasserstofftechnologie
  - die internationale energiepolitische Zusammenarbeit auf dem Gebiet des Wasserstoffs weiter auszubauen

Hochschule Karlsruhe University of Applied Sciences | Fraunhofer IKT

26

### Wie gehen wir es an?

NATIONALER WASSERSTOFFRAT

- Nationaler Wasserstoffrat
  - Der Nationale Wasserstoffrat wurde von der Bundesregierung berufen und ist ein unabhängiges, überparteiliches Beratungsgremium.
  - Der Rat besteht derzeit aus 26 hochrangigen Experten aus Wirtschaft, Wissenschaft und Zivilgesellschaft.
  - Ziel des Nationalen Wasserstoffrates ist es, den Staatssekretärsausschuss für Wasserstoff bei der Weiterentwicklung und Umsetzung der Nationalen Wasserstoffstrategie zu begleiten und zu beraten.

Hochschule Karlsruhe University of Applied Sciences | Fraunhofer IKT

27

### Wie gehen wir es an?

NATIONALER WASSERSTOFFRAT

- Gesellschaftliche & politische Herausforderungen
  - Zusätzliche Kapazitäten für Strom aus Erneuerbaren Energien für die Produktion von Wasserstoff
  - Internationale Kooperationen und Infrastruktur für Import von EE (Wasserstoff) aufbauen
  - Setzen positiver Anreize durch Förderung von Wasserstofftechnologien
  - Konsequente Berücksichtigung von Wasserstoff in den relevanten gesetzlichen Regelungen
  - Erleichterung von Genehmigungsverfahren

Hochschule Karlsruhe University of Applied Sciences | Fraunhofer IKT

28

### Wie gehen wir es an?

**NATIONALER WASSERSTOFFRAT**

- Nationaler Wasserstoffrat
  - Federführung BMWK
  - BMUV, BMBF, BMDV, BMZ, Kanzleramt und BMVg
  - 26 Experten
    - Industrie
    - Verbände
    - Institutionen
    - Forschung

29 Intern Hochschule Karlsruhe University of Applied Sciences Fraunhofer IKT

29

### Wie gehen wir es an?

**NATIONALER WASSERSTOFFRAT**

- Governance-Struktur der Nationalen Wasserstoffstrategie (NHS)
  - Ausschuss der Staatssekretäre für Wasserstoff
    - berät, unterstützt, gibt Empfehlungen
    - verantwortlich für die Überwachung, Bericht
  - Nationaler Wasserstoffrat
    - Vorsitz: **Katharina Reiche**
    - Abteilungsleiter der Ministerien als Gäste
    - Struktur:
      - Forschung (S23, I21)
      - Energie (S23, I21)
      - Industrie (S23, I21)
      - Transport (S23, I21)
      - Klima (S23, I21)
      - International (S23, I21)
  - Nationale Wasserstoff-Kontrolstelle
    - Support
- Aktionsplan NHS
  - Weiterer Entwicklung
  - Kontinuierliche Überwachung
  - Aktion 1, Aktion 2, Aktion 3, Aktion n

30 Intern Hochschule Karlsruhe University of Applied Sciences Fraunhofer IKT

30

### Nationale Wasserstoff-Strategien im Vergleich

31 Intern Hochschule Karlsruhe University of Applied Sciences Fraunhofer IKT

31

### Zukünftige Wege des grünen Wasserstoff

- zuverlässige Märkte und Routen haben eine Schlüsselrolle
  - Bedeutung von erneuerbarem Strom nimmt stark zu
  - 40% durchschnittlich in Deutschland
  - Elektrifizierung zahlreicher Anwendungen
  - erheblicher Beitrag durch EE-Gase
  - Stromtransport ist vergleichsweise teuer
    - vorhandene Infrastruktur stark regional fokussiert
    - überregional / transkontinental kaum vorhanden
  - lokale Stromerzeugung reicht nicht
- Notwendigkeit von überregionalen Energieimporten

32 Intern Hochschule Karlsruhe University of Applied Sciences Fraunhofer IKT

32

### Versorgungsinfrastruktur

- notwendig für eine sichere, bezahlbare resiliente Versorgung
  - zuverlässige Versorgungsinfrastruktur
  - Anbindung nationaler Wasserstoffquellen
  - Anbindung europäischer Wasserstoffquellen
  - langfristige Speicherung sicherstellen
  - Optimierungspotentiale durch Sektorkopplung heben



33 Intern Hochschule Karlsruhe University of Applied Sciences Fraunhofer IKT

33

### Versorgungsinfrastruktur

- Standorte der Stahlerzeugung in Deutschland
  - zuverlässige Versorgungsinfrastruktur
  - Anbindung nationaler Wasserstoffquellen
  - Anbindung europäischer Wasserstoffquellen
  - langfristige Speicherung sicherstellen
  - Optimierungspotentiale durch Sektorkopplung heben

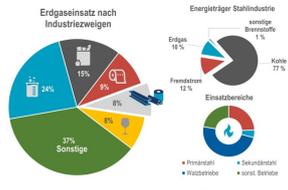


34 Intern Hochschule Karlsruhe University of Applied Sciences Fraunhofer IKT

34

### Versorgungsinfrastruktur

- Erdgas in der Stahlindustrie
  - 2,1 Mrd. m<sup>3</sup>
  - 8% Industriebedarf
  - 10% Energieträger
  - 50% Walzanlagen
  - 30% Rohstahlerzeugung
  - 20% Hilfs- und Nebenbetrieb



35 Intern Hochschule Karlsruhe University of Applied Sciences Fraunhofer IKT

35

### Versorgungsinfrastruktur

- Erdgasnetz
  - 511.000 km (Stand 2017)
  - Mehrfach-Leitungen erlauben Umstellung
  - H<sub>2</sub> – Transport bei gleichzeitiger
  - Sicherung der Erdgas-Versorgung



36 Intern Hochschule Karlsruhe University of Applied Sciences Fraunhofer IKT

36

### Versorgungsinfrastruktur

- Erdgasnetz
  - 511.000 km [Stand 2017]
    - grundsätzliche Eignung für H<sub>2</sub>-Transport und -Verteilung
  - Brennwert
    - Erdgas:
      - 8,4 - 13,1 kWh/m<sup>3</sup>
    - Wasserstoff:
      - 3,0 kWh/m<sup>3</sup>
  - Strömungsgeschwindigkeit in Rohrleitungen
    - Erdgas
      - Gasfernleitungen ≤ 2 bar: 4 - 20 m/s
      - Gasfernleitungen ≤ 5 bar: 11 - 35 m/s
      - Gasfernleitungen ≥ 5 bar: 15 - 40 m/s
      - Gas-Haushaltsleitungen: 1 m/s
    - Wasserstoff
      - Gasfernleitungen ≥ 20 bar: 12 - 15 m/s



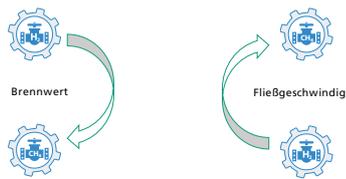
[Quelle: Schmidwiler NaturEnergie; gas Gas + Energie S2021]

Hochschule Karlsruhe University of Applied Sciences Fraunhofer IKT

37

### Versorgungsinfrastruktur

- Erdgasnetz



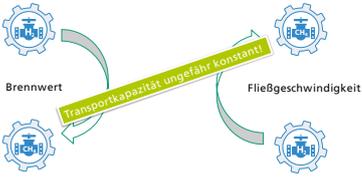
[Quelle: Schmidwiler NaturEnergie; gas Gas + Energie S2021]

Hochschule Karlsruhe University of Applied Sciences Fraunhofer IKT

38

### Versorgungsinfrastruktur

- Erdgasnetz



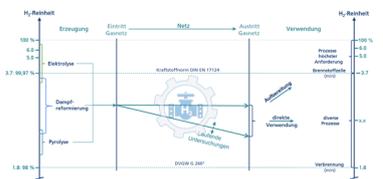
[Quelle: Schmidwiler NaturEnergie; gas Gas + Energie S2021]

Hochschule Karlsruhe University of Applied Sciences Fraunhofer IKT

39

### H<sub>2</sub> - Transportmöglichkeiten

- Erdgasnetz
  - 511.000 km [Stand 2017]



[Quelle: OSE]

Hochschule Karlsruhe University of Applied Sciences Fraunhofer IKT

40



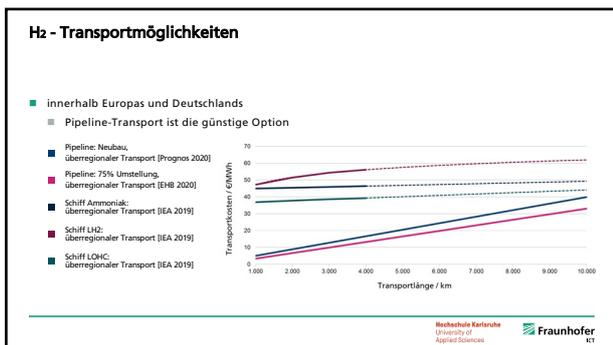
41

### H<sub>2</sub> - Transportmöglichkeiten

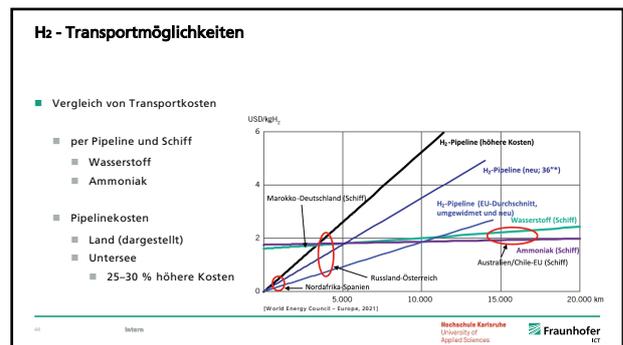
	Wasserstoff verdichtet	Wasserstoff verflüssigt	Ammoniak	LOHC
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Verdichtung zum Pipelinetransport</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Verflüssigung zum Transport bei -252°C</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Reaktion von H<sub>2</sub> mit Stickstoff zu Ammoniak</li> <li>H<sub>2</sub>-Rückgewinnung bei hohen Temperaturen (700°C)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>organische Trägerflüssigkeit wird mit H<sub>2</sub> beladen / entladen</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>gute Transportfähigkeit in Pipelines</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Umwandlungsverluste</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>hohe Energiedichte</li> <li>vorhandene Supply-Chain</li> <li>gute Lagerfähigkeit</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Transport bei Umgebungsbedingungen</li> <li>mittlere Energiedichte</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>höhere Verdichtungsleistung als bei Erdgas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>hoher Energieaufwand</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>stark giftig</li> <li>ätzend</li> <li>korrosiv</li> <li>stark wasserfährdend</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>giftig und wasserfährdend</li> <li>zusätzlicher Transport durch Rückführung des Trägermediums</li> <li>geringe Effizienz</li> <li>Reinigung des H<sub>2</sub> notwendig</li> </ul>

Hochschule Karlsruhe University of Applied Sciences | Fraunhofer IKT

42



43



44

### H<sub>2</sub> – Transportmöglichkeiten

- grüner und blauer Wasserstoff
  - Erzeugung
    - günstige Primärenergien
    - erneuerbare Energien
  - Nutzung
    - Diskrepanz zwischen Ort der Herstellung und Verwendung
  - weltweiter H<sub>2</sub>- und H<sub>2</sub>-Derivate - Handel

© Intern  
Hochschule Karlsruhe University of Applied Sciences  
Fraunhofer IKT

45

### H<sub>2</sub> – Transportmöglichkeiten

- Ausbauziele erneuerbarer Energien potentieller Wasserstoff - Lieferländer

	Erneuerbare Energien in %			
	Status	Jahr	Ziel	Jahr
Marokko	37.0		52	2030
Algerien	0.06		27	2030
Tunesien	12.5		30	2030
Ägypten	11.0	2019 / 2020	42	2030
Saudi-Arabien	0.04		50	2030
Katar	0.26		20	2030
Argentinien	9.00	2019 / 2020	20	2025
Chile	48.2		68	2030
Australien	24	2019 / 2020	68	2030

© Intern  
Hochschule Karlsruhe University of Applied Sciences  
Fraunhofer IKT

46

### H<sub>2</sub> – Transportmöglichkeiten

- Ausbauziele erneuerbarer Energien potentieller Wasserstoff - Lieferländer

**Deutschland: 65 Prozent Erneuerbare bis 2030**

	Erneuerbare Energien in %			
	Status	Jahr	Ziel	Jahr
Marokko	37.0		52	2030
Algerien	0.06		27	2030
Tunesien	12.5		30	2030
Ägypten	11.0	2019 / 2020	42	2030
Saudi-Arabien	0.04		50	2030
Katar	0.26		20	2030
Argentinien	9.00	2019 / 2020	20	2025
Chile	48.2		68	2030
Australien	24	2019 / 2020	68	2030

© Intern  
Hochschule Karlsruhe University of Applied Sciences  
Fraunhofer IKT

47

### H<sub>2</sub> – Transportmöglichkeiten

- Ohne Kooperationen wird es nicht genügend Wasserstoff geben!

Source: World Energy Council, modified from German Member Committee in sep. 2021 f

© Intern  
Hochschule Karlsruhe University of Applied Sciences  
Fraunhofer IKT

48

### H<sub>2</sub> – Transportmöglichkeiten

- Wie nachhaltig ist unsere deutsche Wasserstoff - Einkaufstour?
  - 1kg Wasserstoff = 9kg Wasser
  - 1L E-Fuel = 1,4L Wasser
  - Hat die solare Trinkwasserentsalzungs immer Vorrang vor der erneuerbaren Wasserstoffherzeugung?

Region	2010-2019 (kg)	2020-2029 (kg)
Australien & Neuseeland	9	12
Nordamerika	39	13
Europa	18	13
Latinamerika & Karibik	61	18
Afrika	68	150
Asien	111	388

[Source: Pacific Institute, Statista]

Hochschule Karlsruhe University of Applied Sciences | Fraunhofer IKT

49

### H<sub>2</sub> – Transportmöglichkeiten

- Wie nachhaltig ist unsere deutsche Wasserstoff - Einkaufstour?
  - prognostiziertes Verhältnis zwischen Wasserentnahme und Wasserangebot (Wasserstressniveau) im Jahr 2040

Wasserstressniveau

- gering < 10 %
- niedrig - mittel 10 - 20 %
- mittel - hoch 20 - 40 %
- hoch 40 - 60 %
- extrem hoch > 60 %

[Source: World Resource Institute]

Hochschule Karlsruhe University of Applied Sciences | Fraunhofer IKT

50

### H<sub>2</sub> – Transportmöglichkeiten

- Haben wir in Deutschland ein Wasserproblem?
  - Grundwasserspiegel sinken
    - orange Punkte
  - Grundwasserspiegel steigen
    - blaue Punkte

Stark sinkend | Sinkend | Stark steigend

[https://correctiv.org]

Hochschule Karlsruhe University of Applied Sciences | Fraunhofer IKT

51

### H<sub>2</sub> – Transportmöglichkeiten

- Wer sind die großen Wasserverbraucher in Deutschland?
  - Wasserknappheit
    - nicht allein Folge niedriger Wasservorkommen
    - unverhältnismäßig hohe Nachfragen

Unternehmen	Bundesland	Branche	Entnahme / m <sup>3</sup> /a	Stand
BASF	Rheinland-Pfalz	Chemie	1.346.541.989	2021
RWE Power	NRW	Energie	489.967.599	2019
Arcelor Mittal Eisenhüttenstadt	Brandenburg	Stahl	48.180.000	jährlich genehmigt
Salzgitter Flachstahl	Niedersachsen	Stahl	16.711.801	2020

[https://correctiv.org]

Hochschule Karlsruhe University of Applied Sciences | Fraunhofer IKT

52

### H<sub>2</sub> – Transportmöglichkeiten

- European Hydrogen Backbone - EHB
- Übertragungsnetzbetreiber
- Installation bis 2030:
  - 5 Pipeline Korridore
  - 28.000 km



[Quelle: nach EHB April 2022]

Hochschule Karlsruhe  
University of Applied Sciences

Fraunhofer  
ICT

53

### H<sub>2</sub> – Transportmöglichkeiten

- European Hydrogen Backbone - EHB
- Übertragungsnetzbetreiber
- Installation bis 2030:
  - 5 Pipeline Korridore
  - 28.000 km



**Nicht alle deutsche Regionen sind im Fokus!**

[Quelle: nach EHB April 2022]

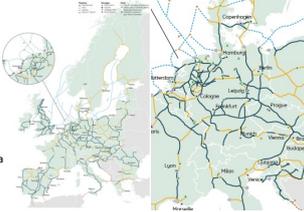
Hochschule Karlsruhe  
University of Applied Sciences

Fraunhofer  
ICT

54

### H<sub>2</sub> – Transportmöglichkeiten

- European Hydrogen Backbone - EHB
- Übertragungsnetzbetreiber
- Installationen nach 2030 im Jahre 2040
  - 10 große Pipeline Korridore
  - 53.000 km
  - 60 % bestehender Infrastruktur
  - 40 % neue H<sub>2</sub> Pipelines
  - Deckung H<sub>2</sub> in Europa von 1.640 TWh/a
  - 11-21 ct/kg je 1000km Transportkosten



[Quelle: nach EHB April 2022]

Hochschule Karlsruhe  
University of Applied Sciences

Fraunhofer  
ICT

55

### H<sub>2</sub> – Transportmöglichkeiten

Wasserstoff verdichtet	Wasserstoff verflüssigt	Ammoniak	LOHC
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verdichtung zum Pipeline-transport</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verflüssigung zum Transport bei -252°C</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reaktion von H<sub>2</sub> mit Stickstoff zu Ammoniak</li> <li>• H<sub>2</sub>-Rückgewinnung bei hohen Temperaturen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• organische Träger</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• gute Transportfähigkeit in Pipelines</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Umwandlung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Umwandlung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• transport bei Umgebungsbedingungen</li> <li>• mittlere Energiedichte</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• höher als bei</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• hoher Energieaufwand</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• stark giftig</li> <li>• ätzend</li> <li>• korrosiv</li> <li>• stark wassergefährdend</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• giftig und wassergefährdend</li> <li>• zusätzlicher Transport durch Rückführung des Trägermediums</li> <li>• geringe Effizienz</li> <li>• Reinigung des H<sub>2</sub> notwendig</li> </ul>

**Was kommt bei wem an?**  
**Wo sind die „Anlandungsstellen“ außerhalb des profitierten Pipeline-Transportes?**  
**Wo und an welchen Stellen erfolgt die Aufbereitung möglicher Derivate?**

[Quelle: nach EHB April 2022]

Hochschule Karlsruhe  
University of Applied Sciences

Fraunhofer  
ICT

56

### H<sub>2</sub> - Transportmöglichkeiten

- Abgleich
  - Erdgasnetz
  - Stahlstandorte in Deutschland
    - „manche“ haben Glück
    - „andere“ haben kein Glück
    - was bedeutet Glück

Hochschule Karlsruhe  
University of Applied Sciences

Fraunhofer IKT

57

### Strom - Transportmöglichkeiten

- Strombedarf der Stahlindustrie in Deutschland
  - 25 TWh
    - 11,6 TWh Eigenstromerzeugung
      - Kuppelenergieerzeugung in Verbundkraftwerken, Hochofengas-Entspannungsturbinen, Abhitzedampfnutzung von Kühlsystemen zur Stromerzeugung
    - 12,4 TWh
      - öffentliches Netz, Verbundkraftwerke

Stromverbrauch der Stahlindustrie (2019)

Reaktorleistung (gesamt)

ca. 40 Mio. t

25 TWh  
Eigenstrom  
11,6 TWh  
12,4 TWh

Grünstrombedarf 2030  
(1/3 der Primärstahlproduktion umgestellt)

Reaktorleistung (DR)

ca. 10 Mio. t

45 TWh  
25 TWh  
50 Prozent H<sub>2</sub> (grün)  
100 Prozent H<sub>2</sub> (grün)  
20 TWh  
100 Prozent Grünstrom

Hochschule Karlsruhe  
University of Applied Sciences

Fraunhofer IKT

58

### Strom - Transportmöglichkeiten

- Abgleich
  - Stromnetz
  - Stahlstandorte in Deutschland
    - „manche“ haben Glück
    - „andere“ haben kein Glück
    - was bedeutet Glück

Hochschule Karlsruhe  
University of Applied Sciences

Fraunhofer IKT

59

### H<sub>2</sub> – gasförmige Speichermöglichkeiten

- European Hydrogen Backbone - EHB
  - Vorhandene H<sub>2</sub>-Speicherpotentiale
  - Projektierte H<sub>2</sub>-speicherpotentiale

[Quelle: www.h2b-gas.de]

Hochschule Karlsruhe  
University of Applied Sciences

Fraunhofer IKT

60

### H<sub>2</sub> - Speichermöglichkeiten

- Wasserstoff im Vergleich zu Methan in Kavernenspeichern
  - niedriges Molekulargewicht (2 g/mol)
  - 8-mal höhere Kompressionsarbeit im Vergleich zu CH<sub>4</sub>
  - 5-mal höhere volumetrische Energiedichte von CH<sub>4</sub>
  - sehr geringe H<sub>2</sub> Leck-Verluste von Wasserstoff



[Quelle: Informations- und Grundlagenpapier - Nationaler Wasserstoffrat - 15.01.2022 - Die Rolle der Untergrund-Gasspeicher zur Entwicklung eines Wasserstoffnetzes in Deutschland]

Hochschule Karlsruhe University of Applied Sciences | Fraunhofer IKT

61

### H<sub>2</sub> – gasförmige Speichermöglichkeiten

- Salzkaverne, Grundwasserleiter, Ausgelaugtes Feld, Felskaverne, Poren
  - H<sub>2</sub> – Untergrundporenspeicherung
  - Mikrobiologische Konsumtion
  - H<sub>2</sub>S Problematik, Korrosion
  - H<sub>2</sub> – Kavernenspeicherung
  - Mikrobiologische Konsumtion ist unterdrückt
  - trotzdem Forschungsbedarf



[Quelle: nach ENE April 2022, nach DVGW 2012]

Hochschule Karlsruhe University of Applied Sciences | Fraunhofer IKT

62

### H<sub>2</sub> – gasförmige Speichermöglichkeiten

- erdverlegte Rohre
  - Erdgasspeicher-Röhrenfeld in Volketswil (Schweiz)
    - $l = 5.500 \text{ m}$ ,  $d = 1,5 \text{ m}$ ,  $V = 9.540 \text{ m}^3$
    - $p = 70 \text{ Bar} \Rightarrow V \text{ Erdgas} = 714.000 \text{ Nm}^3$
  - 2 GWh Energiespeicher bei Befüllung mit Wasserstoff



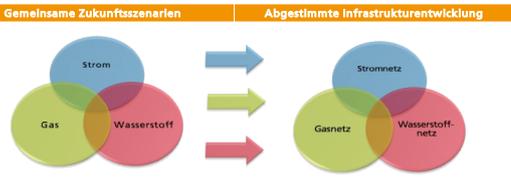
[Quelle: Fraunhofer IKT]

Hochschule Karlsruhe University of Applied Sciences | Fraunhofer IKT

63

### Schwerpunktsetzung - Infrastruktur

- Sektoren übergreifende Planung von Infrastruktur



[Quelle: Fraunhofer IKT]

Hochschule Karlsruhe University of Applied Sciences | Fraunhofer IKT

64

### Schwerpunktsetzung - Resilienz

- Resilienz auf gesamter Breite?
  - Berücksichtigung der Wechselwirkung
    - Infrastruktur / Angebot  $\approx$  Ausbau der Nutzungsoptionen / Nachfrage
  - Versorgungssicherheit
    - kontinuierliche Bereitstellung von Wasserstoff und seinen Produkten



© Intern Hochschule Karlsruhe University of Applied Sciences Fraunhofer IKT

65

### Schwerpunktsetzung - Resilienz



- Lokale Pilotprojekte
  - verbrauchsnahe H<sub>2</sub>-Erzeugung
  - H<sub>2</sub>-Erfahrungsbereich
  - keine Skaleneffekte für H<sub>2</sub>-Deckung
- Regionale Cluster
  - verbrauchsnahe H<sub>2</sub>-Erzeugung an EEG-Quellen
  - skalierbarer H<sub>2</sub>-Bedarf  $\rightarrow$  Skaleneffekte
- Internationale Ströme
  - umfassende Infrastruktur
  - Verknüpfung von Sektoren

© Intern Hochschule Karlsruhe University of Applied Sciences Fraunhofer IKT

66

### Schwerpunktsetzung - Märkte

- IRA – Inflation Reduction Act
  - umfasst knapp 400 Milliarden Dollar für saubere Energie
  - vielen in Form von Steuergutschriften für Privatleute und Unternehmen
  - auch Anreize für niedrige Emissionen

4000 \$ Steuergutschrift beim Kauf eines E-Autos	3 \$ Pro Kilogramm sauberen Wasserstoffs
2000 \$ Jährliche Steuergutschrift für die Anschaffung von Wärmepumpen, Biomasse-Öfen und -Kesseln	15 \$ Pro erzeugter Megawattstunde Stromes eines qualifizierten Kernkraftwerks

© Intern Hochschule Karlsruhe University of Applied Sciences Fraunhofer IKT

67

### Schwerpunktsetzung - Märkte

- Inflation Reduction Act
  - Gesetz für den Klimaschutz in den USA
    - Treibhausgasausstoß reduzieren
    - Bekämpfung der Inflation
    - Aufbau von Wertschöpfungsketten für Zukunftstechnologien
  - 369 Mrd. Dollar an Fördermitteln

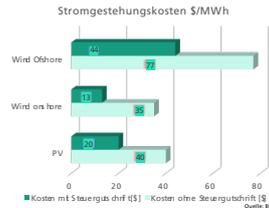


© Intern Hochschule Karlsruhe University of Applied Sciences Fraunhofer IKT

68

### Schwerpunktsetzung - Märkte

- Inflation Reduction Act
  - Umsetzungsmaßnahmen
    - direkte Förderung (in CAPEX)
      - 110 Mrd. US-Dollar an Klima- und Energieförderung
    - Steuergutschriften (sog. Production Tax Credits)
      - Lohn- & Qualifizierungsprogramme
      - inländisch produzierte Produkte
      - regionale Unterstützung
  - Schaffung 6 - 10 H2-Hubs



69

### Schwerpunktsetzung - Märkte

- Inflation Reduction Act
  - Umsetzungsmaßnahmen
    - direkte Förderung (in CAPEX)
      - 110 Mrd. US-Dollar an Klima- und Energieförderung
    - Steuergutschriften (sog. Production Tax Credits)
      - Fokussierung auf CO<sub>2</sub> Gehalt
        - des erzeugten Wasserstoffs
        - nicht der verwendeten Technologie

Gramm CO <sub>2</sub> /g Wasserstoff	Gramm CO <sub>2</sub> /MJ (unter Wasserstoff)	Production Tax Credit pro kg H <sub>2</sub>	Investment Tax Credit in %
< 0,45	< 3,75	3,00 US\$	30 %
< 1,50	< 12,50	1,00 US\$	10 %
< 2,50	< 20,84	0,75 US\$	7,5 %
< 4,00	< 33,34	0,60 US\$	6,0 %

70

### Schwerpunktsetzung - Handlungsempfehlung

- Klärung des H<sub>2</sub> - Pipeline Anschlusses
  - zeitlich, örtlich, umfanglich, resilient, ...
- Klärung der Stromversorgung
  - zeitlich, örtlich, nachhaltig, ...
- Klärung der Wasserversorgung
  - zeitlich, örtlich, nachhaltig, ...
- Klärung des Bedarfs einer resilienten Versorgung
  - Dimensionierung, Planung, Auslegung, Modellierung, ...

71

### Projekt: hyBit - Hydrogen for Bremen's industrial Transformation

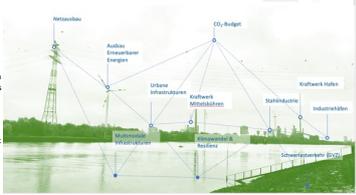
- BMBF - Großforschungsprojekt zum Aufbau eines H<sub>2</sub>-Hubs im Bremer Industriehafen
  - 30 Mill. Euro Fördervolumen
  - 15 Projektpartner
- Projektziele
  - Sektorenübergreifende, durch H<sub>2</sub> induzierte Defossilisierung
  - Etablierung einer regionalen, integrierten H<sub>2</sub>-Wirtschaft
  - lokale Wertschöpfungsketten sektoren-übergreifend zu defossilisieren
  - resiliente Gestaltung des Defossilisierungsprozesses und der Verfügbarkeit von unterschiedlichen Ressourcen wie H<sub>2</sub>, Strom, Wärme, Logistik etc. gegen äußere Schocks
  - digitalen Transformationsplattform für das Monitoring
  - Vernetzung von H<sub>2</sub>-Akteuren in Politik, Wirtschaft und Wissenschaft in einer norddeutschen Wasserstoff-Ökonomie

72

### Projekt: hyBit - Hydrogen for Bremen's industrial Transformation



- BMBF – Großforschungsprojekt zum Aufbau eines H<sub>2</sub>-Hubs im Bremer Industriehafen
  - Wie kann Klimaneutralität durch die zielgerichtete technische, wirtschaftliche, ökologische, rechtliche und gesellschaftliche Gestaltung von Wasserstoff-Hubs erreicht werden?
  - Welche Synergien und Trade-offs ergeben sich durch die Integration regionaler Hubs (Mikroebene) in eine überregionale Wasserstoffwirtschaft (Makroebene)?
  - Wie kann das knappe Gut Wasserstoff mit größtmöglicher Wirkung im Transformationsprozess eingesetzt werden?



73 Intern Hochschule Karlsruhe University of Applied Sciences Fraunhofer ICT

73

### Projekt: H2GreenForge

- Baden Württemberg – Landesprojekt: Freiformschmieden mittels Wasserstoff
  - 1,3 Mill. Euro Fördervolumen
  - 3 Projektpartner
  - Projektziele
    - Umstellung industrieller Schmiedeöfen von Erdgas auf Sauerstoff + Wasserstoff
    - Aufbau einer dezentralen dynamischen Wasserstoffherzeugung mit Speichern als Teststrecke
    - Intelligente H<sub>2</sub>-Herstellung abhängig von den Energiemärkten
    - Wirtschaftlichkeitsanalyse unter Berücksichtigung optimaler H<sub>2</sub>-Aggregate

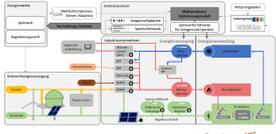


74 Intern Hochschule Karlsruhe University of Applied Sciences Fraunhofer ICT

74

### Projekt: H2GreenForge

- Baden Württemberg – Landesprojekt: Freiformschmieden mittels Wasserstoff
  - Erstellung eines Simulations- und Optimierungsmodells der geplanten Anlage
  - Erstellung einer modellbasierten Regelung
    - Nutzung vorhandener Marktdaten
    - geplanter Lastgänge
    - vorausschauenden H<sub>2</sub>-Produktion
    - Digitaler Zwilling des Elektrolyseurs und dessen Einbindung
  - Auswahl und Inbetriebnahme der Hardware



75 Intern Hochschule Karlsruhe University of Applied Sciences Fraunhofer ICT

75

Prof. Dr. Karsten Reikart

Tel.: +49 (0)711 464322  
 Fax: +49 (0)714644318  
 Mobil: +49 (0)6 96475925

Skills: Produktentwicklung  
 Angewandte Elektrotechnik  
 Fraunhofer Institut für Chemische Technologie  
 Joseph-Carl-Fraunhofer-Str. 71 76123 Pfinztal (Bergheim)  
 E-Mail: karsten.reikart@ict.fraunhofer.de  
 Web: http://www.ict.fraunhofer.de

Präsident  
 Fakultät für Chemie- und Informationstechnik  
 Hochschule Karlsruhe – Technik und Wirtschaft  
 Moltkestraße 30 | 76133 Karlsruhe  
 E-Mail: karsten.reikart@hs-karlsruhe.de  
 Web: http://www.hs-karlsruhe.de

Mitglied im Nationalen Wasserstoffrat der Bundesregierung  
 Mitglied im Baden Wasserstoffroadmap Baden-Württemberg



76 Intern Hochschule Karlsruhe University of Applied Sciences Fraunhofer ICT

76