

Der zukünftige Weg von Wasserstoff in den deutschen Verkehrssektor

Bernd Emonts

Forschungszentrum Jülich

Institut für Energieforschung – Brennstoffzellen (IEF-3)

Sitzung des Beirats h2-netzwerk-ruhr

29. Oktober 2009

Anwendungszentrum H2Herten

Folie 1

s1 Titelfolie

weiße Schrift im blauen Feld

Vortragstitel arial, 24, fett

Präsentationsort arial, 20

Datum/Autor arial, 18

Überschrift

Schrift: arial, 20, fett

Farbe: RGB: rot 0, grün 91, blau 130

Position: horizontal 0,92, vertikal 1,69

s.krings; 29.01.2008

Inhalt

- Ausgangslage und Motivation
- Szenarien und Annahmen
- Herstellungspfade und Auswirkungen
- Wasserstoff-Herkunft und Infrastruktur
- Wasserstoff im Verkehr
 - Endenergienachfrage
 - Kraftstoffnachfrage
 - Minderung der CO₂-Emissionen
- Weiterer Forschungsbedarf
 - Bereitstellung
 - Verteilung
 - Nutzung
- Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

GermanHy 

Studie zur Frage

„Woher kommt der Wasserstoff in
Deutschland bis 2050?“

Im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und
Stadtentwicklung (BMVBS) und in Abstimmung mit der Nationalen
Organisation Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie (NOW).

Ausgangslage und Motivation

Ziele für den Verkehrssektor in Deutschland

Ziele für die Mobilität von Morgen

- Die Emissionen aus dem Verkehr senken
- Die Abhängigkeit vom Erdöl verringern
- Die Energieeffizienz steigern
- Den Anteil erneuerbarer Energien steigern
- Die Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Automobilindustrie stärken

Warum Wasserstoff?

- ▶ H₂ ist ein kohlenstofffreier Energieträger
- ▶ H₂ ist aus allen Energiequellen herstellbar
- ▶ H₂ ermöglicht die Nutzung hocheffizienter Brennstoffzellen (BZ)
- ▶ H₂ ist ein Energiespeicher für erneuerbare Energien
- ▶ H₂ und BZ haben als Schlüsseltechnologie ein großes Potential für Wertschöpfung

Kraftstoffstrategie der Bundesregierung



Wasserstoff kann künftig eine bedeutende Rolle als Kraftstoff im Straßenverkehr spielen

Ausgangslage und Motivation

Fragestellungen und Einordnung von GermanHy

Zentrale Fragestellungen zur Einführung von Wasserstoff in den Verkehrssektor

- Welchen Anteil am künftigen Kraftstoffbedarf kann H₂ übernehmen?
- Aus welchen Energiequellen lässt sich H₂ wirtschaftlich bei steigendem Bedarf herstellen (Zeithorizonte: 2020, 2030 und 2050)?
- Wie lässt sich H₂ vom Ort der Produktion zu den Verbrauchern transportieren?
- Welche Wirkungen hat der Einsatz von H₂ im Verkehr auf Mobilitätskosten, Emissionen, Anteil erneuerbarer Energien und Abhängigkeit von Energieimporten?

Aufgabenstellung und Herangehensweise

- GermanHy liefert der NOW Entscheidungsgrundlagen für die Ausgestaltung des NIP im Bereich der Wasserstoffinfrastruktur.
- GermanHy fokussiert auf die Einführung von H₂ als alternativer Kraftstoff im Verkehrssektor.
- GermanHy berücksichtigt den gesamtenergiewirtschaftlichen Kontext in Deutschland.

Ausgangslage und Motivation

Erklärungen und Initiativen führender Industrieunternehmen

Entwicklung und Markteinführung von Elektrofahrzeugen mit Brennstoffzellenantrieb

- Gemeinsame Erklärung ▶ Stuttgart, 9. September 2009
- Partner ▶ Daimler AG, Ford Motor Company, General Motors Corporation/Opel, Honda Motor Co., Ltd., Hyundai Motor Company, Kia Motors Corporation, die Allianz Renault SA und Nissan Motor Co., Ltd. Sowie Toyota Motor Corporation
- Ziel ▶ ab 2015 werden über den Lebenszyklus verteilt weltweit einige hunderttausend BZ-Fahrzeuge auf dem Markt angeboten

H₂ Mobility – Aufbau einer Wasserstoffinfrastruktur in Deutschland

- Gemeinsame Initiative ▶ Memorandum of Understanding, Berlin, 10. September 2009
- Partner ▶ Daimler, EnBW, Linde, OMV, Shell, Total, Vattenfall und NOW
- Ziele ▶ Kommerzialisierung von Elektrofahrzeugen mit Brennstoffzelle
▶ H₂- und BZ-Technologien werden zum integralen Bestandteil des Antriebsmixes der Zukunft entwickelt

Szenarien und Annahmen

Szenarien



Motivation	Konservative Trendfortschreibung	Ambitionierte Klimaschutzpolitik	Massive Knappheit fossiler Ressourcen
Energiepreise (Rohöl)	54 \$/bbl in 2020 111 \$/bbl in 2050	54 \$/bbl in 2020 111 \$/bbl in 2050	248 \$/bbl in 2020 202 \$/bbl in 2050
Treibhausgas-Minderungsziele	-20% bis 2020 -40% bis 2050	-40% bis 2020 -80% bis 2050	-20% bis 2020 -40% bis 2050
Mehrkosten Brennstoffzellen-Auto	Senkung der Antriebskosten des Brennstoffzellen-PKW/-NFZ auf das Niveau moderner Diesel-PKW/-NFZ		
Erneuerbare Energien	mindestens 20% Anteil am Primärenergieverbrauch bis 2020		

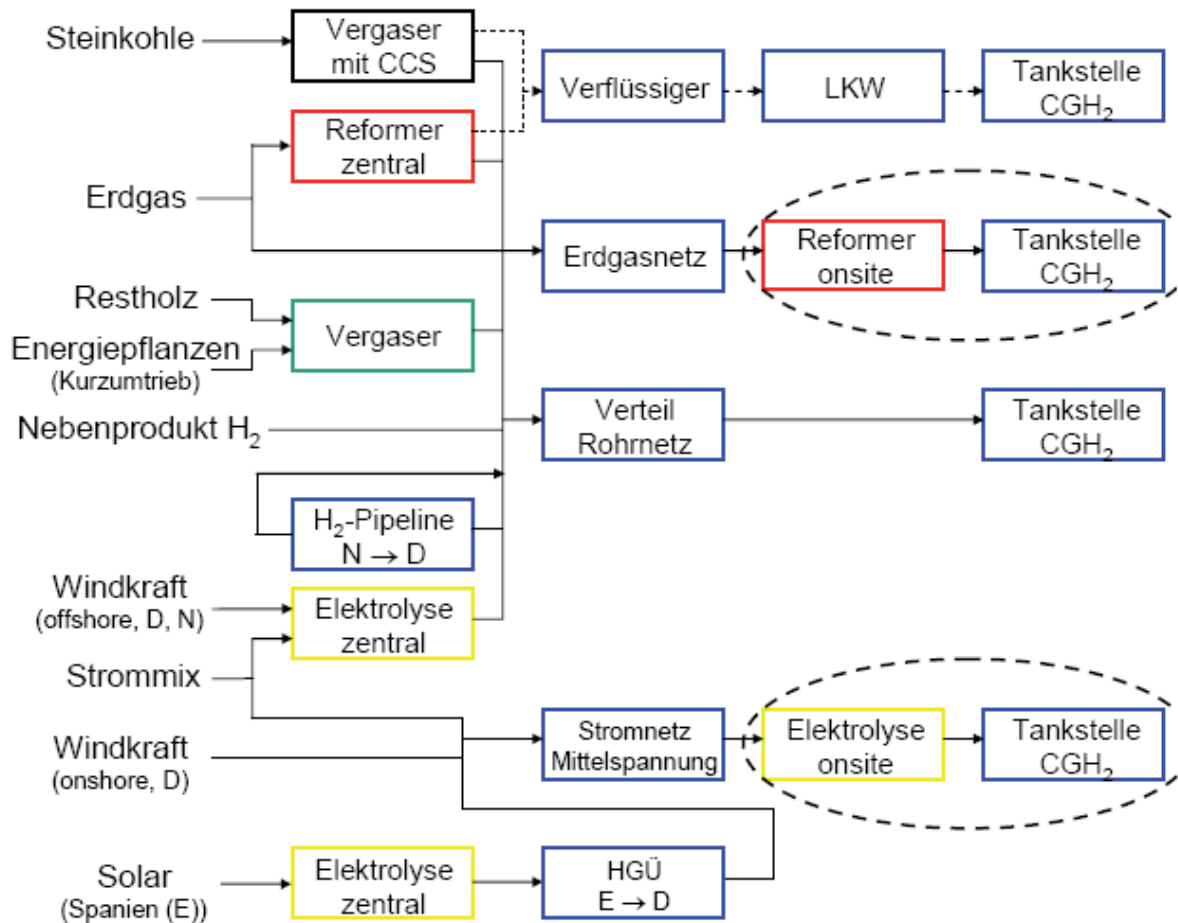
Quelle: GermanHy 2009

Annahmen und Randbedingungen

- Basis sind BMWi Energiereport 2005 und BMU Leitstudie 2007
- Anbaufläche für Energieflächen maximal 4 Mio. Hektar (etwa ein Drittel der Anbaufläche)
- Technologien zur Abscheidung und Speicherung von CO₂ (CCS) sind ab 2020 verfügbar
- Anteil von Wind- und Photovoltaik-Strommenge beträgt maximal 50 %
- H₂ wird mindestens zu 50 % aus erneuerbaren Energien hergestellt
- Anteil der KWK an der Stromerzeugung beträgt minimal 12 % und maximal 40 %

Herstellungspfade und Auswirkungen

Relevante H₂-Produktions- und Verteilungspfade

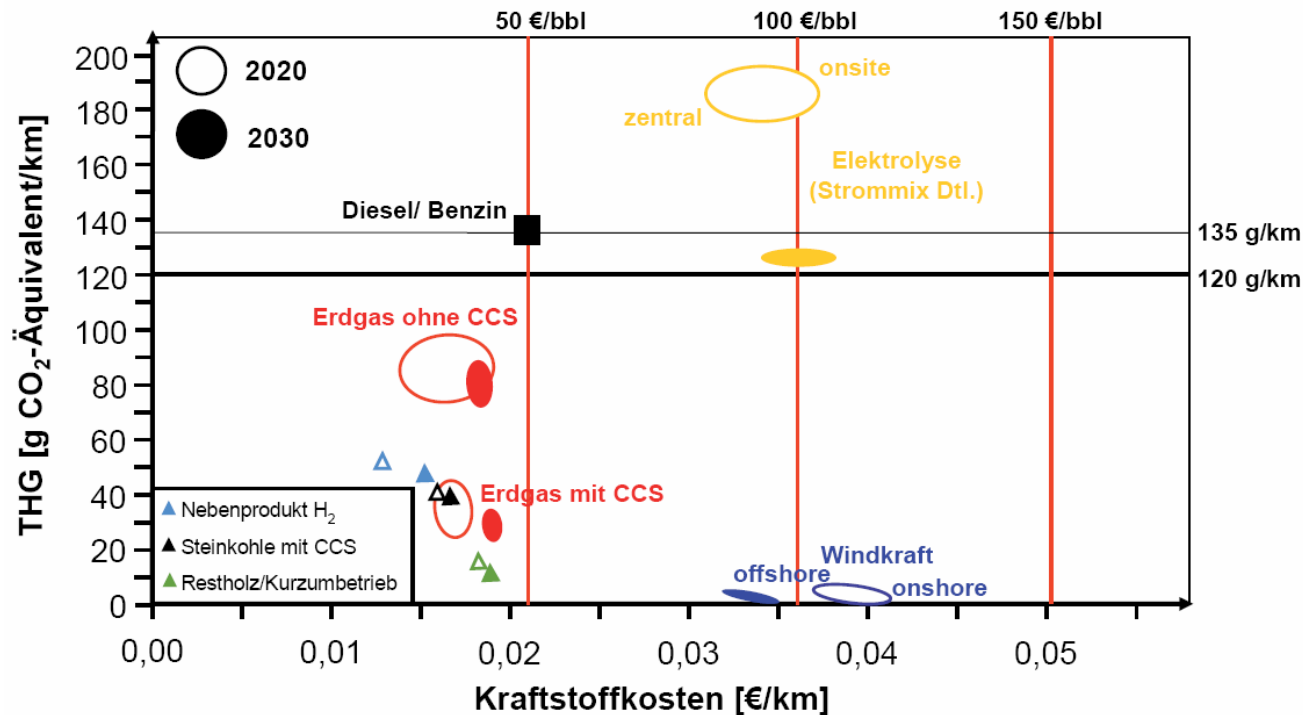


Quelle: H₂ Mobility

Legende: D = Deutschland, N = Niederlande, E = Spanien

Herstellungspfade und Auswirkungen

Portfolio-Darstellung

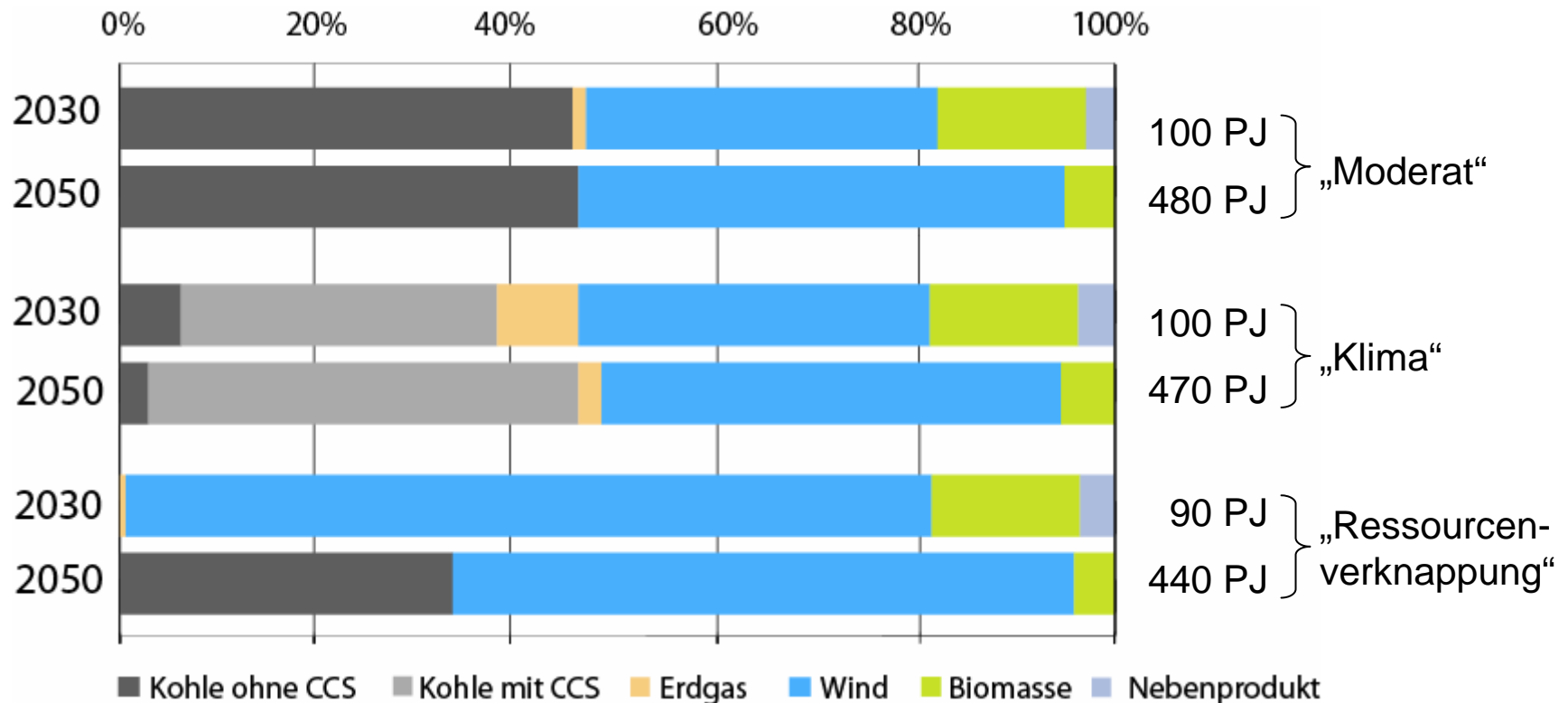


Quelle: Daimler AG

- Bei 50 €/bbl erzielen die H₂-Pfade mit Erdgas, Nebenprodukt-H₂, Steinkohle mit CCS und Restholz/Kurzumbetrieb günstigere Kraftstoffkosten und geringere Treibhausgasemissionen
- Bei 100 €/bbl erzielen die H₂-Pfade mindestens Kostengleichheit mit Diesel- oder Benzin PKW
- Mit einer Ausnahme erreichen die H₂-Pfade reduzierte Treibhausgasemissionen

Wasserstoff-Herkunft und Infrastruktur

Anteile der Primärenergieträger an der Wasserstoffproduktion



- H₂ wird aus verschiedenen Primärenergieträgern hergestellt werden.
- Entscheidend für den zukünftigen Energiemix zur Produktion von H₂ sind politische Ziele und Rahmenbedingungen sowie das Erreichen technischer Entwicklungsziele.

Wasserstoff-Herkunft und Infrastruktur

Wasserstoff-Produktionsmix

Biomasse

Biomassevergasung stellt günstigste Option zur Erzeugung von H₂ aus erneuerbaren Energien dar, ist aber potentialbegrenzt.

Wind

Wind ist die bedeutendste erneuerbare Ressource für H₂, die bei einer Verschärfung der Ressourcensituation deutlich an Bedeutung gewinnt.

Strom

Deshalb spielen zentrale **Elektrolyseure** zur Integration der erneuerbaren Energie (**Strom**) eine wesentliche Rolle

Importe

Später, bei einer hohen Marktdurchdringung, können **Importe** (Strom, H₂ aus erneuerbaren Energien) deutlich an Bedeutung gewinnen.

Nebenprodukt

Nebenprodukt-H₂ wird weitgehend genutzt, ist aber potentialbeschränkt.

**Steinkohle
Braunkohle**

Ab 2020 kann die **Kohlevergasung** (Stein- und Braunkohle) eine wirtschaftliche Option darstellen, wobei Klimaschutzziele diese nur mit CCS erlauben.

Erdgas

Erdgasreformierung ist auch ohne CCS für die Einhaltung von Klimaschutzzielen geeignet

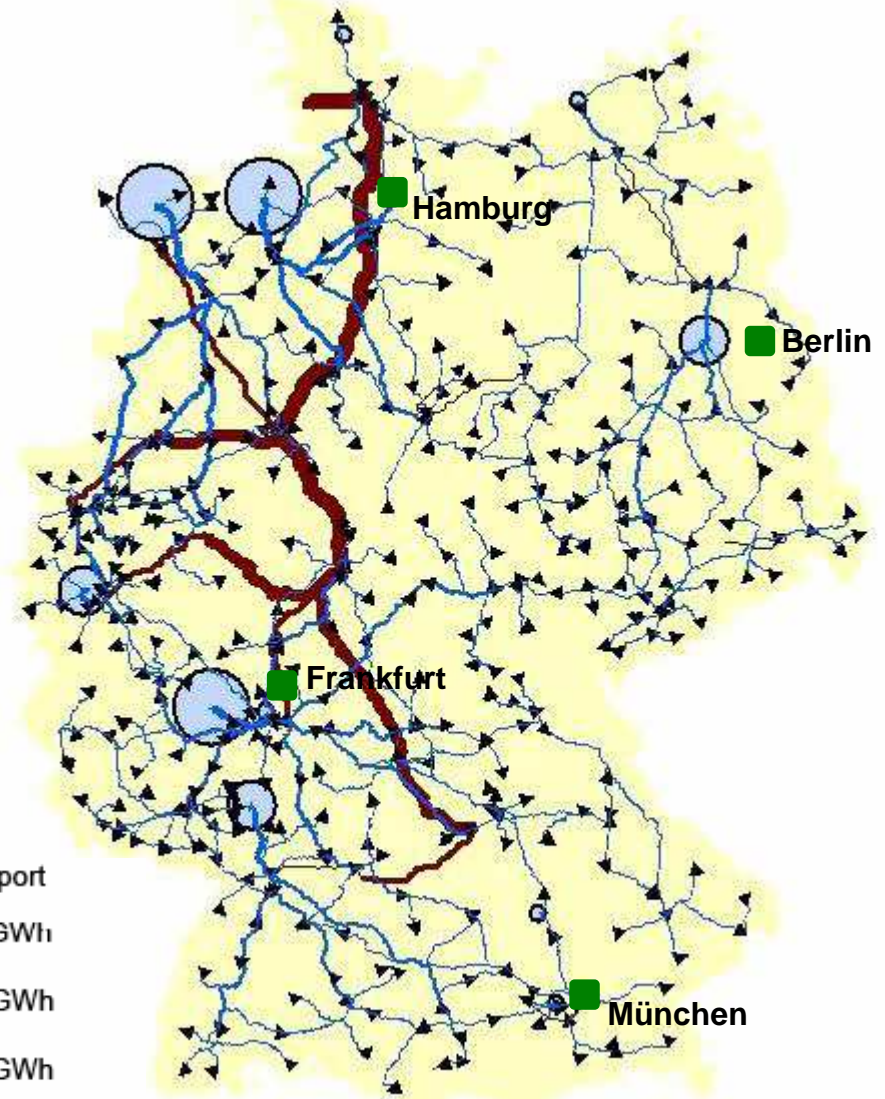
On-site

On-site Herstellung (Erdgas, Biomasse und Strom) kann zu Beginn einer H₂-Versorgung eine Rolle spielen, wobei die Wirtschaftlichkeit zzt. unsicher ist.










Wasserstoff-Herkunft und Infrastruktur

Transport- und Verteilsysteme 2030

- Der Aufbau der Infrastruktur erfolgt sukzessive, startet von Ballungszentren aus.
- In der Einführungsphase bis 2030 dominiert der Transport von LH₂ zur Tankstelle.
- Mit steigender Nachfrage erfolgen Transport und Verteilung über Pipelines mit CGH₂.
- Auch regionale oder on-site Erzeugung von H₂ aus Erdgas, Biomasse oder Elektrolyse können eine Rolle spielen.



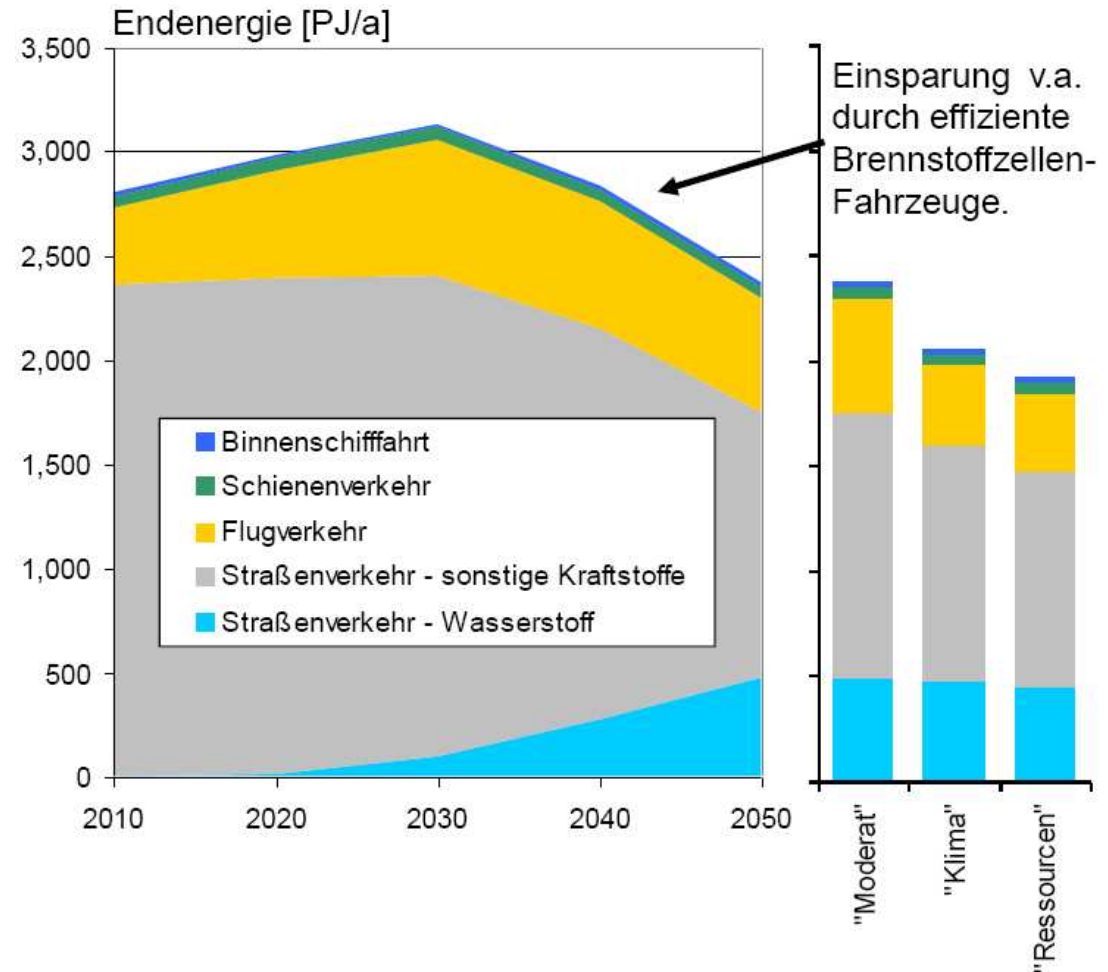
„Moderate Entwicklung“ @ Pipelineanteil 20 %

LH ₂ Produktion	H ₂ Flüssigtransport via Trailer	H ₂ Pipeline - Transport
 800 - 2400 GWh	 800 - 2392 GWh	 6541 - 6911 GWh
 248 - 800 GWh	 393 - 800 GWh	 5947 - 6640 GWh
 24 - 248 GWh	 <103 - 393 GWh	 5 - 2310 GWh

Wasserstoff im Verkehr

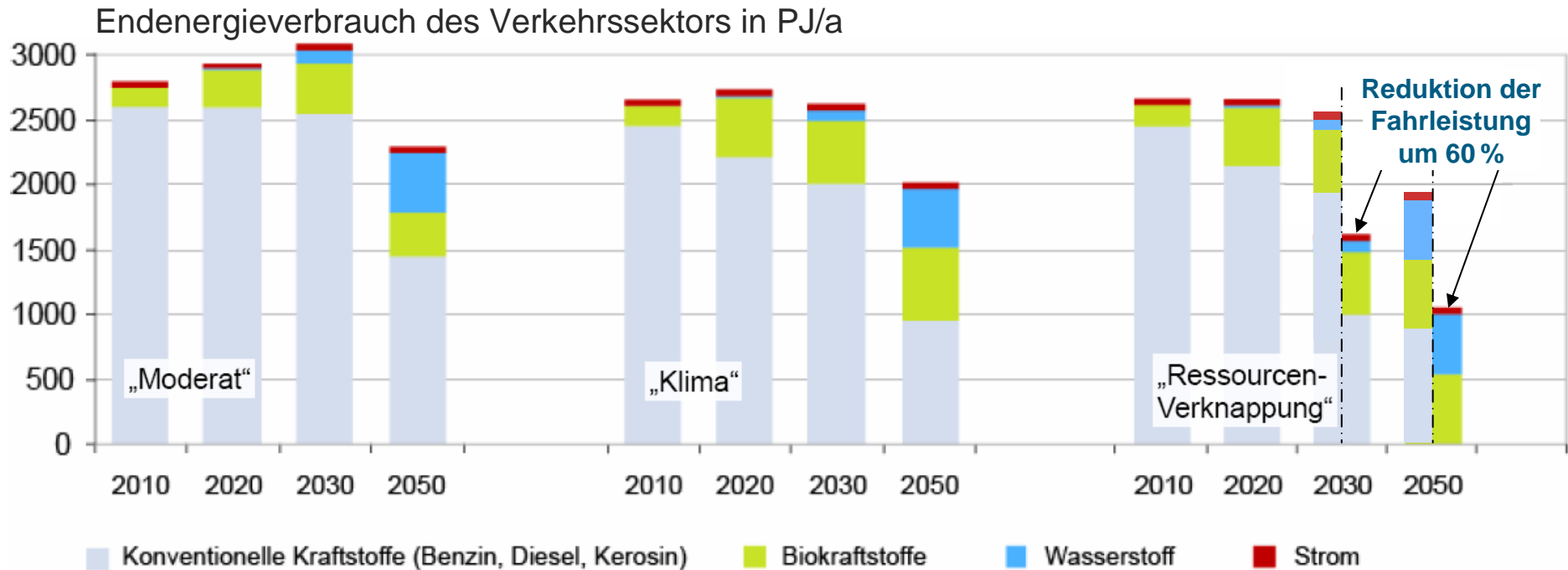
Verkehrsträgerabhängige Endenergienachfrage

- Deutschland verbraucht rund 30 % seiner Primärenergie im Verkehrssektor.
- H₂ und BZ können im Straßenverkehr bis 2050 eine große Bedeutung erlangen. Sie werden zentraler Bestandteil eines diversifizierten Angebotes „Kraftstoffe und Antriebskonzepte“.
- Der H₂-Anteil an der Endenergienachfrage im Verkehr beträgt je nach Szenario 20 bis 25 %.
- Der Anteil von PKW und LNF mit H₂/BZ-Technologie am Straßenverkehr kann im Jahr 2050 über 70 % betragen.
- Zentraler begrenzender Faktor ist der Verbreitungsgrad von H₂-Fahrzeugen.



Wasserstoff im Verkehr

Menge und Art der Kraftstoffnachfrage



Herausforderungen

- Die Energieversorgung wird auch im Mobilitätsbereich vielfältiger und komplexer.
- Die Energienutzungskonkurrenz zwischen stationär und mobil verschärft sich, vor allem bei der Nutzung von Biomasse.

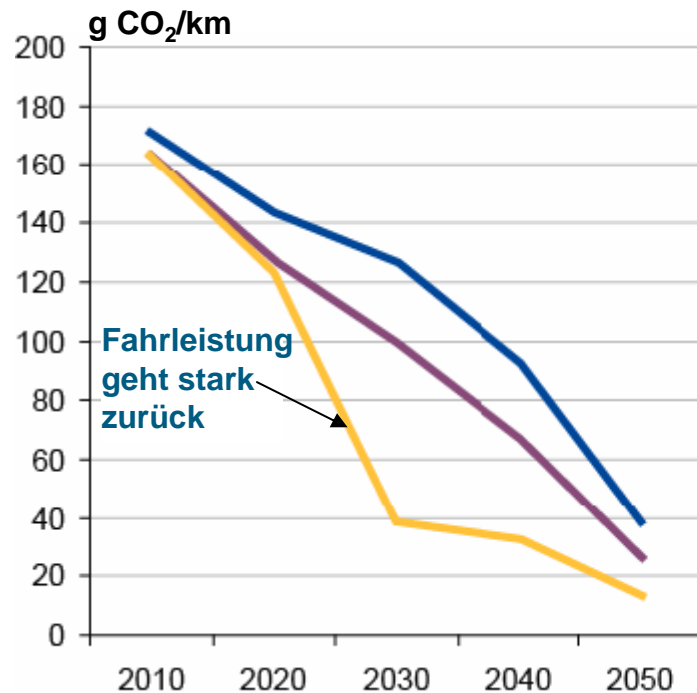
Rolle von Wasserstoff

- ▶ H₂ kann zusammen mit anderen alternativen Kraftstoffen über 50 % des Bedarfs in 2050 decken.
- ▶ Trotzdem reichen im Szenario „Ressourcenverknappung“ die vorgeschlagenen Aktivitäten nicht, um die heutigen Mobilitätsmuster aufrecht zu erhalten.

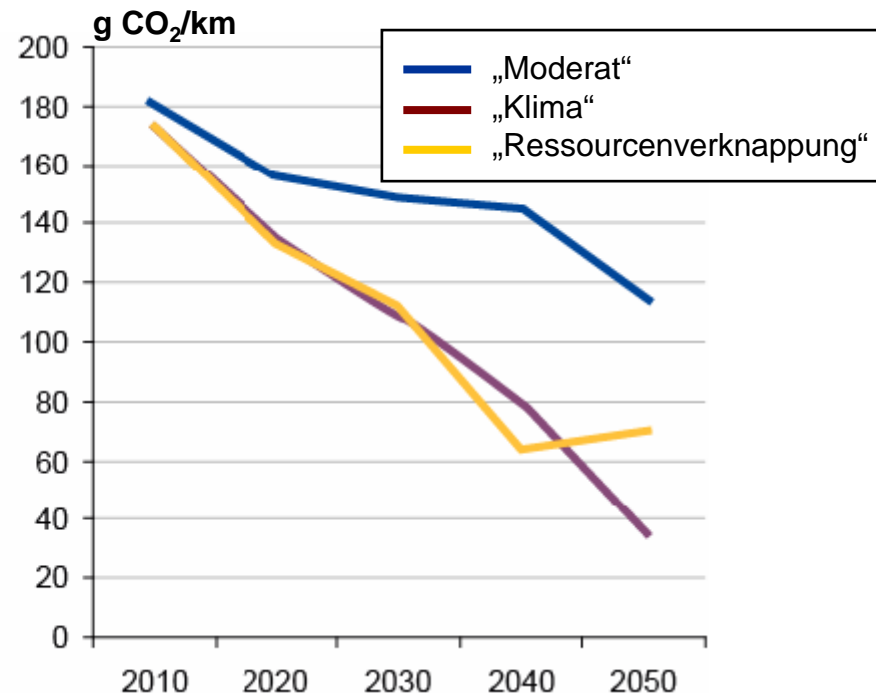
Wasserstoff im Verkehr

Minderung der CO₂-Emissionen

Ohne Vorkette „Tank-to-Wheel“



Mit Vorkette „Well-to-Wheel“



- Die CO₂-Emissionen der PKW-Flotte können mit H₂ aus erneuerbaren Energien oder fossilen Energien mit CCS deutlich gesenkt werden:
 - ▶ bis 20 g CO₂/km „Tank-to-Wheel“
 - ▶ bis 36 g CO₂/km „Well-to-Wheel“
- Eine lokale CO₂-Emission von 0 g CO₂/km wird solange nicht erreicht, wie konventionelle Kraftstoffe eingesetzt werden.

Weiterer Forschungsbedarf

Bereitstellung von Wasserstoff

- Aktualisierung von Verfügbarkeitsdaten von durch Erdgas substituierbarem Nebenprodukt-H₂
- Untersuchung der gleichzeitigen energetischen und industriellen H₂-Nutzung aus großen H₂-Produktionsverbänden (z.B. Leuna, Ruhrgebiet und Hamburg)
- Untersuchung dezentraler Produktionstechnologien mit lokaler Kurzzeit-H₂-Speicherung zum Ausgleich von regionalen Netzengpässen
- Untersuchung der gekoppelten Erzeugung von Strom und H₂ bei der Verstromung des CO-Anteils aus der Synthesegasherstellung
- Weiterentwicklung der Schlüsseltechnologien zur Elektrolyse von Wasser und Vergasung von Biomasse im Hinblick auf Wirkungsgradsteigerung durch Druck- und Temperaturerhöhung sowie Kostenreduktionspotenziale
- Analyse der H₂-Großspeicherung im Hinblick auf Synergien der Speicherung und Nutzung von H₂ als Kraftstoff und in stationären Anlagen
- Analyse und Untersuchung von technisch noch nicht erprobten Prozessen zur Produktion von H₂ aus biogenen Stoffen (z.B. Restmüll, Algen und Klärschlamm)

Weiterer Forschungsbedarf

Verteilung und Nutzung von Wasserstoff

- Analysen zur Entwicklung der Verkehrsleistung (z.B. Änderung von Mobilitätsstruktur und Nutzerverhalten) unter Annahme begrenzter Ressourcen
- Untersuchung weiterer H₂-Speicher- oder Infrastrukturtechnologien (z.B. Transport von Strom via HGÜ und LH₂ in Rohrleitungen) und deren Rückwirkungen auf Produktionsprozesse und Nutzungstechnologien
- Vergleich der ökonomischen und ökologischen Wirkungen verschiedener Fahrzeugkonzepte
- Analyse der Auswirkungen des Einsatzes von H₂ und BZ in anderen Transportbereichen (z.B. Nutzfahrzeuge, Schienenverkehr, Luft- und Seefahrt) auf CO₂-Emissionen und Kosten
- Analyse der Kundenakzeptanz von H₂-Infrastrukturmaßnahmen im Hinblick auf die Wirtschaftlichkeit dazu notwendiger Investitionen und geeignete Aufbauraten
- Systemstudien zum Einsatz von H₂ in dezentralen KWK-Versorgungssystemen

Weiterer Forschungsbedarf

Energiewirtschaftliche und politische Aspekte

- Energiewirtschaftliche Analyse des Einflusses der Ressourcenverfügbarkeit auf die Preisbildung
- Analyse von über die Klimaauswirkung hinausgehenden Umweltauswirkungen und der Verfügbarkeit von stofflichen Ressourcen für den mobilen und stationären Endverbrauchersektor
- Identifikation und Bewertung von Synergiepotenzialen aus der gleichzeitigen Nutzung von H₂ für den Verkehr und Haushalte oder in Lastausgleichssystemen
- Entwicklung von Instrumenten zum wirtschaftlichen Betrieb wenig ausgelasteter, kleiner H₂-Tankstellen

- Identifikation von angemessenen, effizienten sowie H₂- und BZ-spezifischen Maßnahmen, die sich zur Bündelung in Deutschland eignen
- Findung und Untersuchung von geeigneten Maßnahmenbündeln zur Absicherung des industriellen Investitionsrisikos in Deutschland
- Ausloten der Erfordernisse zum Import erneuerbaren H₂ und Stroms aus relevanten Importregionen sowie Sondieren der Bereitschaft zu entsprechenden Exporten aus diesen Regionen

Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Antworten auf die zentralen Fragestellungen

H₂-Anteil am Kraftstoffbedarf

- ▶ H₂ kann bis 2050 im Verkehrssektor ein wesentlicher Energieträger werden und je nach Szenario zwischen 23 % und 40 % des Energiebedarfs im Verkehrssektor abdecken.
- ▶ H₂ kann je nach Szenario bis 2050 bis zu 70 % der PKW und leichten Nutzfahrzeuge (LNF) versorgen. Dies ist auch bei starker Verknappung fossiler Ressourcen darstellbar.

Energiequellen zur H₂-Herstellung

- ▶ Bei drastischem Rückgang fossiler Energieimporte müssen verstärkt erneuerbare Energien eingesetzt, höhere Wirkungsgrade erreicht und energiesparendes Verhalten umgesetzt werden.
- ▶ Zur Herstellung von H₂ wird ein Primärenergiemix verwendet. Je nach technologischer Verfügbarkeit kommen kurzfristig Nebenprodukt-H₂ und Ergasreformierung zum Einsatz. Langfristig überwiegt die Herstellung aus Kohle mit CO₂-Abscheidung und Windenergie.

H₂-Transport zum Verbraucher

- ▶ Bei der H₂-Verteilung dominieren die Lieferung von LH₂ (Anfangsphase mit geringen Mengen) sowie die Versorgung mit CGH₂-Pipelines (ab 2030, kostengünstiger bei großen Mengen).
- ▶ In der Übergangsphase ergänzen regional verfügbarer H₂ aus Industrieanlagen (Nebenprodukt) sowie die H₂-Produktion vor Ort (Elektrolyse oder Reformierung) das Angebot.

Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Antworten auf die zentralen Fragestellungen

- ▶ Der Aufbau der H₂-Infrasruktur erfolgt sukzessive, startend von Ballungszentren aus. Die Investitionskosten für den Aufbau einer flächendeckenden H₂-Infrastruktur bis 2030 liegen bei knapp 1 Mrd. Euro pro Jahr.

Auswirkungen des H₂-Einsatzes

- ▶ Mobilität mit H₂ und BZ wird zu heutigen Kosten möglich sein, wenn die Entwicklungsziele bei BZ-Fahrzeugen erreicht werden. Nach einer Einführungsphase liegen die H₂-Kosten zwischen 3 und 4 Eurocent pro km.
- ▶ H₂ kann die CO₂-Emissionen des Verkehrssektors um bis zu 80 % reduzieren. Die Flottenemissionen von H₂-BZ-PKW können bis auf 20 g CO₂/km (WtW) reduziert werden.
- ▶ Der Anteil erneuerbarer Energien an der H₂-Erzeugung kann im Szenario „Ressourcenverknappung“ bis 2050 auf über 60 % und knapp 300 PJ gesteigert werden.
- ▶ Ein höherer Anteil erneuerbarer Energien führt im Szenario „Moderate Entwicklung“ zu Mehrkosten von ca. 15 %. Im Szenario „Ressourcenverknappung“ sind erneuerbare Energien wettbewerbsfähig.
- ▶ Die Abhängigkeit des Verkehrssektors von Energieimporten kann von aktuell rund 95 % auf je nach Szenario bis zu 75 % gesenkt werden.

Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Bedeutung von Wasserstoff

Schlussfolgerungen

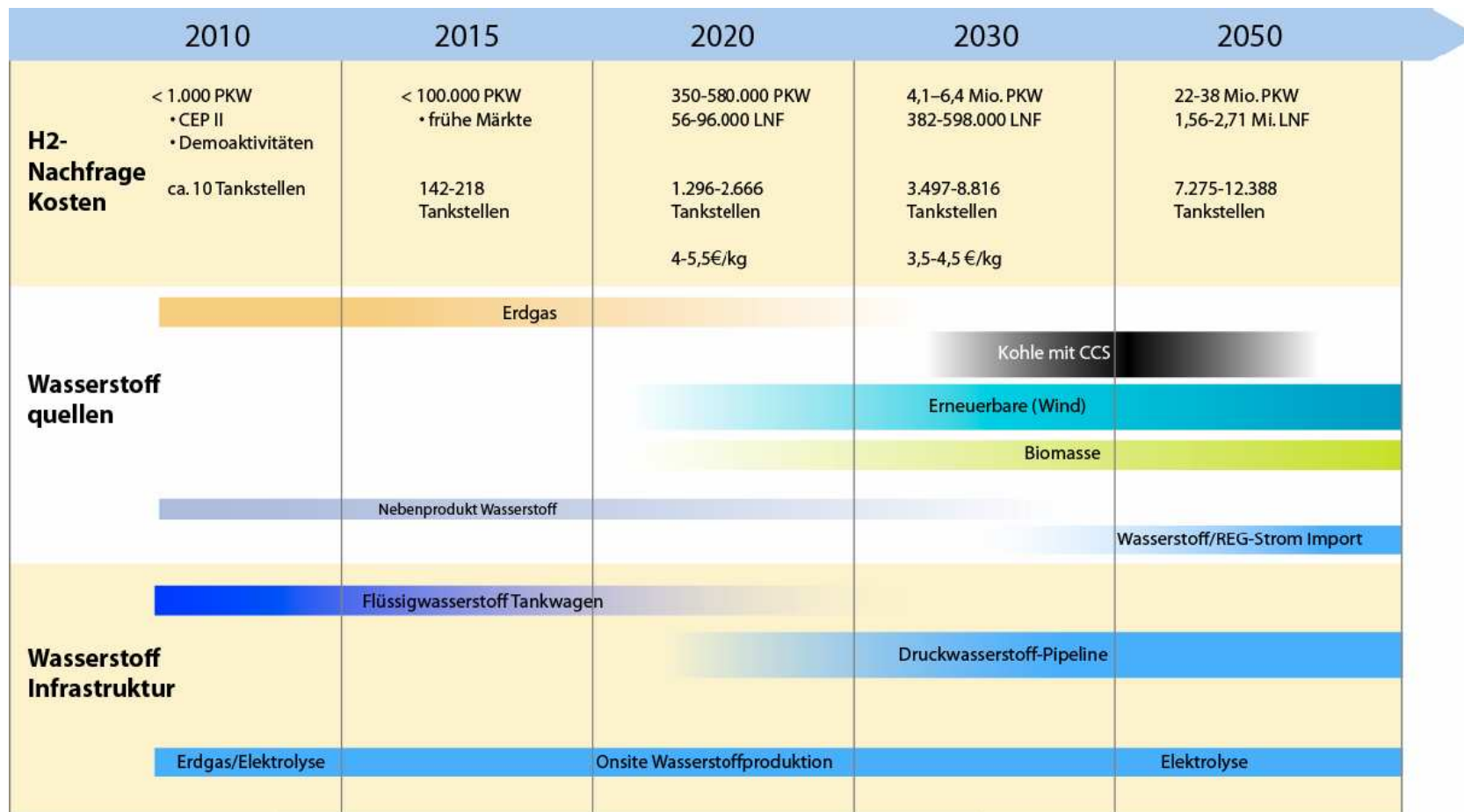
- ▶ Im Szenario „Moderate Entwicklung“ ist der Einsatz von H₂ sinnvoll aus Gründen der Wirtschaftlichkeit, der CO₂-Minderung und der Versorgungssicherheit.
- ▶ Im Szenario „Klimaschutz“ ist H₂ erforderlich, um den Beitrag des Verkehrssektors zur Senkung der CO₂-Emissionen sicherzustellen und die erneuerbaren Energien stärker in den Verkehr zu integrieren.
- ▶ Im Szenario „Ressourcenverknappung“ ist H₂ zwingend, um zumindest einen Teil der heutigen individuellen Mobilität auch künftig zu gewährleisten.

Resultierende Einordnung

- ▶ In allen Szenarien und in allen Sektoren ist Energieeffizienzsteigerung notwendig
- ▶ Batterien sind eine notwendige Schlüsseltechnologie für zukünftige Mobilitätskonzepte. Batterieelektrische, Plug-in Hybrid- und Brennstoffzellen-Fahrzeuge sind komplementäre Lösungen.
- ▶ Biokraftstoffe werden trotz der begrenzten Verfügbarkeit eine wichtige Rolle auch im Verkehrssektor spielen, insbesondere jedoch für LKW, Flugzeuge und Schiffe.

Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Wasserstoff-Roadmap für Deutschland bis 2050



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

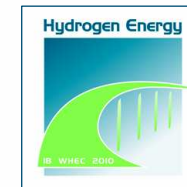
Bitte merken Sie sich den folgenden Veranstaltungstermin vor ...

18 WHEC 2010

18th

World Hydrogen Energy Conference 2010

May 16–21, 2010,
Essen, Germany



Host and organizer

EnergieAgentur.NRW 

Under the auspices of

International Association for
Hydrogen Energy (IAHE)



In cooperation with



First major sponsor

VORWEG GEHEN
The energy to lead

Supported by



EUROPEAN UNION
Investing in our Future
European Regional
Development Fund



wirtschaftsförderung@metropol Ruhr



HYDROGEN IMPLEMENTING AGREEMENT