

WASSERSTOFF FÜR EINE KLIMANEUTRALE INDUSTRIE, MOBILITÄT UND ENERGIEVERSORGUNG

Prof. Dr. Karsten Pinkwart



1
© Fraunhofer

intern

NATIONALER
WASSERSTOFFRAT

HKA

Fraunhofer
ICT

1

INHALT

- Wasserstoff – Wie nutzen wir diesen?
- Wasserstoffagenda
 - Wasserstoff – Warum ist dieser Stoff so wichtig?
 - Wer soll das bezahlen?
 - Welche Aufgaben stehen uns bevor?
- Wir schaffen das schon oder sind wir auf dem richtigen Weg?
- Wir schaffen das schon oder wo steht der Wettbewerb?
- Wie gehen es wir an?
- Wo stehen wir?

2
© Fraunhofer

intern

NATIONALER
WASSERSTOFFRAT

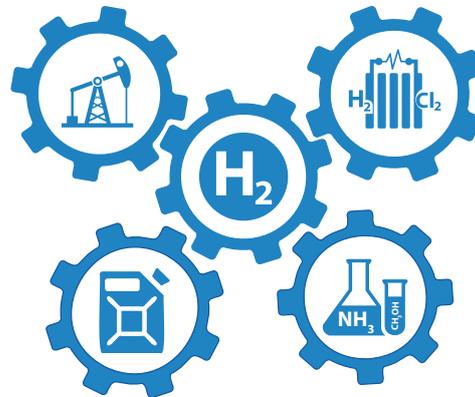
HKA

Fraunhofer
ICT

2

Wasserstoff – Wie nutzen wir diesen?

- Verwendung oft on-site – z.B. in Synthesegas
- 640 kt in Raffinerien zur Verarbeitung von Rohöl
 - Ansteigender Bedarf
 - Verbot von Schwerstöl (schwefelhaltig) in der Schifffahrt
 - Zusätzlicher Hydrodesulfurierung und Hydrocracken
- 460 kt für die Ammoniaksynthese
- 200 kt für die Methanolsynthese
- 115 kt für die Chlor-Alkali-Elektrolyse



3
© Fraunhofer

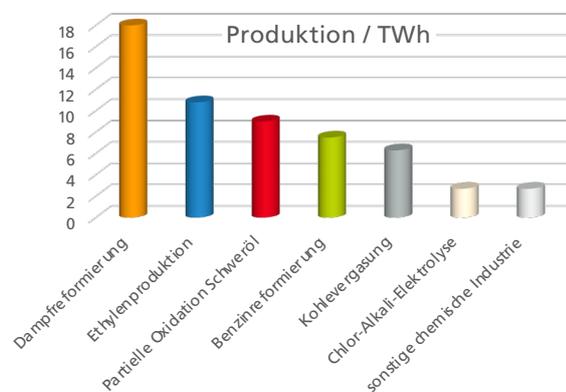
intern



3

Wasserstoff – Wie nutzen wir diesen?

- Deutschland 2020
 - Wasserstoff
 - Energiegehalt von rund 57 TWh



© Fraunhofer



4

Wasserstoffagenda - Wasserstoff – Warum ist dieser Stoff so wichtig?

- Nationale (Europäische) Wasserstoffstrategie
 - Klimaneutralität im Einklang mit den Zielen des Übereinkommens von Paris
 - Erderwärmung deutlich unter 2 Grad

 - Ziel der Treibhausgasneutralität in 2050
 - alternative Optionen zu den derzeit noch eingesetzten fossilen, gasförmigen und flüssigen Energieträgern
 - Reduktion des CO₂ Ausstoßes

- Chemische Speichersysteme und Elektrochemische Energiewandler

5
© Fraunhofer

intern



HKA

Fraunhofer
ICT

5

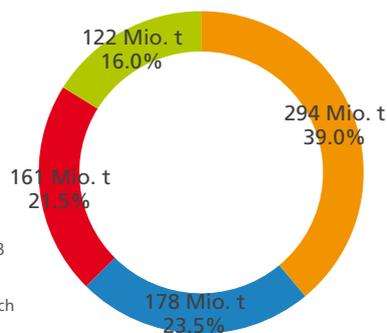
Wasserstoffagenda - Wasserstoff – Warum ist dieser Stoff so wichtig?

- Nationale (Europäische) Wasserstoffstrategie
 - Anteil der Branchen an den Emissionen 2019 in Deutschland
 - 755 Millionen Tonnen CO₂

■ Stromerzeugung ■ Industrie

■ Verkehr ■ Gebäude

(Beinhaltet nur den CO₂-Ausstoß durch Wärmeproduktion, die übrigen gebäudebezogenen Emissionen durch Stromverbrauch sind der Stromerzeugung zugeordnet.)



6
© Fraunhofer

intern



HKA

Fraunhofer
ICT

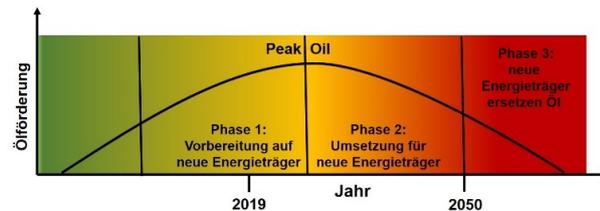
6

Wasserstoffagenda - Wasserstoff – Warum ist dieser Stoff so wichtig?

■ Versorgungssicherheit – Energiesicherheit

■ Erdöl

- steuern einem globalen Mangel an Erdöl zu
- Ressourcenkonflikte (aber auch andere Rohstoffe)
- Erdöl alleine wird in absehbarer Zukunft nicht mehr den zu erwartenden Bedarf decken können



7
© Fraunhofer

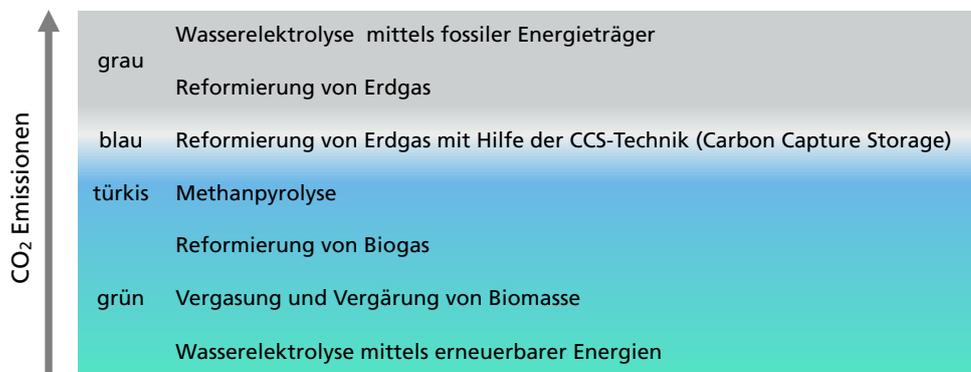
intern



7

Wasserstoffagenda

■ Nationale (Europäische) Wasserstoffstrategie



8
© Fraunhofer

intern



8

Wasserstoffagenda

Nationale (Europäische) Wasserstoffstrategie

	Edukte	Side – Produkte	Energie	Wirkungsgrad	CO ₂ – Emission pro kg H ₂
grauer H ₂ Dampfreformierung, CO ₂ entweicht	Erdgas, Kohle	atmosphärisches CO ₂	fossile Brennstoffe	ca. 75%	ca. 13.3– 23.0 kg
blauer H ₂ Dampfreformierung, CO ₂ Speicherung	Erdgas, Kohle	gespeichertes CO ₂	fossile Brennstoffe	ca. 45 %	ca. 5.0– 7.0 kg
türkiser H ₂ thermische Methanspaltung	Erdgas	Kohlenstoff	Biomasse	ca. 38 %	~ 1.0 kg
grüner H ₂ Elektrolyse mit erneuerbaren Energien	Wasser	Sauerstoff	erneuerbare Energien	ca. 70 %	< 1.0 kg

9
© Fraunhofer

intern

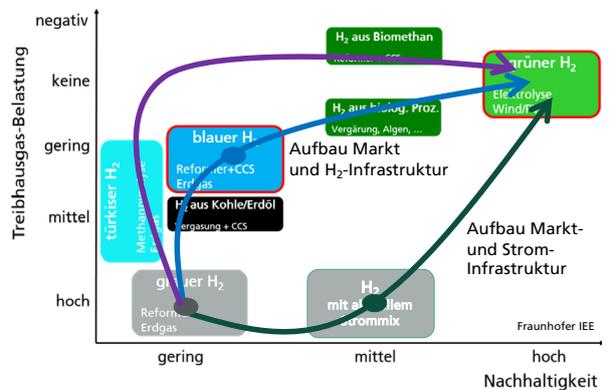


9

Wasserstoffagenda

Transformationspfade

- elektrolytisch hergestellter Wasserstoff aus erneuerbarem Strom wird benötigt
- Welcher Weg ist der bessere?
 - CO₂- Emissionen
 - Tempo
- Parallel
 - Ausbau Wind- und Sonnenenergie



© Fraunhofer



10

Wasserstoffagenda – Wer soll das bezahlen?

- Wasserstoff dominierte Prozesskoste
 - Fossil 1,5 - 2,0 €/ kg H₂
 - Fossil + CCS 2,5 - 3,0 €/ kg H₂
 - Elektrolyse 5,0 - 6,0 €/ kg H₂
- Elektrolyse-Wasserstoff ca. 70% Stromkosten
 - Herstellungskosten + Netzentgelt, EE-Zulage, Steuer
 - Bereitstellungskosten erneuerbarer Strom Ziel: ca. 30 - 40 €/kWh
 - Investitionskosten 450 – 500 €/kW Elektrolyseleistung
 - Gesamtinvestitionen Größenordnung 55 Mrd. €
 - Ist das viel in 30 Jahren?
 - Europa investiert aktuell 0,5 €/Einwohner – China 4 €/Einwohner*



*: VDI-Nachrichten 10.7.2020

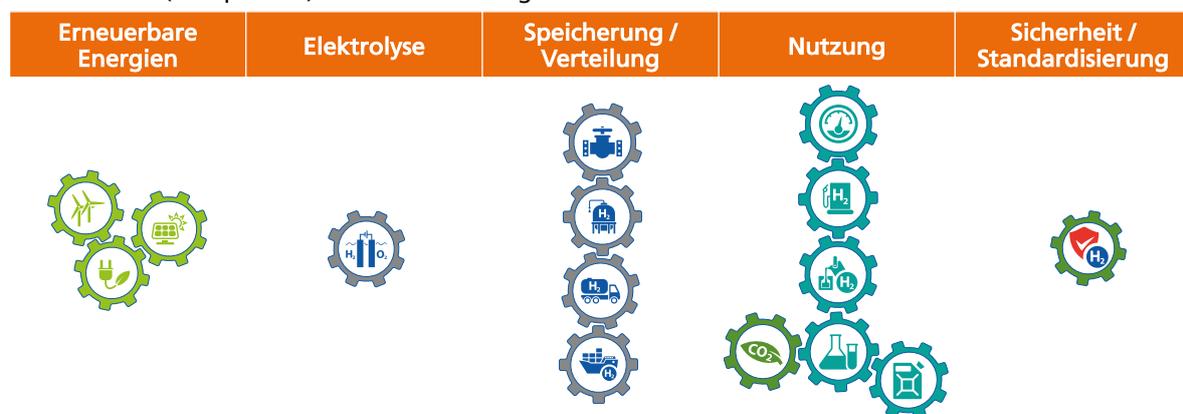
© Fraunhofer



11

Wasserstoffagenda

- Nationale (Europäische) Wasserstoffstrategie



12
© Fraunhofer

Intern



12

Wasserstoffagenda

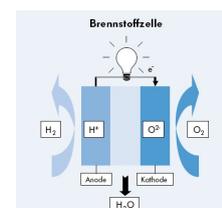
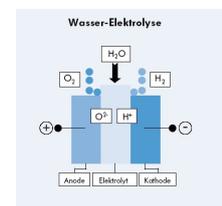
- Nationale (Europäische) Wasserstoffstrategie



13

Wir schaffen das schon oder sind wir auf dem richtigen Weg?

- Katsuhiko Hirose (Toyota)
 - Wertschöpfung bei Batterien sei an Rohstoffen orientiert, nicht so sehr an Technik
 - Wertschöpfung bei Brennstoffzellen / Elektrolyseanlagen sei an der Technik orientiert, nicht so sehr an den Rohstoffen



14
© Fraunhofer Intern

NATIONALER WASSERSTOFFRAT **HKA** Fraunhofer ICT

14

Wir schaffen das schon oder sind wir auf dem richtigen Weg?

- 2050
 - globaler Bedarf für Wasserstoff rund sechs Billionen Kubikmeter
- Mobilität
 - 40-Tonner nach Stand der Technik = 10 Tonnen schwere Batterie
 - 40-Tonner nach Stand der Technik = 10 Kilogramm Wasserstoff
- McKinsey
 - Wasserstoffantriebe sind auf Basis Electric Fan für Passagierflugzeuge bis etwa Größe A320 gegenüber E-Fuel wirtschaftlicher
 - E-Fuels
 - Elektrifizierung des Antriebs schwer umsetzbar ist
 - echte Perspektive: zum Beispiel in der Luft- oder Schifffahrt



15
© Fraunhofer

intern



15

Wir schaffen das schon oder sind wir auf dem richtigen Weg?

- Sunfire
 - es ist eine Frage der Effizienz, Verfügbarkeit und Flexibilität im Vergleich zu anderen nachhaltigen Technologien
- Shell (Wesseling, NRW)
 - 10 MW PEM-Wasserstoff-Elektrolyse-Anlage (größte der Welt)
- BOSCH
 - Kooperationen mit Nikola Motors (USA) und Motorenhersteller Weichai Power (China)
- BMW
 - 2025 serienreife Wasserstofffahrzeuge
- Siemens, GE Power, MAN
 - Gasturbinen für erneuerbare Gase aus klimaneutralen Quellen und für synthetische Kraftstoffe wie synthetisches Methan
 - Turbinen mit einer Mischung aus Erdgas und drei bis fünf Prozent Wasserstoff zukünftig 100%



16
© Fraunhofer

intern



16

Wir schaffen das schon oder wo steht der Wettbewerb?

■ Japan

- Toyota seit 2014 mit dem Mirai auf dem Markt
- Honda seit 2016 mit dem Clarity auf den Markt
- Toyota wird Systemlieferant von Elektromotoren, Batterien und Brennstoffzellen
- Toyota Industries produziert Brennstoffzellengabelstapler und Wasserstoffhochöfen
- 2030 5,3 Millionen Brennstoffzellen für Häuser und 800 000 Brennstoffzellenautos



Wir schaffen das schon oder wo steht der Wettbewerb?

■ Südkorea

- Hyundai Motor ab 2030 jährlich 500 000 BZ Fahrzeuge und 200 000 mobile Stromkraftwerke für Schiffe, Gabelstapler und andere Nutzfahrzeuge (Investitionen von 6 Milliarden Euro)
- Samsung Heavy baut den weltweit ersten brennstoffzellenbetriebenen LNG-Tanker
- Hyundai Motor startet gemeinsames Projekt zur Kommerzialisierung eines Brennstoffzellen-Antriebssystems für Schiffe
- Lotte Chemical investiert \$3,8 Mrd., um bis 2030 600.000 Tonnen Wasserstoff zu produzieren
- Posco kooperiert mit Doosan bei der Entwicklung sauberer, mit Ammoniak betriebener Wasserstoff-Gasturbinen
- 2040 6,2 Millionen Brennstoffzellenautos
- 15 Gigawatt Strom aus BZ-Kraftwerke



Wir schaffen das schon oder wo steht der Wettbewerb?

- Österreich
 - 2030 100% Strom aus erneuerbaren Quellen (es fehlen heute nur noch 25%)
 - Stahlkonzern Voestalpine mit Siemens Pilotanlage zur kohlendioxidfreien Stahlherstellung
- China
 - 2030 = 1 Million Brennstoffzellenfahrzeuge
- Beschleunigung der Wasserstoff-Technologie
 - Förderungen vom Staat
 - CO₂-Bepreisung



19
© Fraunhofer

intern



HKA

Fraunhofer
ICT

19

Wie gehen es wir an?

■ Nationaler Wasserstoffrat

- Ministerien
 - Kanzleramt
 - BMWi
 - BMU
 - BMVi
 - BMZ
 - BMVg

■ Vertreter der Länder

- Bremen, Brandenburg, Baden Württemberg, Nordrhein-Westfalen

NATIONALE WASSERSTOFF-STRATEGIE
Schlüsselement der Energiewende



Die Bundesregierung



Bundesministerium für Wirtschaft und Energie



Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit



Bundesministerium der Verteidigung



Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastrukt



Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung



20
© Fraunhofer

intern



HKA

Fraunhofer
ICT

20

Wie gehen es wir an?

■ Nationaler Wasserstoffrat

- 26 Experten
 - Wirtschaft
 - Forschung
 - Umweltverbände
 - Arbeitnehmervertreter



Wie gehen es wir an?

■ Nationaler Wasserstoffrat

- 4 Arbeitsgruppen
 - Forschung und Entwicklung
 - Erzeugung, Import & Integritätssicherung
 - Infrastruktur – Transport, Verteilung, Speicherung und Wärme
 - Anwendungen
 - Industrielle Anwendung
 - Mobilität und andere Energieanwendungen



Wie gehen es wir an?

- Nationaler Wasserstoffrat
 - unabhängiges Expertengremium
 - NWR organisiert seine Arbeit selbst
 - inhaltliche und organisatorische Unterstützung durch Leitstellen
 - Beratung der Bundesregierung
 - Vertraulichkeit der Informationen
 - Aussprache von Handlungsempfehlungen
 - Einsatz der Mittel
 - Rechtliche Rahmenbedingungen
 - Identifikation von grünem Wasserstoff



23
© Fraunhofer

intern



23

Wie gehen es wir an?

- Nationaler Wasserstoffrat
 - unabhängiges Expertengremium
 - gesamteuropäischer Ansatz
 - europäischer Binnenmarkt und einheitliche Klassifizierung
 - Aufbau von Infrastruktur
 - Nachfragehochlauf initiieren
 - Finanzierungsinstrumente
 - Forschungsförderung von Schlüsseltechnologien



24
© Fraunhofer

intern



24

Wo stehen wir – Nationale Wasserstoffstrategie?



- Bereitstellung von erneuerbarem Strom (600-900 TWh)
 - Wind- und Solarstromausbau
 - Biomassennutzung
- Elektrolysekapazität: 150 – 220 GW (heute unterer MW- Bereich)
 - Materialien für Elektrolyseure (z.B. Iridium- Ersatz)
 - Langzeitstabilität und Effizienz (Stromverbrauch)
 - Fertigungstechnik: Massenfertigung anstelle Manufaktur
- Infrastruktur: Transport von Strom und Transport von H₂
 - Stromtrassen
 - Pipelinennetz (auch Umwidmung von Erdgaspipelines)
 - Wasserstoffspeicher (Kavernen)
 - Sicherheit, Zuverlässigkeit und Akzeptanz



25
© Fraunhofer

intern



25

Wo stehen wir – Nationale Wasserstoffstrategie?



- 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

26
© Fraunhofer

intern



26

Wo stehen wir - Nationaler Wasserstoffrat?



■ Mission – Nationaler Wasserstoffrat

- 2020-10-22 - STELLUNGNAHME ZUR WEITERENTWICKLUNG DES ERNEUERBARE-ENERGIEN-GESETZES (EEG)
- 2020-11-06 - POSITIONSPAPIER ZUR DEUTSCHEN EU-RATSPRÄSIDENTSCHAFT
- 2020-11-10 - STELLUNGNAHME ZUR NWS-MASSNAHME
- 2020-11-12 - STELLUNGNAHME ZUR UMSETZUNG DER RED II IN NATIONALES RECHT
- 2021-04-20 - EMPFEHLUNG STUDIE WÄRMEMARKT
- 2021-04-20 - STELLUNGNAHME „WASSERSTOFF FÜR DIE LUFTFAHRT IN DEUTSCHLAND“
- 2021-07-02 - POSITIONSPAPIER WASSERSTOFFTRANSPORT

- 2021-07-02 - WASSERSTOFF AKTIONSPLAN DEUTSCHLAND 2021 – 2025



© Fraunhofer



27

Wo stehen wir – Nationaler Wasserstoffrat Aktionsplan Wasserstoff!



- Angenommene Mengengerüste nach Sektoren und H₂-Aufkommen
- Geforderte Maßnahmen des NWR (kurz, mittel, langfristig)
- Haltepunkte
- Zeitliche Ableitung



28
© Fraunhofer

Intern



28

Wo stehen wir – Aktionsplan Wasserstoff!



- Angenommene Mengengerüste nach Sektoren und H₂-Aufkommen
 - Bis 2030 fast ausschließliche Nutzung für Stahlherstellung, keine Nutzungskonkurrenz
 - 1,7 Mt/a (57 TWh) bis 2030 (davon 35% grüner H₂)
 - 2,3 Mt (77 TWh) bis 2035 für Stahl und Chemie
 - 2,8 Mt (93 TWh) bis 2040 für Stahl und Chemie (davon 50% grüner H₂)
 - 9 Mt/a (301 TWh) bis 2050
 - H₂ aus Erdgas wird als Übergangstechnologie als unverzichtbare Flexibilisierungsoption betrachtet



Wo stehen wir – Aktionsplan Wasserstoff!



- Angenommene Mengengerüste nach Sektoren und H₂-Aufkommen
 - Direkte Nutzung von H₂ in FC vor allem im Schwerlastbereich, begrenzte Anwendung von E-Fuels / H₂-Derivaten in schwer elektrifizierbaren Anwendungen (Luftfahrt, Schifffahrt, Sonderanwendungen)

	Gesamtbedarf Transport		davon E-Fuels landgebundener Verkehr		davon E-Fuels Luftverkehr	
	Mio. t H ₂	TWh	Mio. t H ₂	TWh	Mio. t H ₂	TWh
2030	0,8	25	0,17	5,7	0,1	2,7
2035	2,0	67	0,24	8	0,2	6,3
2035*	2,8	92	0,9	30	0,2	6,3
2040	3,8	128	0,3	11	0,4	12,1
2040*	6,1	203	2,2	72	0,4	12,1



Zusammenfassung

- Wasserstoff
 - ist heute ein Chemierohstoff
 - bietet großes Potential für eine klimaneutrale Gesellschaft und Wirtschaft
 - aus EEG wird als erstes in der Industrie Anwendung finden
 - als Wirtschaftsfaktor ist von seiner Entstehung abhängig
 - und dessen Herstellung und Einsatz braucht entsprechende Regularien und Rahmenbedingungen
 - steht noch nicht ausreichend zur Verfügung aus EEG zur Verfügung
 - und seine Transformationspfade sind noch nicht klar

© Fraunhofer



33



■ Prof. Dr. Karsten Pinkwart

Tel.: +49 (721) 9251360
 Fax: +49 (721) 9251301
 Mobil: +49 (160) 96475925

Prodekan
 Fakultät für Elektro- und Informationstechnik
 Hochschule Karlsruhe - Technik und Wirtschaft
 Moltkestraße 30 | 76133 Karlsruhe
 E-Mail: karsten.pinkwart@h-ka.de
 Web: <http://www.h-ka.de>

Stellv. Produktbereichsleiter
 Angewandte Elektrochemie
 Fraunhofer Institut für Chemische Technologie
 Joseph-von-Fraunhofer-Str. 7 | 76327 Pfinztal
 E-Mail: karsten.pinkwart@ict.fraunhofer.de
 Web: <http://www.ict.fraunhofer.de>

<https://www.wasserstoffrat.de>

34
© Fraunhofer

Intern



34