

Grüner Wasserstoff in der Industrie

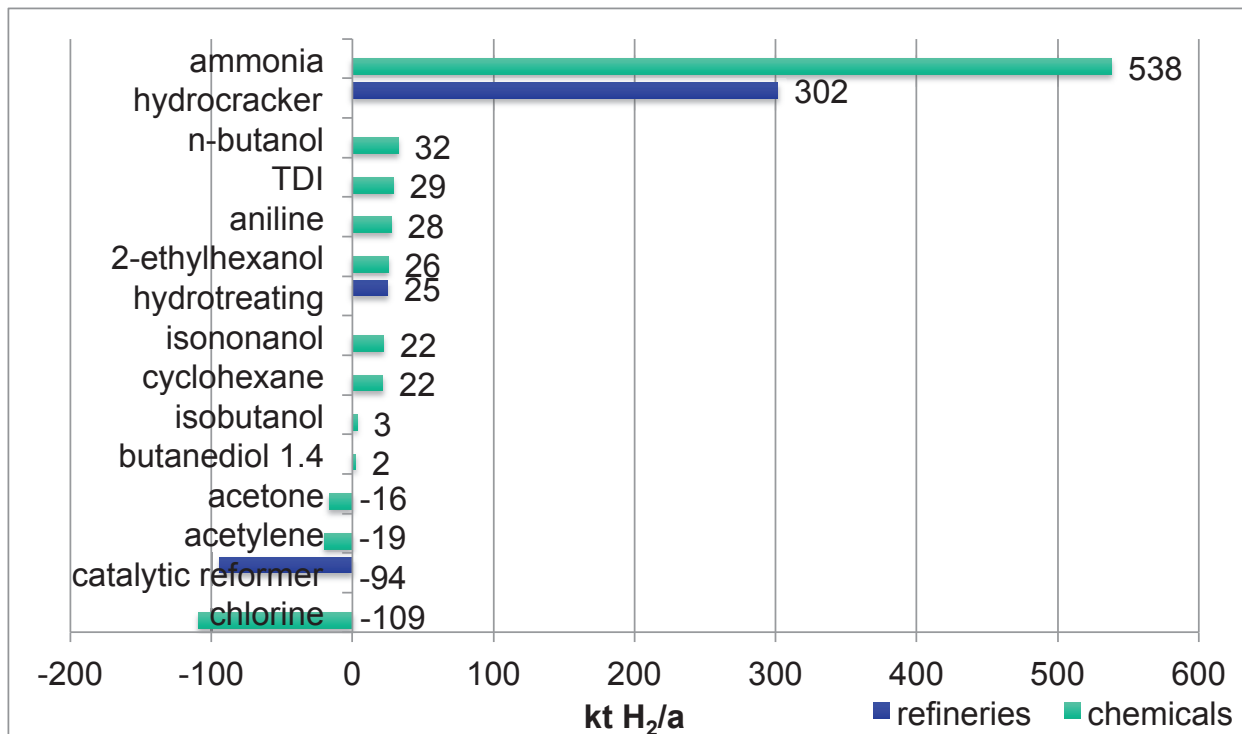
Kurzfristige Einsatzpotenziale und langfristige Bedarfe in Deutschland

Clemens Schneider; Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie

Dr. Tom Lorenz, Mareike Taube; DLR – Institut für CO₂-arme Industrieprozesse

Unsere heutige graue Wasserstoffwirtschaft – Ansatzpunkt für den Markthochlauf oder auslaufende Geschäftsmodelle?

Wasserstoffbilanz Industrie in Deutschland und das Jahr 2016

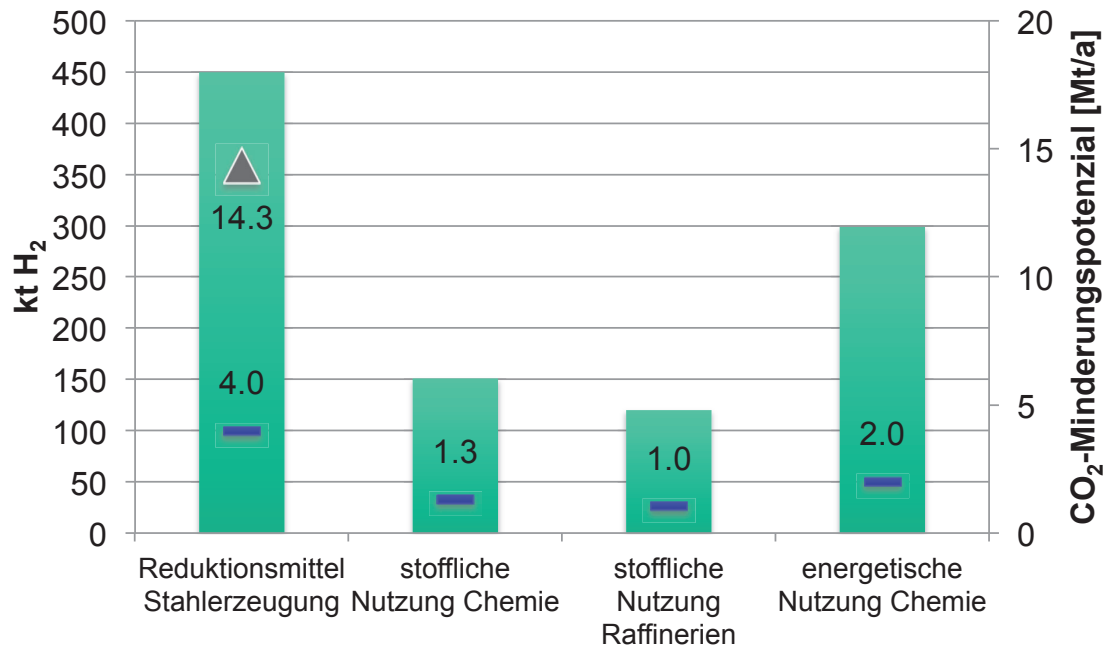


Quelle: Wuppertal Institut

- Der **Nettobedarf** für die (graue) Wasserstoffproduktion in Deutschland betrug nach der Bilanz für 2016 unter Berücksichtigung nutzbarer Kuppelproduktion ca. 800 kt H₂/a
 - Der **Ammoniak**-Bedarf könnte durch **Umstellung der Landwirtschaft** deutlich zurückgehen, gleichzeitig großes Potenzial für Importe von grünem Ammoniak
 - **Raffinerie-Produktion** dürfte bereits **bis 2030** deutlich zurückgehen
 - **Restliche H₂-Bedarfe der Grundstoffchemie** von 160 kt/a, können weitgehend durch Kuppelproduktion gedeckt werden.
- Die **robuste Nachfrage** nach H₂ im Bereich der stofflichen Nutzung **ist vergleichsweise klein!**

Die Studie Klimaneutrales Deutschland*) zeigt: CO₂-armer Wasserstoff ist 2030 in der Industrie unverzichtbar

Wasserstoffeinsatz 2030 in der KNDE-Studie und sein THG-Minderungshebel



■ H₂-Einsatz — CO₂-Minderung gegenüber Erdgas ▲ CO₂-Minderung gegenüber Kohle/Koks

Quelle: Wuppertal Institut

- Das **deutsche 2030-THG-Minderungsziel** für die Industrie von knapp 70 Mio. Tonnen CO_{2eq} gegenüber 2019 erfordert den Einsatz von Wasserstoff.
- THG-armer Wasserstoff ist 2030 teuer – und voraussichtlich nicht nur grün.
- An **wenigen Standorten** lässt sich viel bewegen.
- Die Verwendung von THG-armem Wasserstoff als **Reduktionsmittel** sowie die **stoffliche Verwendung** in der Chemie und an petrochemisch integrierten Raffineriestandorten sind **robuste** Lösungen.
- An Standorten, die ohnehin eine H₂-Versorgung benötigen, kann **Wasserstoff als Teil eines Energie-Mixes zur Dampferzeugung** sinnvoll sein.

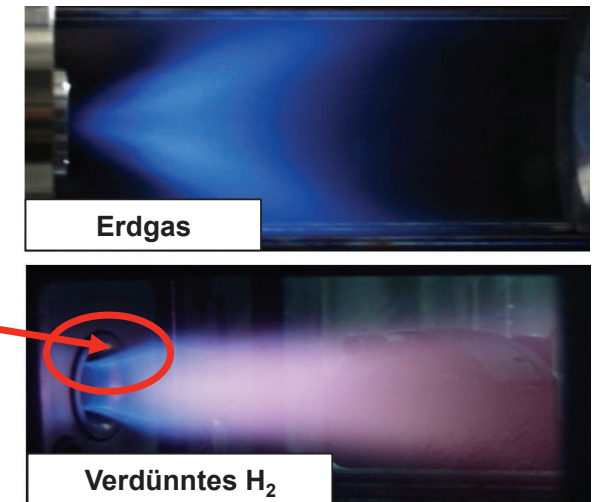
*) Prognos, Öko-Institut, Wuppertal Institut (2020/2021)

Technologische Chancen und Herausforderungen

Auswirkungen der Wasserstoffbeimischung in Brennersystemen (1)

- Die höhere Flammentemperatur fördert die **NO_x-Bildung**
→ Kompensation durch externe Abgasrückführung
- Veränderte **Abgaszusammensetzung**
- Höhere **Kondensatbildung**
- Veränderte **Wärmeübertragung** und **Wärmefreisetzung**
- **Flammenrückschlag**

Flammenrückschlag



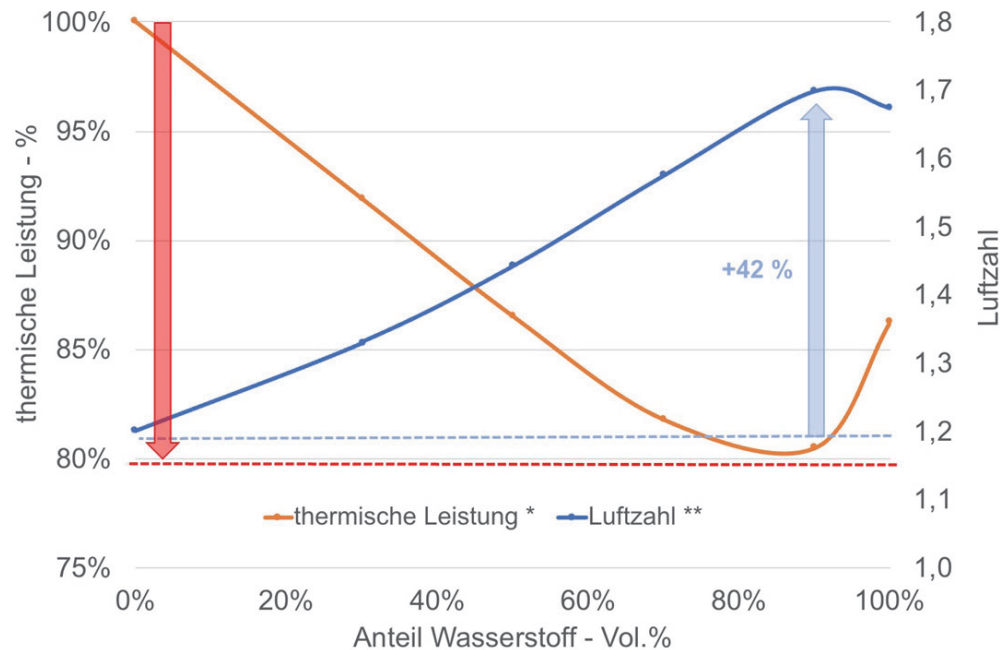
Quelle: DLR Institut für Verbrennungstechnik



Da mittelfristig mit einer begrenzten H₂-Verfügbarkeit zu rechnen ist, müssen **neue Brennersysteme mit hoher Brennstoffflexibilität** entwickelt werden!

Technologische Chancen und Herausforderungen

Auswirkungen der Wasserstoffbeimischung in Brennersystemen (2)



* bei gleicher Einstellung des Gasdruckreglers ** & bei gleicher Verbrennungsluftmenge

- H₂-Beimischung führt zu Leistungs-/ Effizienzverlust
- Voraussetzung für den H₂-Einsatz:
 - Bekannte Brennstoff-zusammensetzung
 - Intelligente Brennerregelung
- Luftzahl (λ) = Massenverhältnis von Luft zu Brennstoff
- $\lambda > 1,1$: Luftüberschuss (für vollst. Verbrennung)

Quelle: A. Huber, Auswirkungen von Wasserstoff und Erdgas-Wasserstoffgemischen auf Gasgebläsebrenner nach EN676 in der Industrie- und Prozesstechnik, aus J. Leicher, A. Giese, H. Petermann (2021), Gasqualitäten im veränderten Energiemarkt, 2. Auflage, Vulkan Verlag

Technologische Chancen und Herausforderungen

Wasserstoffeinsatz in der Zementindustrie

Aktuelle Ansätze:

- Partielle Feuerung des Drehrohrs mit emissionsarmen Brennstoffalternativen (Wasserstoff/Ammoniak/Biomasse)
- Abscheidung prozessbedingter CO₂-Emissionen zur Herstellung von Basischemikalien wie Methanol in Kombination mit grünem Wasserstoff (CCU)

Herausforderungen:

- Wegen der erforderlichen Prozesstemperaturen (bis zu 1450 °C) ist eine vollständige Umrüstung auf neue Feuerungstechniken aktuell noch nicht möglich!
- Aufbau einer CO₂-/H₂-Infrastruktur und langfristige Etablierung einer CCUS-Wertschöpfungskette

Bisher umgesetzt:

- Feuerung des Hauptbrenners mit 10 % Wasserstoffeinsatz (Quelle: VDZ)

Fragestellungen:

- Wie hoch ist der maximale Wasserstoffeinsatz für die Drehrohrfeuerung?

Technologische Chancen und Herausforderungen

Wasserstoffeinsatz in der Glasindustrie

Aktuelle Ansätze:

- Schrittweise Substitution der erdgasbasierten Brennerfeuerung durch Wasserstoff oder synthetisches Methan+ CCU
- Entwicklung einer Hybrid-Elektro-Schmelzwanne (80 % elektrisch beheizt), Ardagh Group Werk Obernkirchen, Baubeginn: 2022 (Projekt: Furnace for the Future **F4F**)

Herausforderungen:

- Der Brennwert von 1 m³ Wasserstoff beträgt ca. 1/3 des Brennwertes von Erdgas
- Installation von H₂-Transportsystemen zum Glaswerk bzw. zur Schmelzanlage

Bisher umgesetzt:

- 8-wöchige Befeuerung einer Glasschmelzwanne im Versuchsmaßstab mit Wasserstoff/Sauerstoff-Gasgemisch, SCHOTT AG (Kopernikus-Projekt P2X)

Fragestellungen:

- Wie wirkt sich der bei der Brennerfeuerung freigesetzte Wasserdampf auf die Glas-Eigenschaften aus?
- Inwieweit ist ein Upscaling der neuen Konzepte auch unter Altglaseinsatz möglich?

Herausforderungen für konkrete Standorte (1)

Standortkriterien zur industriellen Wasserstoffnutzung

Lokale Infrastruktur:

- Erneuerbare Energien (durchgeführter/geplanter Ausbau von EE und deren Anteil an der Stromerzeugung vor Ort)
- Ressourcenverfügbarkeit (Potenzial zur EE-Erzeugung vor Ort, Flächenverfügbarkeit für den Aufbau von Komponenten (z.B. Elektrolyseure) und EE, Wasserverfügbarkeit insbesondere für die Wasserelektrolyse)
- Speichermöglichkeiten für Wasserstoff (geologischen Formationen, Pipelines, usw.) und Abwärme der Elektrolyseure
- Anbindung an das lokale Wasser-, Wärme-, Strom-, und Gasnetz (Umrüstung auf H₂)

Markt:

- Potentielle Industriepartner vor Ort mit H₂-Knowhow (z.B. Ammoniakherzeugung)
- Prozesskopplung vor Ort (z.B. Stahl- und chemische Industrie)
- Nachfragepotenzial (Abnehmer/ Bedarf für Wasserstoff, Sauerstoff und Abwärme)

Herausforderungen für konkrete Standorte (2)

Standortkriterien zur industriellen Wasserstoffnutzung

Rechtliche und politische Rahmenbedingungen:

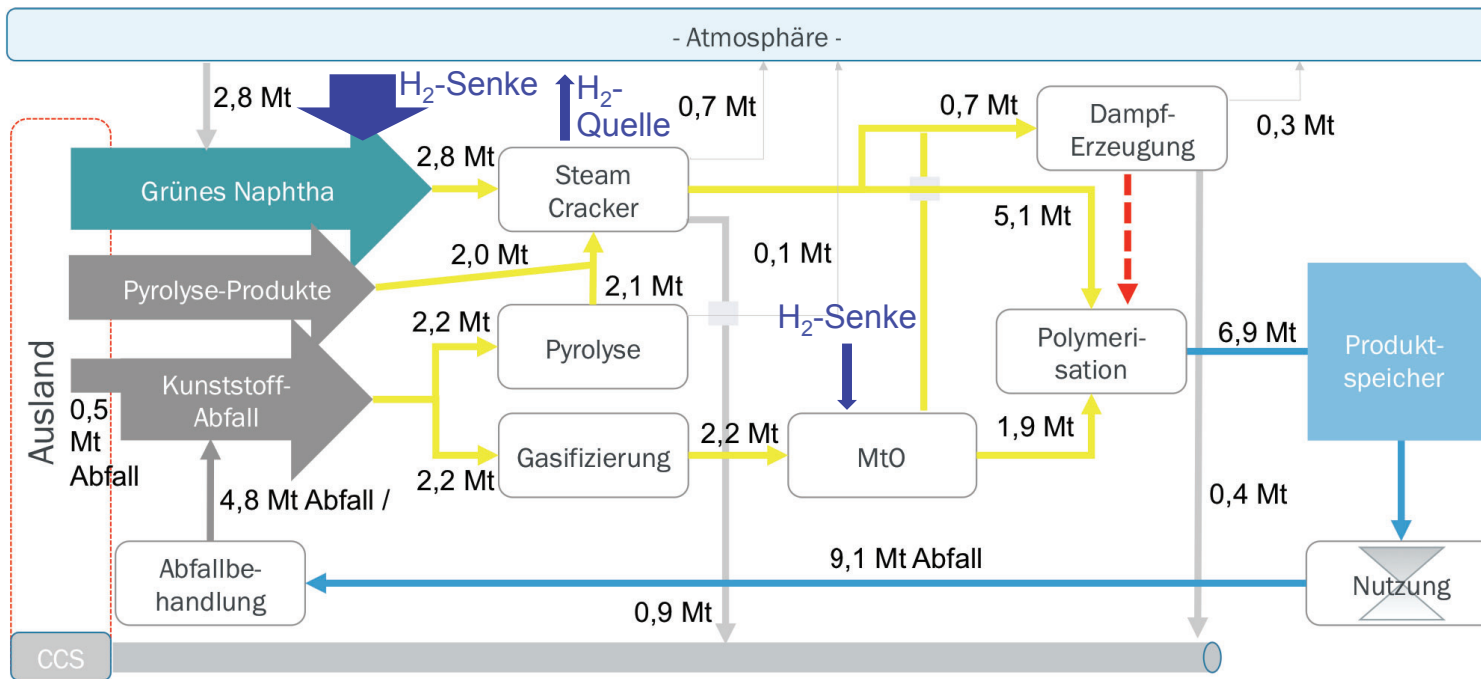
- Staatliche und behördliche Auflagen (Nutzungsvorschriften für Freiflächen, Umweltschutz, Baugenehmigungen wie Abstandsregelungen für Windkraftanlagen, Genehmigungsfähigkeit von H₂-Speicherung in geologischen Formationen)
- Bestehende Kooperationen vor Ort (Kontakte zu Forschungseinrichtungen und Universitäten mit H₂-Knowhow)
- **Herausforderung:** Informationslücke zwischen nationalen oder branchenweiten Studien und lokalen Produktionsstandorten

Laufende Projekte & Vorhaben im DLR mit Themenbezug Wasserstoff:

- Studie zur **Dekarbonisierung der Industrie in (Ost-)Brandenburg (DIO)**
Start: 06/2021, Laufzeit: 2 Jahre
- Vorstudie zur Entwicklung eines Wasserstoff-Experimentierraums am DLR
Start: 01/2021, Laufzeit: 12 Monate

Langfristige Aufgabe *Defossilisierung* Rolle von grünem Wasserstoff in einer zirkulären Kohlenstoffwirtschaft

Zukünftiger Kohlenstoffkreislauf*) der „Petrochemie“ in der Studie „Klimaneutrales Deutschland 2050“



*) Angaben in Mio. Tonnen Kohlenstoff, wo nicht anders angegeben
Quelle: Prognos, Öko-Institut, Wuppertal Institut (2020)

Ausblick: Projekt GreenFeed

- Das vom BMWi geförderte Verbundvorhaben zwischen den drei **FVEE-Mitgliedern Wuppertal Institut, KIT und DBFZ** startet im März 2022 mit einer Laufzeit von drei Jahren.
- Das Projekt widmet sich den **technologischen Lösungen** sowie den **Kohlenstoff- und Wasserstoffbedarfen** zur **Ablösung** der heutigen **Petrochemie** in Deutschland durch robuste Systeme auf Basis von Reststoffen und erneuerbaren Energien.

Fazit

Mittelfristig und langfristig braucht die Industrie grünen Wasserstoff

- **Stahlerzeugung** und die **Grundstoffchemie** bilden mittel- und langfristig **robuste Wasserstoff-Senken**.
- Langfristig können auch bei wirksamen Carbon-Leakage-Schutz **Produktimporte** zumindest teilweise **anstelle von Wasserstoffimporten** treten.
- Auch eine intelligente **Kreislaufführung** kann den inländischen Wasserstoff-Bedarf begrenzen.
- Bei einem **Ausschluss von CCS** als Lösungsoption und einem mittelbaren „CCU-Zwang“ für kohlenstoffintensive Prozesse steigt dagegen der inländische H₂-Bedarf.
- Die Rolle von **Wasserstoff als Energieträger** ist noch **nicht robust** zu bestimmen, da noch verschiedene technische, organisatorische und energiesystemare Forschungsfragen offen sind.
- Die Frage nach der **Zukunft der Erdgasverteilstetze** stellt sich bereits heute schon, der Industrie kann eine wichtige Rolle bei der Etablierung von „Halbinsel“-Wasserstoff-Verteilnetzen zukommen.