GermanHy

Was wird in der Zukunft getankt?

Prof. Dr. Martin Wietschel



Symposium
Die Wasserstoff-Technologie in der Anwendung: Alternative Antriebstechnologien für die Mobilität des 21. Jahrhunderts
Hamburg, 21.Oktober 2008

GermanHy

GermanHy – Studie zur Frage „Woher kommt der Wasserstoff in Deutschland bis 2050?“

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

Zusammenfassung der Ergebnisse

GermanHy

Übersicht

1. Ziele für den Verkehrssektor in Deutschland
2. Fragestellungen und Einordnung von GermanHy
3. Szenarien und Annahmen
4. Bedeutung von Wasserstoff im Verkehr
5. Herkunft von Wasserstoff in Deutschland
6. Aufbau einer Wasserstoff-Infrastruktur
7. Auswirkungen
8. Schlussfolgerungen

GermanHy

1. 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?

- Wasserstoff (H_2) selbst ist ein kohlenstofffreier Energieträger
- Wasserstoff ist aus allen Energiequellen herstellbar
- H_2 ermöglicht die Nutzung der hocheffizienten Brennstoffzelle (BZ)
- Wasserstoff ist ein Energiespeicher für erneuerbare Energien
- H_2 und BZ haben als Schlüsseltechnologien ein großes Potenzial für Wertschöpfung

Kraftstoffstrategie der Bundesregierung:

Wasserstoff kann künftig eine bedeutende Rolle als Kraftstoff im Straßenverkehr spielen

2. Fragestellungen und Einordnung von GermanHy

Zentrale Fragestellungen zur Einführung von Wasserstoff im Verkehrssektor

- Welchen Anteil am zukünftigen Kraftstoffbedarf kann Wasserstoff übernehmen?
- Aus welchen Energiequellen lässt sich Wasserstoff wirtschaftlich bei steigendem Bedarf herstellen (Zeithorizonte 2020, 2030, Ausblick 2050)?
- Wie lässt sich H_2 vom Ort der Produktion zu den Verbrauchern transportieren?
- Welche Wirkungen hat der Einsatz von Wasserstoff im Verkehrssektor auf Mobilitätskosten, Emissionen, Anteil erneuerbarer Energien und Abhängigkeit von Energieimporten?

Aufgabenstellung und Herangehensweise von GermanHy

- GermanHy liefert NOW Entscheidungsgrundlagen für die Ausgestaltung des Nationalen Innovationsprogrammes für Wasserstoff und Brennstoffzellentechnologie (NIP) im Bereich der Wasserstoffinfrastruktur (F&E-Bedarf, Demonstrationsvorhaben)
- GermanHy fokussiert auf die Einführung von Wasserstoff als alternativer Kraftstoff im Verkehrssektor. Dies erfolgt im gesamtenergiewirtschaftlichen Kontext Deutschlands. Die Entwicklung anderer alternativer Antriebskonzepte muss gesondert betrachtet werden.

GermanHy

3. Szenarien und Annahmen

3 Szenarien wurden modelliert:

1 **Moderate Entwicklung**

2 **Klimaschutz**

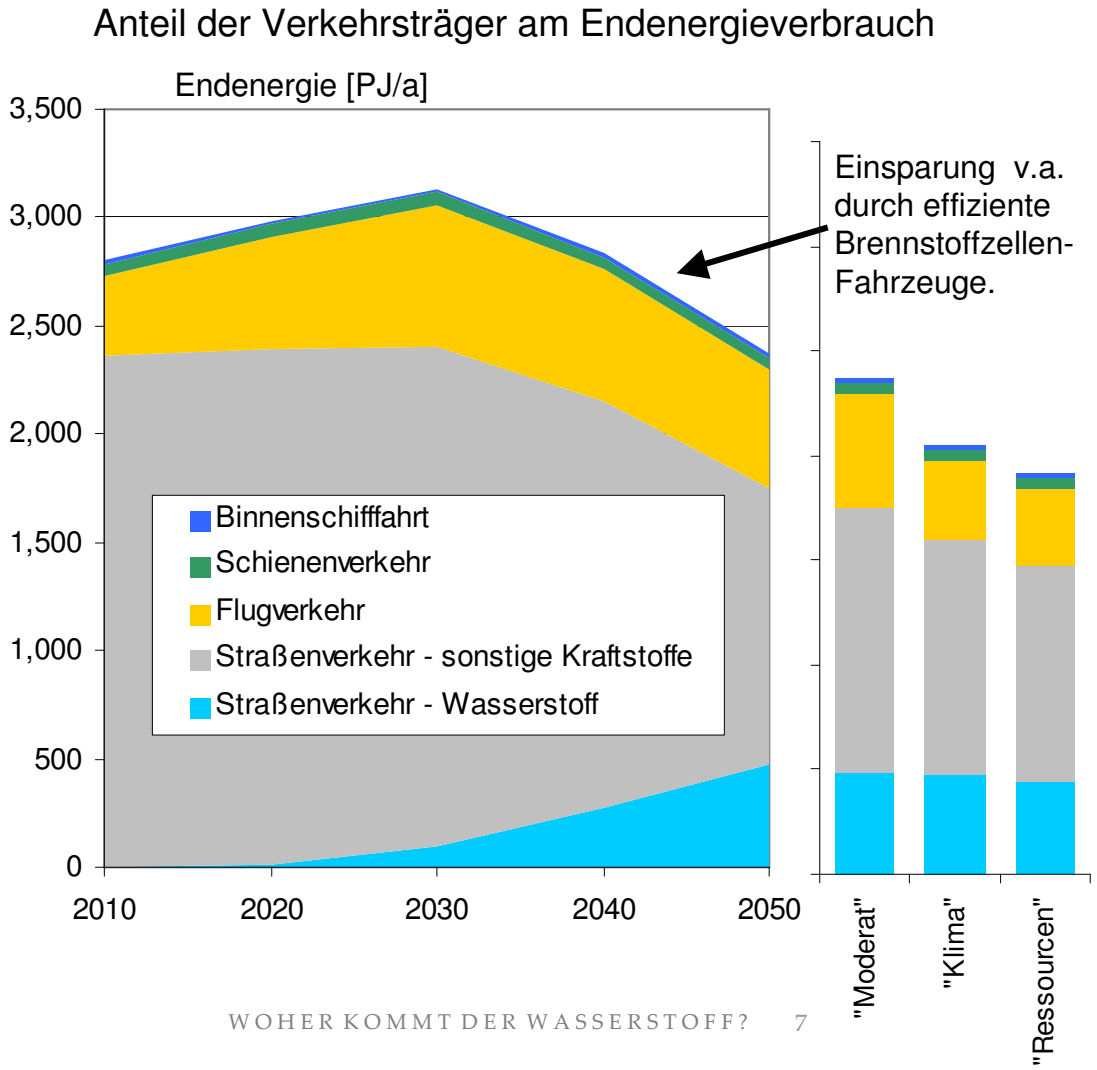
3 **Ressourcen-verknappung**

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		

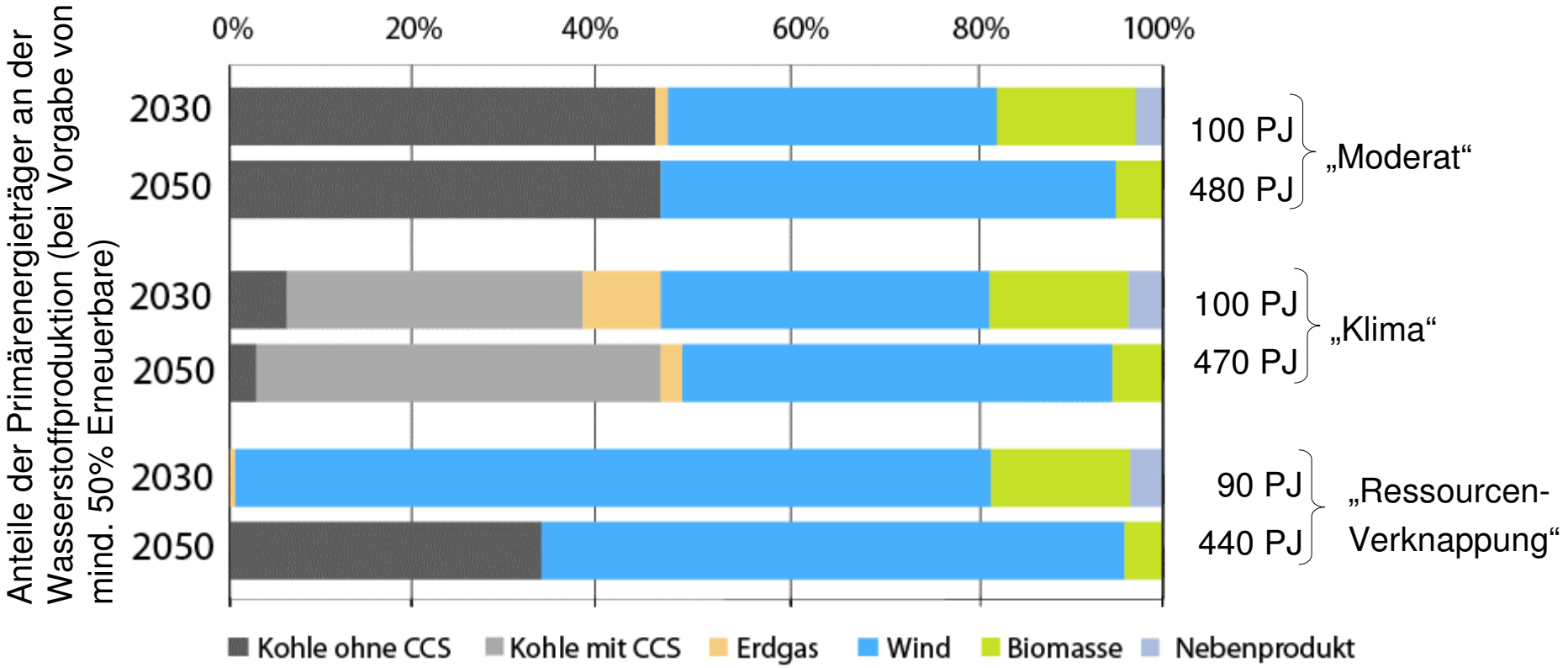
- Zentrale Annahmen von GermanHy basieren auf BMWi Energiereport 2005 und BMU Leitstudie 2007
- Arbeitsweise: kostenoptimierende Modelle, politische Annahmen, Einbindung von Stakeholdern

4. Bedeutung von Wasserstoff im Verkehr

- Deutschland verbraucht rund 30% seiner Primärenergie im Verkehrssektor
- Wasserstoff und Brennstoffzellen können im Straßenverkehr bis 2050 eine große Bedeutung erlangen. Über 70% aller PKW/ LNF im Jahr 2050 können mit Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie fahren
- Je nach Szenario entspricht das einem Anteil von 20 bis 25% Wasserstoff am Endenergiebedarf im Verkehr
- Zentraler begrenzender Faktor ist der Verbreitungsgrad von Wasserstoff-Fahrzeugen



5. Herkunft von Wasserstoff in Deutschland (I/II)



- Der Wasserstoff wird aus verschiedenen Primärenergiequellen hergestellt werden
- Entscheidend sind politische Ziele und Rahmenbedingungen sowie das Erreichen technischer Entwicklungsziele

5. Herkunft von Wasserstoff in Deutschland (II/II)

Biomasse — **Biomasse**vergasung stellt die günstigste Option zur Erzeugung von Wasserstoff aus erneuerbaren Energien dar, ist aber potenzialbeschränkt

Wind — **Wind** ist die bedeutendste erneuerbare Ressource für Wasserstoff, die bei einer Verschärfung der Ressourcensituation deutlich an Bedeutung gewinnt

Deshalb spielen zentrale **Elektrolyseure** zur Integration der erneuerbaren Energien eine wesentliche Rolle

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

Nebenprod. — **Nebenproduktwasserstoff** wird weitgehend genutzt, ist aber potenzialbeschränkt

Steinkohle Braunkohle — Ab 2020 kann die **Kohle**vergasung (Stein- und Braunkohle) eine wirtschaftliche Option darstellen, wobei Klimaschutzziele diese nur mit CCS erlauben

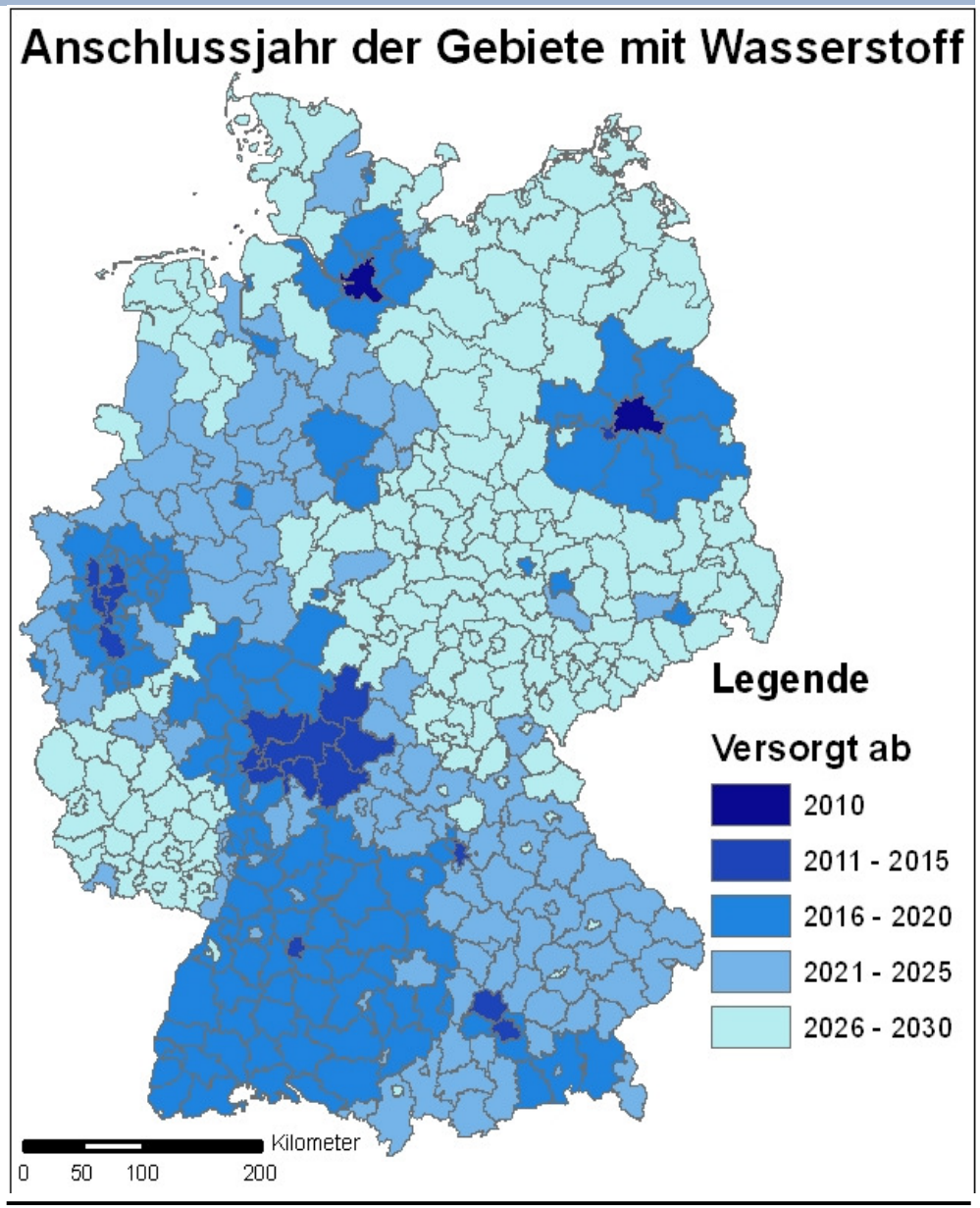
Erdgas — Ohne CCS gewinnt die **Erdgas**reformierung bei Klimaschutzzielen an Bedeutung

On-site — On-site Herstellung kann zu Beginn einer Wasserstoffversorgung eine Rolle spielen (allerdings zzt. Unsicherheit bezüglich Wirtschaftlichkeit)

GermanHy

6. Aufbau einer Wasserstoff-Infrastruktur (I/III)

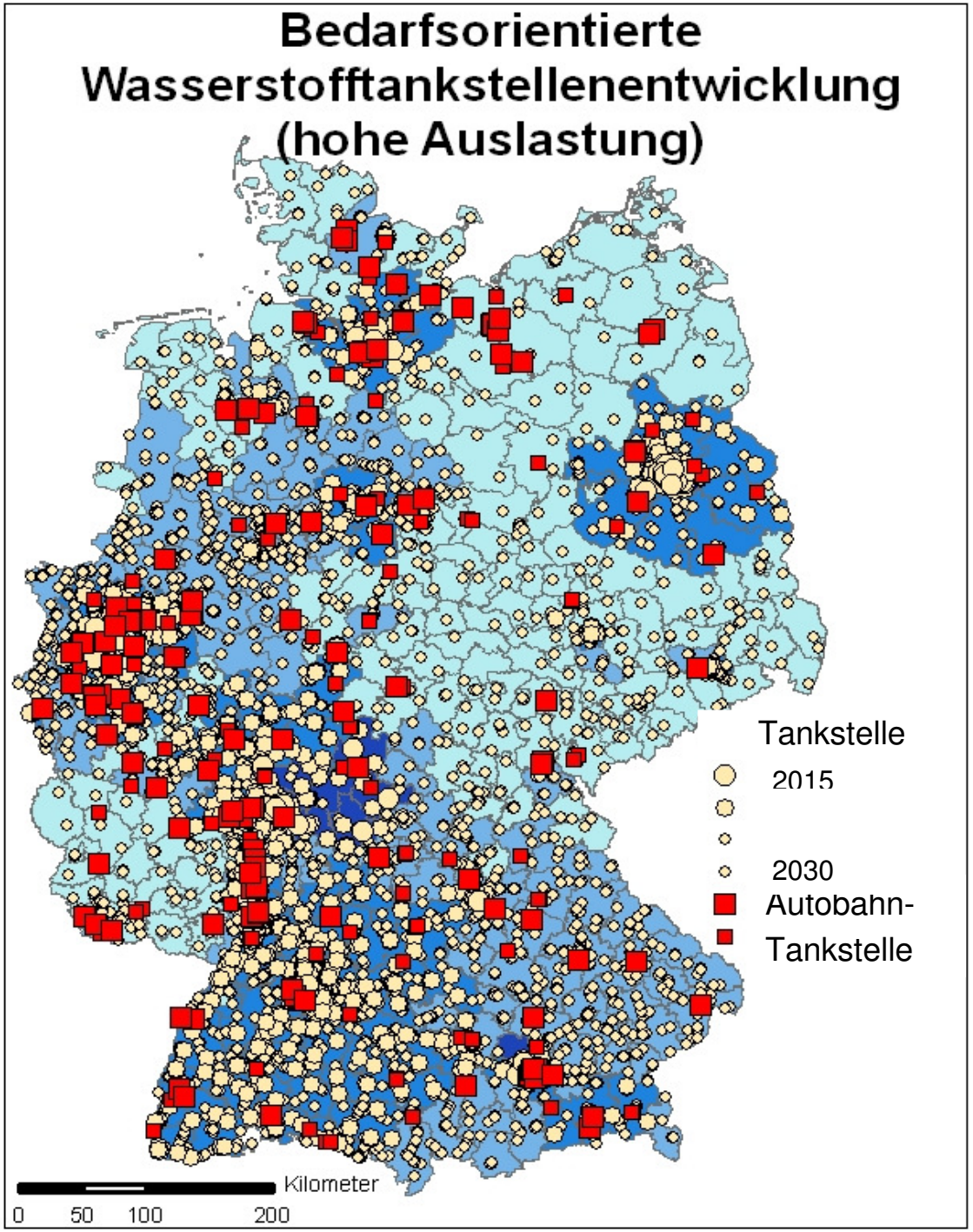
- Start zum Aufbau einer Wasserstoff in großen Ballungszentren (z.B. Berlin, Hamburg und dem Ruhrgebiet,
- dort können wenige Produktionsanlagen und Tankstellen mit hoher Auslastung betrieben werden
- Danach könnten weitere dicht besiedelter Regionen mit relativ hohem Einkommensniveau (Rhein-Neckar-Region, Rhein-Main-Region, Großraum München) hinzukommen
- und ein organisches Wachstum aus den Ballungszentren heraus erfolgen



GermanHy

6. Aufbau einer Wasserstoff-Infrastruktur (II/III)

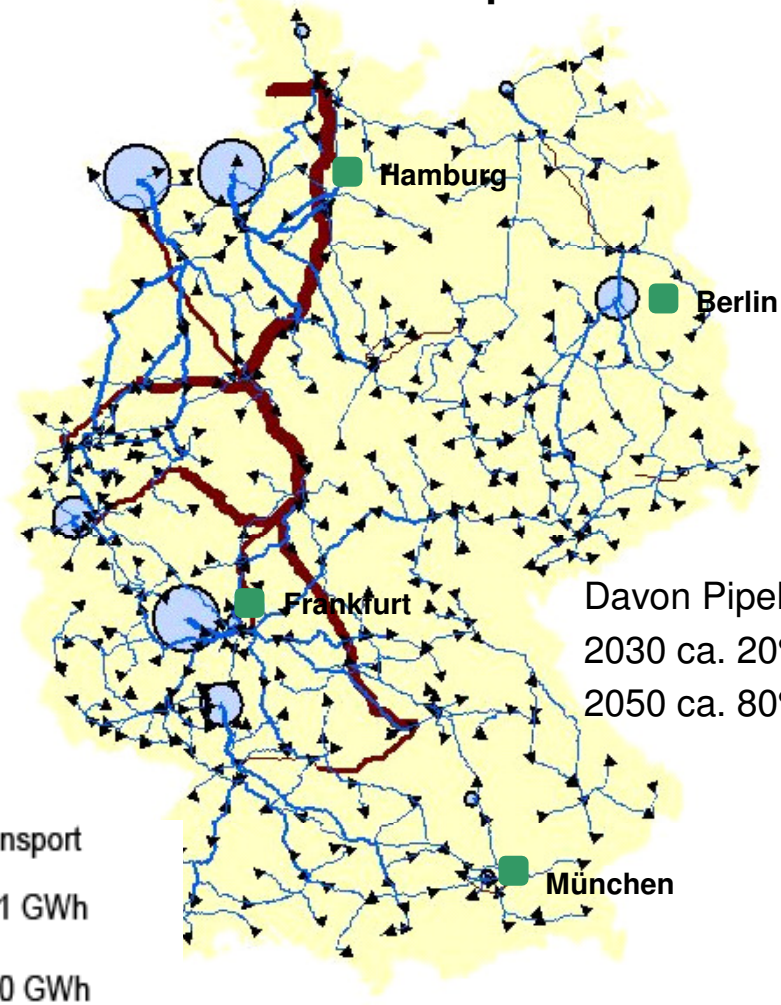
- Die Tankstellenanzahl und Tankstellengröße folgt dem Wasserstoffbedarf (Auslastung)
- In großen Nutzerzentren baldige Errichtung von größeren Tankstellen
- In später angeschlossenen Regionen kleine Tankstellen (schneller Aufbau eines flächendeckendes Netzes)
- Zur Erhöhung der Kundenakzeptanz: Errichtung eines Autobahntankstellennetzes (180 Autobahntankstellen können etwa 2/3 der deutschen Autobahnkilometer abdecken)



6. Aufbau einer Wasserstoff-Infrastruktur (III/III)

- In der Einführungsphase (bis 2030) dominiert der Transport von Flüssigwasserstoff zur Tankstelle (z.B. zur Integration von offshore Wind und Nebenprodukt-Wasserstoff)
- Mit steigender Nachfrage erfolgen Transport und Verteilung über Pipelines mit Druckwasserstoff
- Auch regionale oder on-site Erzeugung von Wasserstoff aus Erdgas, Biomasse oder Elektrolyse können eine Rolle spielen

Wasserstoff-Transport

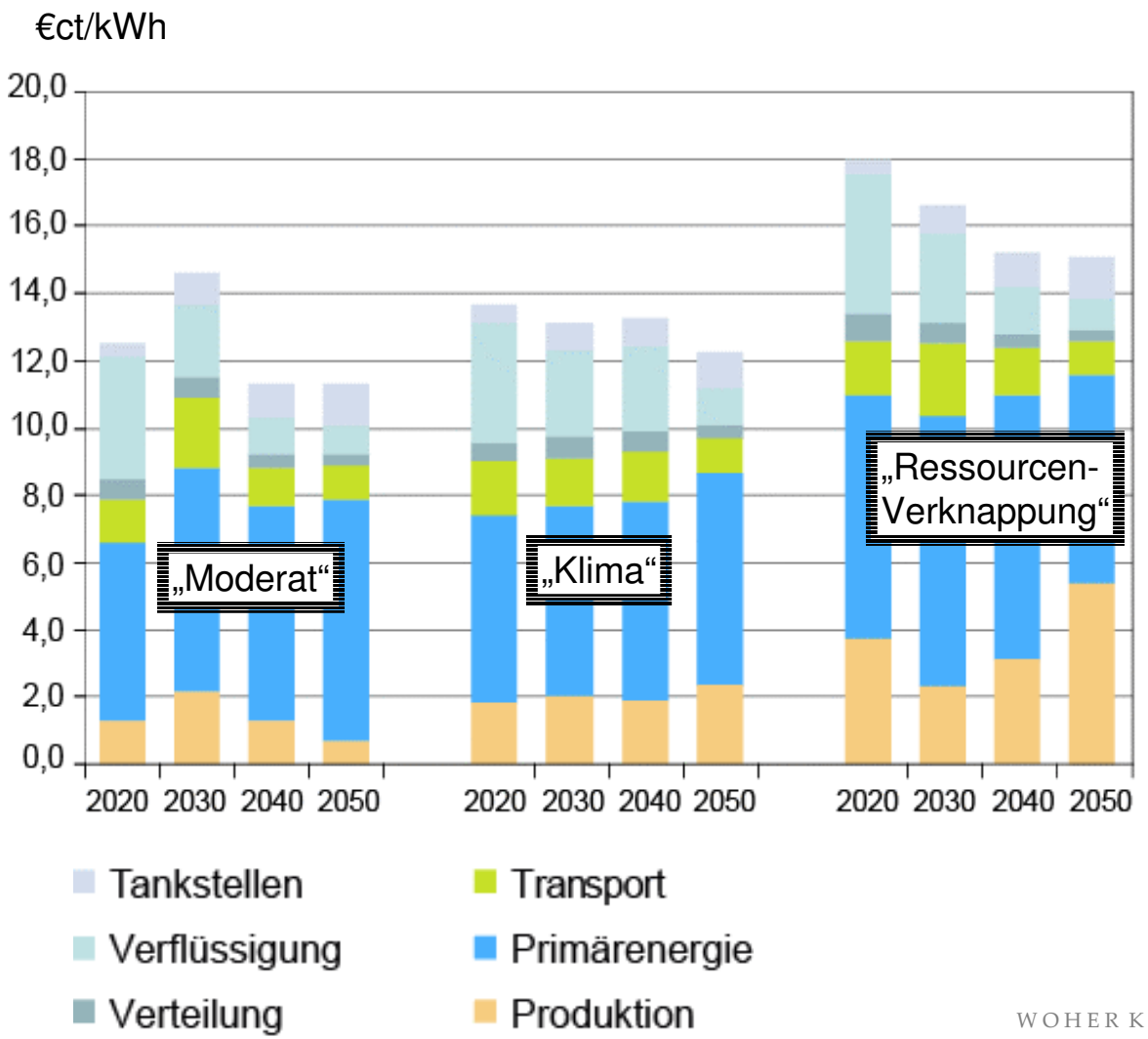


Davon Pipeline
2030 ca. 20%
2050 ca. 80%

LH_2 Produktion	H_2 Flüssigtransport via Trailer	H_2 Pipeline - Transport
800 - 2400 GWh	800 - 2392 GWh	6641 - 6911 GWh
248 - 800 GWh	393 - 800 GWh	5947 - 6640 GWh
24 - 248 GWh	<103 - 393 GWh	5 - 2310 GWh

Szenario 2030 “Moderat”

7. Auswirkungen: Kosten der Wasserstoffbereitstellung an der Tankstelle



- Die Kraftstoffkosten für H_2 sind mit heutigen Kraftstoffkosten vergleichbar (ohne Steuern)
- 50 bis 80% der Kosten entstehen durch H_2-Produktion und Primärenergieträger
- In der Einführungsphase entstehen höhere Kosten durch Unterauslastung der Infrastruktur
- Wichtige Einflussgrößen: Politische Zielvorgaben zu Klimaschutz und erneuerbaren Energien, Energiepreis-entwicklung und Erfolg von CO_2-Abscheidung und -Lagerung

7. Auswirkungen: Wie hoch sind die Investitionen in den Infrastrukturaufbau?

- Die Investitionen zum Infrastrukturaufbau bis 2030 kumulieren sich zwischen 10 bis 21 Mrd. Euro im moderaten Szenario (Versorgung von 7 Mio. Wasserstofffahrzeugen)
  - Vergleichsgrößen:
    - Straßeninfrastruktur Deutschland in 2005: 5 Mrd. Euro
    - EEG-Vergütung 2006: 6 Mrd. Euro
    - Einnahmen Mautsystem Deutschland in 2005: 3 Mrd. Euro

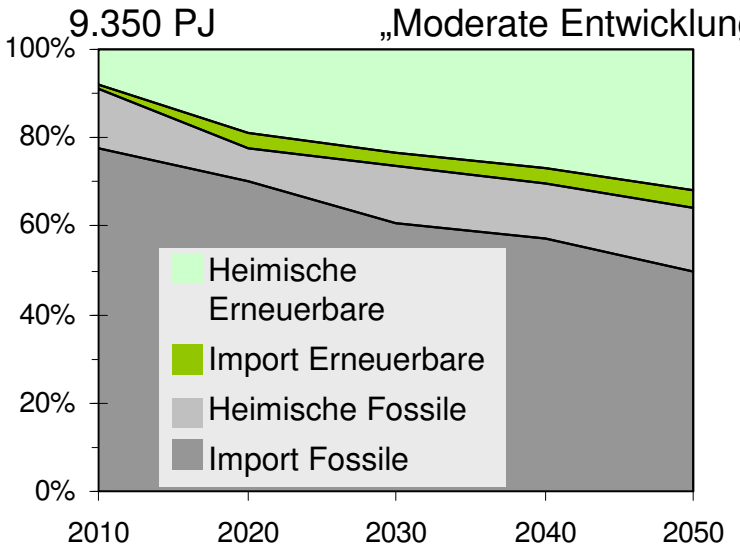
GermanHy

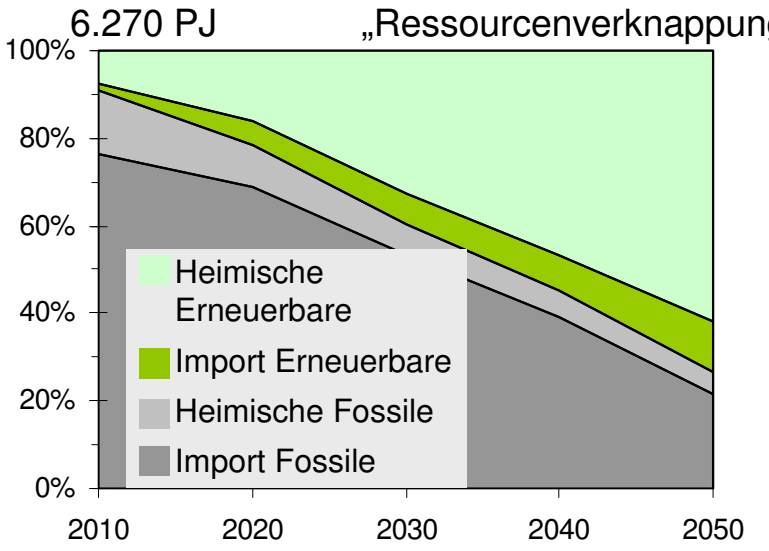
7. Auswirkungen: Welche H2-Kosten ergeben sich?

- Durchschnittliche Wasserstoffkosten an der Tankstelle und resultierende CO_2-Emissionen für den Straßenverkehr
  - Moderates Szenario: 12-14ct/kWh CO_2 -arm produzieren ($20g_{CO2}$/km)
  - Ressourcenszenario: 15-18 ct/kWh
  - Ein Anteil von 50% Wasserstoff aus Erneuerbaren Energien führt zu Mehrkosten im moderaten Szenario von rund
    - 2030: 2 ct/kWh (1,2 Mrd. Euro)
    - 2050: 1ct/kWh (3,6 Mrd. Euro)
- Bei heutigen Rohölpreisen ist Wasserstoff als Kraftstoff ab einer bedeutenden Marktpenetration keine Barriere mehr,
- die Herausforderung liegt in der Kostendegression der Wasserstofffahrzeugkosten

7. Auswirkungen: Energie-Importe und erneuerbare Energien

Primärenergieversorgung in Deutschland





- Die Energie-Importabhängigkeit sinkt von über 90% - je nach Szenario - auf 55% bis 35%.
- Der Anteil der erneuerbaren Energien steigt von 10% - je nach Szenario - auf 30% bis 75%.
- Der Anteil erneuerbarer Energien im Verkehrssektor steigt von unter 10% auf bis über 50%

8. Schlussfolgerungen

- Im Szenario **„Moderate Entwicklung“** ist der Einsatz von Wasserstoff sinnvoll aus Gründen der Wirtschaftlichkeit, der CO_2-Minderung und der Versorgungssicherheit
- Im Szenario **„Klimaschutz“** ist Wasserstoff erforderlich, um den Beitrag des Verkehrssektors zur Senkung der CO_2-Emissionen sicherzustellen und die erneuerbaren Energien stärker in den Verkehr zu integrieren
- Im Szenario **„Ressourcenverfügbarkeit“** ist Wasserstoff zwingend, um zumindest einen Teil der heutigen individuellen Mobilität auch künftig zu gewährleisten

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

GermanHy

8. Schlussfolgerungen: Die GermanHy Roadmap:

