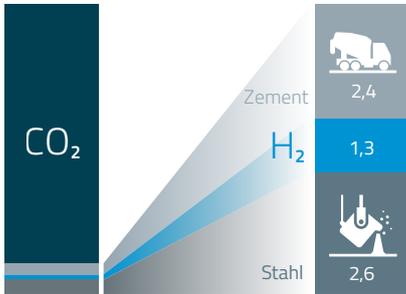


WASSERSTOFF UND KLIMAWANDEL

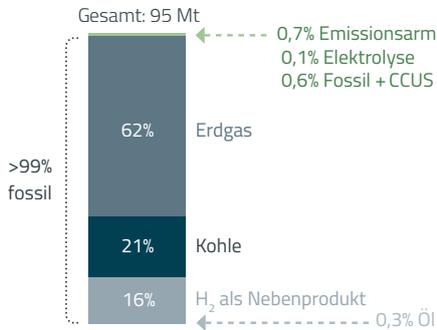
Die Produktion von H₂ ist emissionsintensiv: ~2,5% aller weltweiten Emissionen gehen darauf zurück.

Globale Emissionen (Gt CO₂eq)
Gesamt: 54 Gt



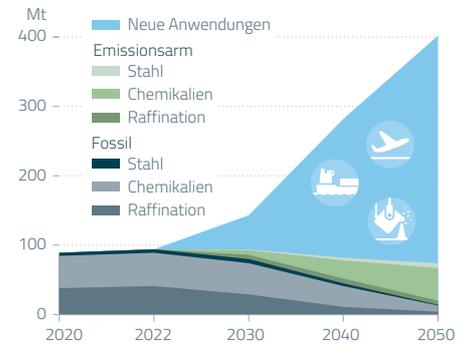
Bislang wird H₂ fast nur aus fossilen Rohstoffen hergestellt. Emissionsarmer H₂ deckt nur einen Bruchteil des globalen Bedarfs.

Globale H₂-Produktion nach Verfahren (Mt)



In Zukunft werden neue H₂-Anwendungen und Bedarfe hinzukommen.

Globaler H₂-Bedarf nach Sektoren (Mt)



PRODUKTIONSPFADE FÜR WASSERSTOFF: KOSTEN UND ENERGIEVERLUSTE

H₂ alleine trägt nicht zur Energieunabhängigkeit bei, da viel Energie für die Produktion aufgewendet werden muss. Alle Produktionsverfahren sind mit Energieverlusten behaftet und verursachen zusätzliche Kosten für diese Umwandlung der Energie.

Wasserstoff Produktionsverfahren	Fossil		Fossil + CCS		Biogen		Erneuerbar
	Kohlevergasung	Methan SMR	Methan SMR + CCS	Kohlevergasung + CCS	Biomethan SMR	Biomethan SMR + CCS	H ₂ O Elektrolyse
TRL	9	9	5-9	5-9	9	7-8	5-9
Aktuelle Produktion (%)	21	62	<0,6	<0,6	0	0	~0,1
Verfügbarkeit	hoch	hoch	hoch	hoch	knapp	knapp	niedrig
LCOH* (\$/kg H ₂)	2,3 - 3,3	1 - 3	2 - 5	2,8 - 3,8	2,1**	2,8**	5 - 12
Emissionen (kg CO ₂ /kg H ₂)	15 - 30	10 - 17	3 - 9	2 - 10	1-9	-12 - -9	0,5 - 2,5
Rohstoffbedarf (Kg/Kg H ₂)	7,6	3,2	3,5	8,4	3,2	3,5	11
Energiebedarf (kWh/kg H ₂)	60	41,5	45,5	67	41,5	45,5	55

* LCOH= Levelised Cost of Hydrogen
 ** Bisher keine kommerzielle Anwendung, mit hohen Unsicherheiten behaftet.
 *** Basierend auf Treibhausgaspotential für Zeithorizont von 20 Jahren (GWP20). GWP = ~30 für 100 Jahre.
 **** Die Notwendigkeit von strengen Methan-Leckagekontrollen gilt auch für die Kohleförderung.

Leckagen: CH₄, 1 kg CH₄ = 85 kg CO₂***

Strenge CH₄ Leckagekontrollen nötig****

Begrenzte Skalierbarkeit

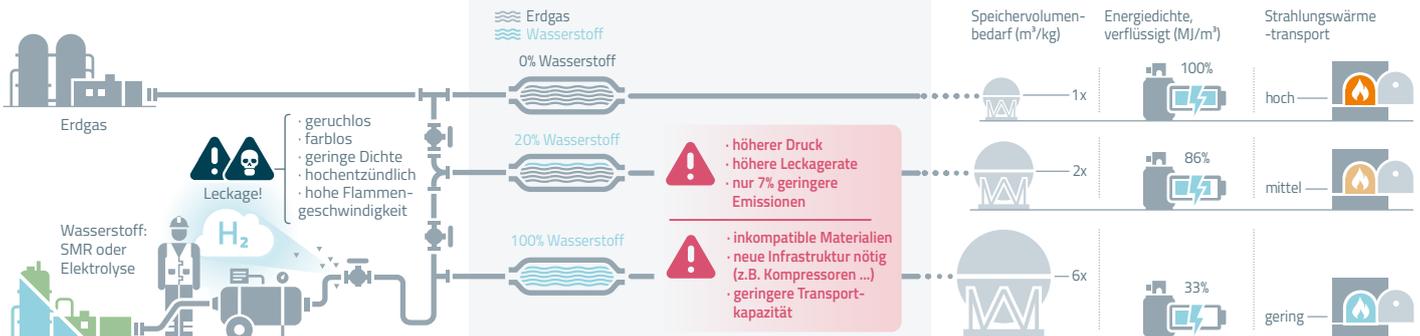
Erneuerbare sind variabel

HERAUSFORDERUNGEN ENTLANG DER WERTSCHÖPFUNGSKETTE

Prozessführung: Wasserstoff bildet eher explosionsfähige Gemische als Erdgas und hat eine niedrigere Zündenergie. Daher müssen Anlagen entsprechend ausgelegt werden.

Transport: Die physikalischen und chemischen Eigenschaften von H₂ erfordern tiefgreifende Umrüstungsmaßnahmen wenn Gasnetze weiter genutzt werden sollen.

Anwendung: Die Verbrennungseigenschaften von H₂ sind anders als die fossiler Brennstoffe, ein 1-zu-1 Austausch ist oft nicht möglich.

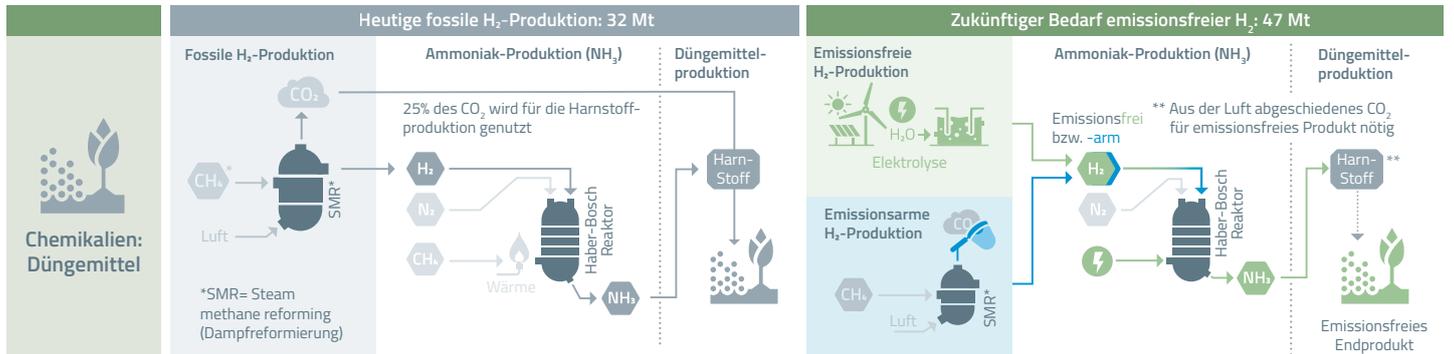


Quellen: Our World in Data (2024), IEA (2023), Rosa & Mazzotti (2022), BNEF (2023), NREL (2022), Lou et al. (2023), S&P Global (2024), Zang et al. (2024), CATF (2023), Hydrogen Science Coalition (2024), IEA (2021), Lange et al. (2023), MIT Climate Portal (2023)
 Methodik und alle Quellen:
fcarchitects.org/content/future-cleantech-factsheet-hydrogen/

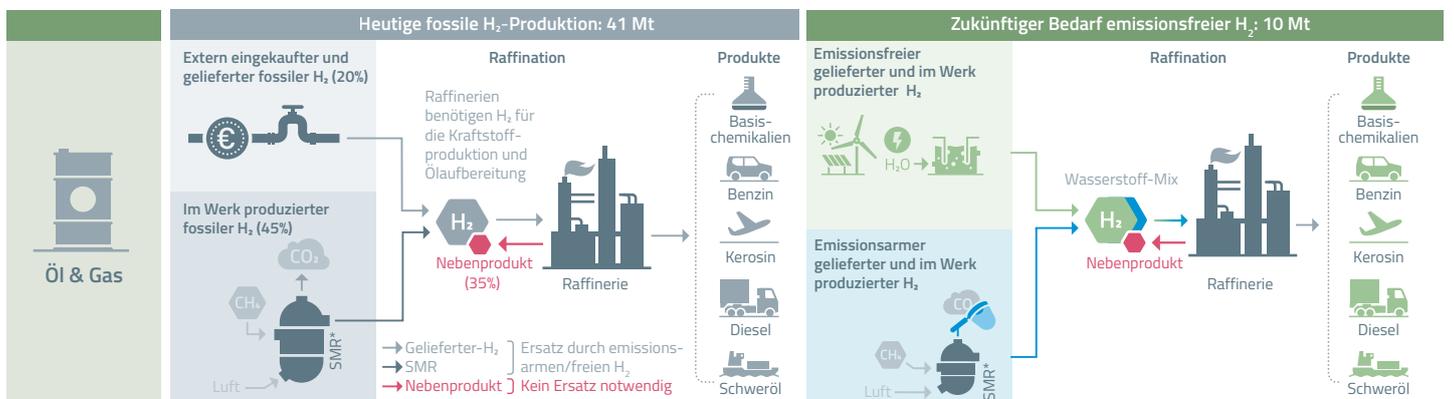


WIR MÜSSEN PRIORISIEREN: ANWENDUNGEN OHNE ECHE ALTERNATIVE ZU WASSERSTOFF

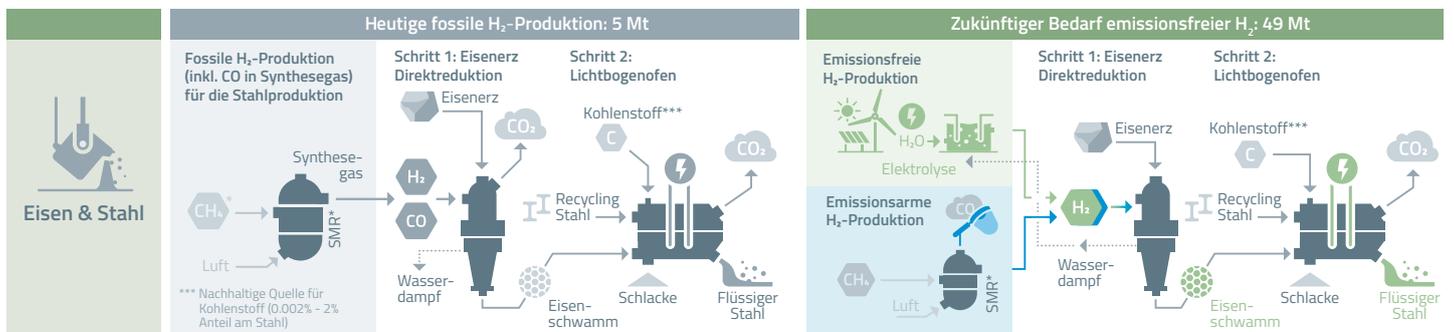
Einige emissionsintensive Wirtschaftszweige werden voraussichtlich auch zukünftig auf Wasserstoff angewiesen sein. Da emissionsarmer H₂ vermutlich auch in den nächsten Jahrzehnten teuer sein wird, sollte die Förderung des Einsatzes für folgende Sektoren priorisiert werden:



Wasserstoff ist für die Produktion von Ammoniak unvermeidbar, welche dadurch den größten Anteil an den Emissionen der Chemieindustrie hat: Die dedizierte Wasserstoffproduktion verursacht Emissionen von 400 Mt/a CO₂. Ammoniak ist der wichtigste Ausgangsstoff für Düngemittel, auf die ca. 50% der Weltbevölkerung für ihre Ernährung angewiesen sind.



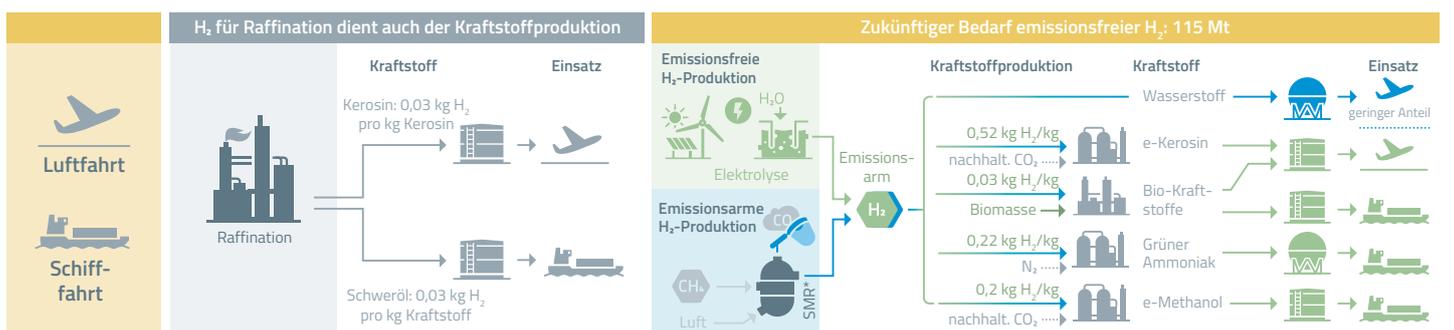
H₂ ist ein wichtiger Ausgangsstoff für Prozesse der Erdöl-Raffination. ~380 Mt/a CO₂ Emissionen gehen auf diese H₂-Produktion zurück. Im Zuge der Dekarbonisierung werden fossile Kraftstoffbedarfe sinken, aber andere Bestandteile, bspw. an petrochemischen Grundstoffen oder Asphalt, werden bestehen bleiben, und somit auch der Bedarf an H₂.



Im Gegensatz zum älteren kohlebasierten Hochofenverfahren kann im modernen Direktreduktionsverfahren Erdgas oder Wasserstoff eingesetzt werden. Der Kohlebedarf der Hochofenroute macht 75% des Energie- und Rohstoffbedarfs der Industrie aus, welche insgesamt für 2,6 Gt/a, d.h. ~5% der gesamten CO₂e Emissionen verantwortlich sind. Trotz 85% Recyclingrate wird die Primärproduktion von Stahl weiterhin eine große Rolle spielen, da der heutige und zukünftige Bedarf ohne sie nicht zu decken ist.

PRIORISIERUNG: WICHTIGE ZUKÜNFTIGE ANWENDUNGEN

In schwer zu dekarbonisierenden Anwendungen wie der Luft- und Schifffahrt wird H₂ voraussichtlich eine wesentliche Rolle in der Lösung spielen.



Quellen: IEA (2023), IEA (2021), Ding et al. (2023), Our World in Data (2017), Roland Berger (2020), Liebreich (2023), ITF (2023), The European Hydrogen Observatory (2021), Atsonios et al. (2023), Pagani et al. (2024), Sollai et al. (2023)
Methodik und alle Quellen: fcarchitects.org/content/future-cleantech-factsheet-hydrogen/

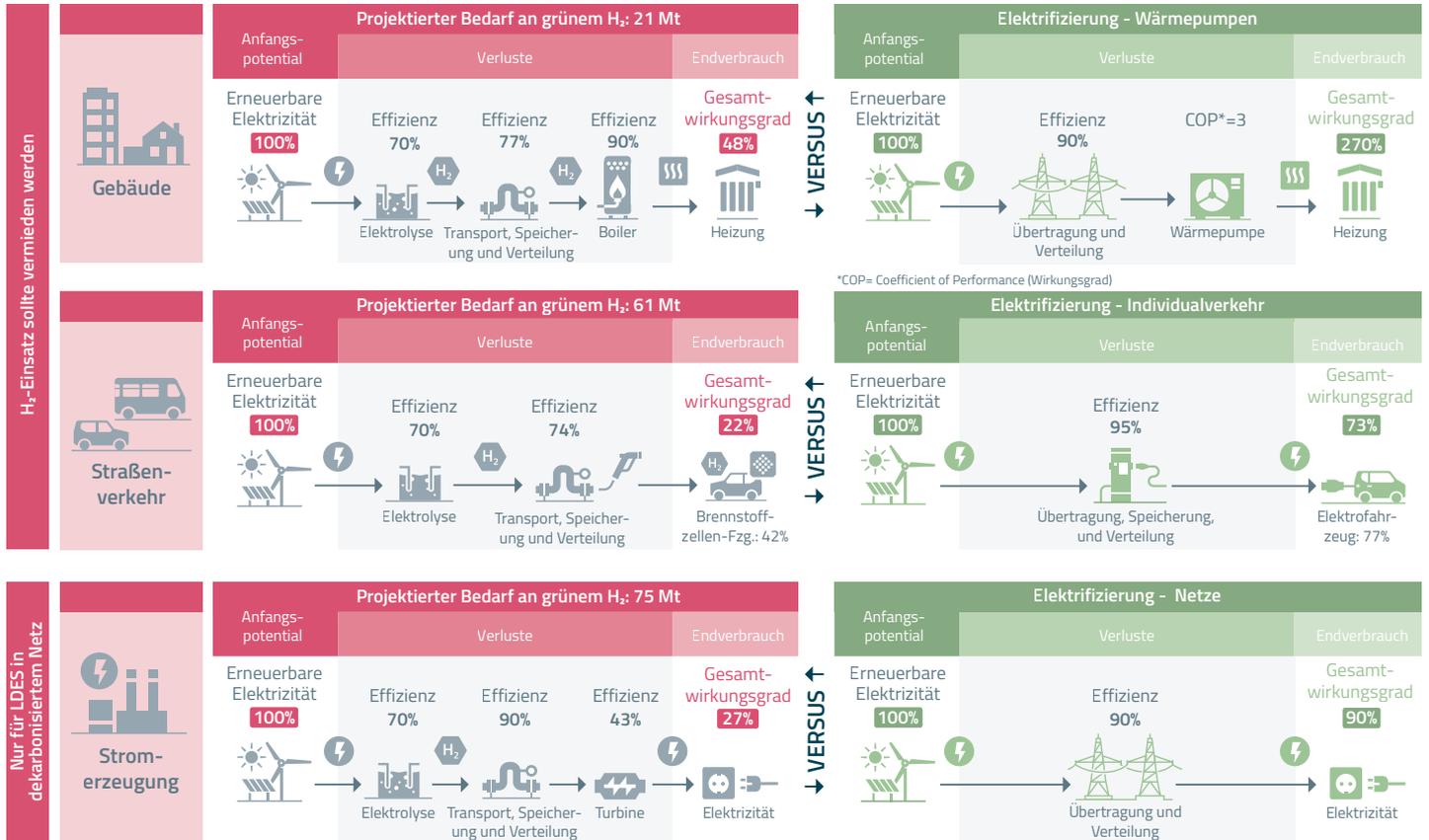


PRIORISIERUNG: INEFFIZIENTE ANWENDUNGEN FÜR WASSERSTOFF

Die Förderung von Wasserstoff sollte dort Priorität haben, wo das höchste Potential zur Einsparung von Emissionen zu erwarten ist. Wenn direkte Elektrifizierung möglich ist, sollten H₂ und die entsprechenden inhärenten Umwandlungsverluste vermieden werden.

— Ineffizienter Ansatz mit Wasserstoff

→ Effizientere alternative Lösungen



Etwa 157 Mt H₂-Bedarf könnten vermieden und stattdessen in schwer zu dekarbonisierbaren Sektoren eingesetzt werden. Insbesondere dort, wo das Angebot zu niedrig und die Preise zu hoch sind. U.a. in den Sektoren Gebäude, Straßenverkehr, und Stromerzeugung sollte praktisch immer auf direkte Elektrifizierung gesetzt werden.

UNSERE EMPFEHLUNGEN

Investitionen in Forschung & Entwicklung

Von 95 Mt jährlicher H₂-Produktion sind derzeit 99% fossilen Ursprungs. Sauberer H₂ ist immer noch eine knappe und kostbare Ressource. F&E ist unabdingbar, um Kosten zu senken und den Hochlauf der Wasserstoffwirtschaft zu unterstützen, damit heutige und zukünftige Bedarfe gedeckt werden können.

- ▶ Verstärkte Förderung von Ansätzen mit deutlichem Kostensenkungspotenzial für Sektoren ohne Alternativen zu H₂.
- ▶ Intensivierte Förderung innovativer und komplementärer Verfahren, bspw. der thermochemischen Produktion, um die Abhängigkeit von Elektrolyse und Erneuerbaren zu reduzieren.
- ▶ Beschleunigte F&E und Investitionen in Speicher- und Transportinfrastruktur um Engpässe in der Versorgung systemrelevanter Sektoren auch bei steigender Nachfrage sichern zu können.

Decarbonisierung bestehender Anwendungen

Unerlässliche Anwendungen von H₂ verursachen bereits Emissionen von 1.3 Gt und müssen vor neuen Einsatzfeldern dekarbonisiert werden. Emissionsreduktionen in der Stahl- und Chemieindustrie sind nur mit Wasserstoff durchführbar, und sollten entsprechend Priorität haben.

- ▶ Allokation von Fördermitteln nach sachlichen Kriterien und Notwendigkeit um die hohe Nachfrage nach den knappen Ressourcen saubere Energie und H₂ nicht unnötig weiter zu steigern.
- ▶ Beschleunigung des EE-Ausbaus, inkl. Geothermie, um Stromknappheit zu vermeiden, das Angebot zu erhöhen und H₂-Produktionskosten zu drücken.
- ▶ CCS-basierte H₂-Produktion sollte als kurz- bis mittelfristige Übergangslösung nur in Betracht gezogen werden, wenn Methanemissionen in der Lieferkette auf ein äußerst niedriges Niveau reduziert werden können.

Priorisierung der schwierigsten Anwendungen

Neben dem Einsatz in den wichtigsten bestehenden Anwendungen sollte die Rolle von H₂ in der Dekarbonisierung von Sektoren liegen, die vor besonders großen Herausforderungen stehen. Insbesondere dort, wo die Elektrifizierung keine praktikable Lösung darstellt, bspw. in der Luft- und Schifffahrt.

- ▶ Weiterentwicklung nationaler Strategien mit klaren Leitplanken für den priorisierten Einsatz von sauberem H₂ in schwer zu dekarbonisierenden Sektoren wie Luft- und Schifffahrt.
- ▶ Gezielte Förderung von Pilotprojekten mittels Differenzverträgen, Investitionen, und Bürokratieabbau, um die Preisdifferenz zu fossilen Alternativen zu eliminieren.
- ▶ Langfristige Investitionssicherheit schaffen durch Ziele mit effektiven Garantiemechanismen um den Hochlauf der H₂-Produktion und neuer Anwendungen zu stimulieren.

Vermeidung ungeeigneter Anwendungen

Die Förderung von H₂ braucht klare wissenschaftliche Kriterien, um die bereits hohe Nachfrage nach sauberer Elektrizität nicht weiter in die Höhe zu treiben. Statt praktikablen Alternativen, bspw. direkte Elektrifizierung, könnte sonst unnötigerweise ineffiziente H₂-Produktion angereizt werden.

- ▶ Ausschluss von ungeeigneten Anwendungen in Straßenverkehr und Wärmeerzeugung aus H₂-Strategien um ineffiziente Förderungen zu vermeiden.
- ▶ Keine dogmatische Technologieoffenheit in Bereichen wo Elektrifizierung die effizienteste, kosteneffektivste, und emissionsärmste Lösung darstellt.
- ▶ Bewusstsein für die geringe Verfügbarkeit von H₂ schaffen, inkl. grundlegender Probleme in Herstellung, Transport und Speicherung, sowie der daraus resultierenden Notwendigkeit der Priorisierung des Einsatzes in schwer zu dekarbonisierenden Anwendungen.

Quellen: Liebreich (2023), IEA (2023), Hydrogen Science Coalition (2024), CATF (2023)

Methodik und Quellen: fcarchitects.org/content/future-cleantech-factsheet-hydrogen/

Möchten Sie mehr erfahren? Besuchen Sie fcarchitects.org oder kontaktieren Sie uns: mail@fcarchitects.org

