

Wasserstoff H₂

– die Lösung unserer Energieprobleme?

Prof. Thorsten Schneiders

16. Juni 2021

Technology
Arts Sciences

TH Köln

- Ausgangslage - Warum gerade jetzt so viel über Wasserstoff diskutiert wird
- Politischer Rahmen, Ziele und Strategien
- Wasserstoff in der Erdgasinfrastruktur
- Power to Gas (PtG)
- Fazit und Ausblick

Ausgangslage

Warum gerade jetzt

so viel über Wasserstoff diskutiert wird



Energiewende quo vadis? Ausgangslage und Motivation für mehr Wasserstoff

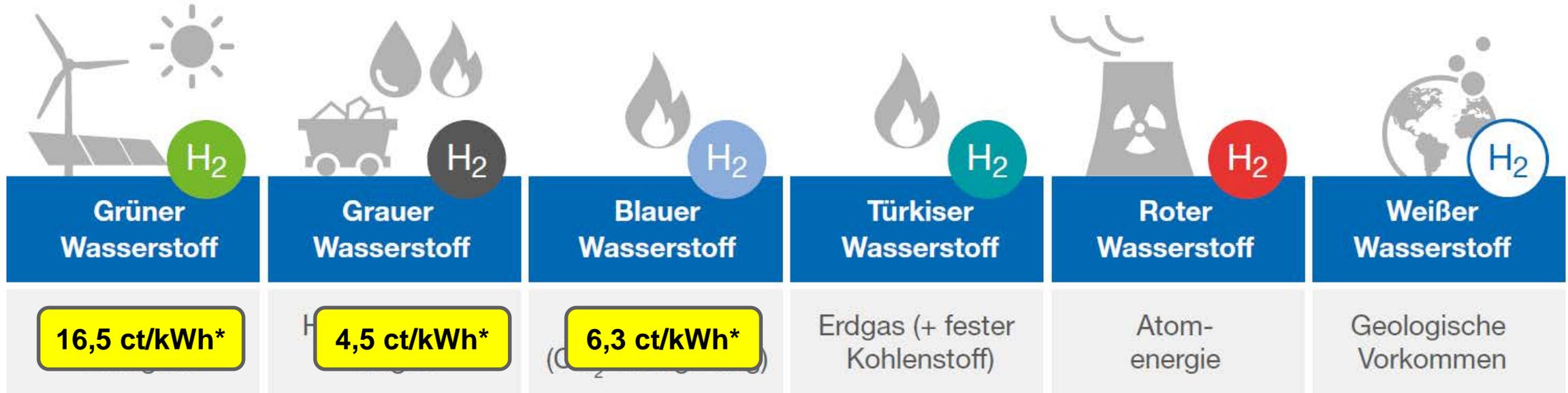
- Der **Ausbau der Erneuerbaren Energien** im Stromsektor erfordert Speicherkapazitäten, kurzfristig für Netz- und Systemdienstleistungen bis zur langfristigen saisonalen Speicherung
 - Zukünftiger Erzeugungsmix dominiert von volatiler Wind- und Solarenergie (EE-Strom)
 - „**Räumliche Stromüberschüsse**“ durch fehlende Netzkapazitäten für Abtransport EE-Strom
 - „**Zeitliche Stromüberschüsse**“ durch längere, auch saisonale Schwankungen, v.a. zwischen sonnigem Sommertagen und dunklen, windarmen Wintertagen
- Die **bestehenden Stromspeicheroptionen** sind zu gering, und nicht alle Technologien eignen sich - auch bei weiterer technischer Entwicklung - für die saisonale Stromspeicherung
 - Pumpspeicher, Batterien (und Elektrofahrzeuge) als Stunden- bzw. Tagesspeicher
- Deutschland verfügt über **gut ausgebaute Gasinfrastruktur mit 250 TWh Speicherkapazität** und kostengünstigem Speicherausbaupotenzial – hier ist saisonale Speicherung gang und gäbe
 - **Power to Gas** soll Sektoren Strom – Gas/Wärme –Verkehr verknüpfen
- Zudem kann **grüner Wasserstoff** auch in Verkehr und Industrie zur Dekarbonisierung beitragen

Warum H₂? Perspektiven für Wasserstoff als „Multitalent“ oder „Kernelement“ der Dekarbonisierung

Übergeordnetes Ziel: Massive Minderung der CO₂-Emissionen in Deutschland

				Energiewende			Industriewende
				Stromwende	Wärmewende	Verkehrswende	
Ziele	CO ₂ -Minderung durch Energieeinsparungen und verstärkter Nutzung Erneuerbaren Energien statt fossiler Brennstoffe mit CO ₂ -Emissionen						Dekarbonisierung von Industrieprozessen (z.B. Raffinerien, Stahl)
	Umsetzung	Ausbau v.a. der fluktuierenden Wind- und Solarenergie mit saisonalen Schwankungen	Höherer Bedarf an EE-Wärme Höherer Strombedarf durch Wechsel zu Wärmepumpen	Höherer Strombedarf durch Wechsel zu Elektro- und Wasserstoffmobilität (Begrenzte) Nutzung von Biokraftstoffen	Höherer Strombedarf durch Wechsel von grauem zu grünem Wasserstoff und Brennstoff-Switch		
Wasserstoff	H ₂ als saisonales Speichermedium in Gasspeichern	H ₂ als CO ₂ -freier Brennstoff für Heizungen und Industrieprozesse	H ₂ als CO ₂ -freier Kraftstoff (auch P2Fuels)	Grüner Wasserstoff als industrieller Einsatzstoff			
	Power to Gas zur Nutzung Gasspeicher	H ₂ - Beimischung und Nutzung reines H ₂	Wasserstoffmobilität, Power to Fuels	Aufbau von Grünstrom-Elektrolyseuren			

Farbenlehre des Wasserstoff – Ansichten sind nicht immer einheitlich



- In der chemischen Industrie entsteht Wasserstoff als Nebenprodukt chemischer Prozesse, der bisher nur thermisch genutzt wird – rechtlicher Status als „grauer Wasserstoff“ unpassend
 - Basis für Aufbau von Wasserstoffanwendungen (s. HyCologne)
 - Schnell verfügbares Ausbaupotenzial (z.B. von 2.600 t/a auf 15.000 t/a im Raum Köln)
- „Grün“ ist nur der Wasserstoff aus der Elektrolyse von Strom aus Erneuerbaren Energien
- Gut verfügbar ist „Nebenprodukt Wasserstoff“ (gelber Wasserstoff) aus chemischer Industrie



Politischer Rahmen, Ziele und Strategien



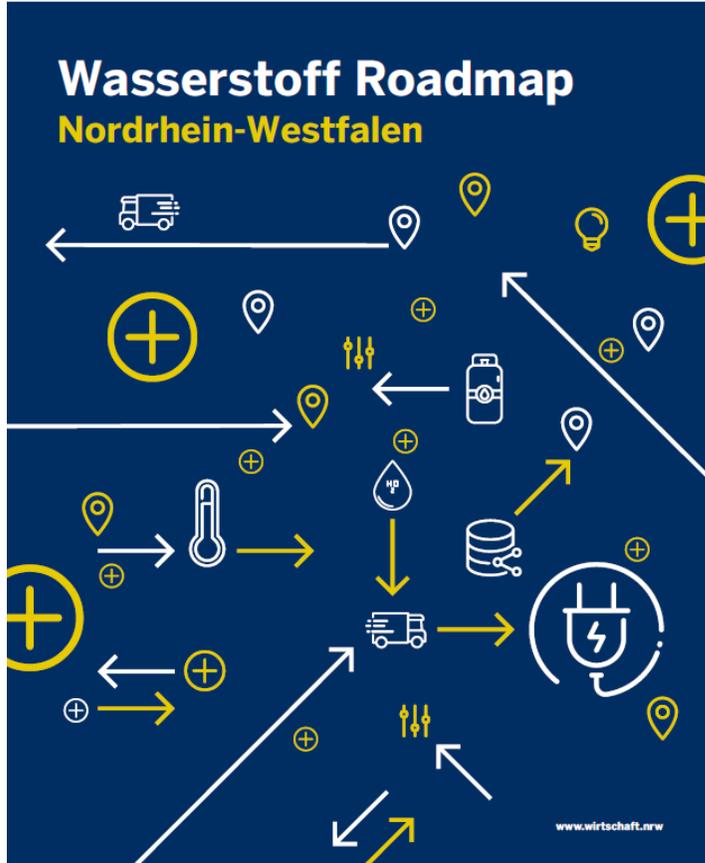
EU–Wasserstoffstrategie als Element des Green Deals

- EU-Wasserstoffstrategie ist Teil vom **Green Deal** und **Aufbauinstrument Next Generation EU**
- **2020 bis 2024:** Installation von Elektrolyseuren für die erneuerbaren Wasserstoff mit einer Elektrolyseleistung von min. 6 GW (aktuell: 1 GW) und Erzeugung von bis zu 1 Mio. t erneuerbarem Wasserstoff.
- **2025 bis 2030:** Wasserstoff als wesentlicher Bestandteil des integrierten Energiesystems, durch Installation von Elektrolyseuren für erneuerbaren Wasserstoff mit Elektrolyseleistung von min. 40 GW und Erzeugung von bis zu 10 Mio. t erneuerbarem Wasserstoff.
- **2030 bis 2050:** Technologien für erneuerbaren Wasserstoff ausgereift und in großem Maßstab in allen Sektoren, in denen die Dekarbonisierung schwierig ist, eingesetzt werden.
- **Geschätztes Investitionsvolumen:** Investitionen bis 2050 in erneuerbaren Wasserstoff bis zu 180 - 470 Mrd. € und für CO₂-armen fossilen Wasserstoff bis zu 18 Mrd. €
- **Förderung:** EU-EHS-Innovationsfond 10 Mrd. € bis 2030 für Förderung CO₂-armer Technologien; Programm “Important Projects of Common European Interest (IPCEI)”
- Aktuell wird **neues Binnenmarktpaket Gas** diskutiert (erwartet Q4/2021)

Nationale Wasserstoffstrategie



- Deutsche Bundesregierung hat Juni 2020 **Nationale Wasserstoff-Strategie** veröffentlicht, mit den **Zielen**
 - Wasserstofftechnologien als Kernelemente der Energiewende etablieren (u.a. zur Dekarbonisierung von Produktionsprozessen)
 - Voraussetzungen für Markthochlauf der Wasserstofftechnologien schaffen,
 - Durch forcierte F&E deutsche Unternehmen und ihre Wettbewerbsfähigkeit stärken
- **Förderung:** im Rahmen des 7. Forschungsprogramms mit insgesamt 7 Mrd. € (u.a Technologieoffensive Wasserstoff)
- **Projekte:** Reallabore der Energiewende, Forschungsnetzwerk Wasserstoff, Nationales Innovationsprogramm Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologien (NIP)



- **Wasserstoff-Roadmap der Landesregierung NRW (11/2020):**
 - **Industrielle Prozesse** in NRW mittels Wasserstoff bis 2050 annähernd klimaneutral gestalten
 - **Bis 2025:** erste Großanlagen in Betrieb, 100 Kilometer H₂-Pipeline-Netzes installiert, 400 Brennstoffzellen-LKWs, 80 H₂-Tankstellen und 500 Wasserstoff-Busse
 - **Bis 2030:** 240 km H₂-Leitungen, 11.000 Brennstoffzellen-LKWs, 200 H₂-Tankstellen, 1.000 Brennstoffzellen-Abfallsammler und 3.800 Brennstoffzellen-Busse, bis zu 3 GW Elektrolyse
- **Strukturwandel im Rheinischen Revier** bietet Umsetzung
 - Kommunen planen aktuell zahlreiche H₂-Projekte
- **Förderung** über nationale Instrumente, aber auch gesonderte Strukturhilfe-Förderungen und Landesmittel (EFRE, Progres)

H2

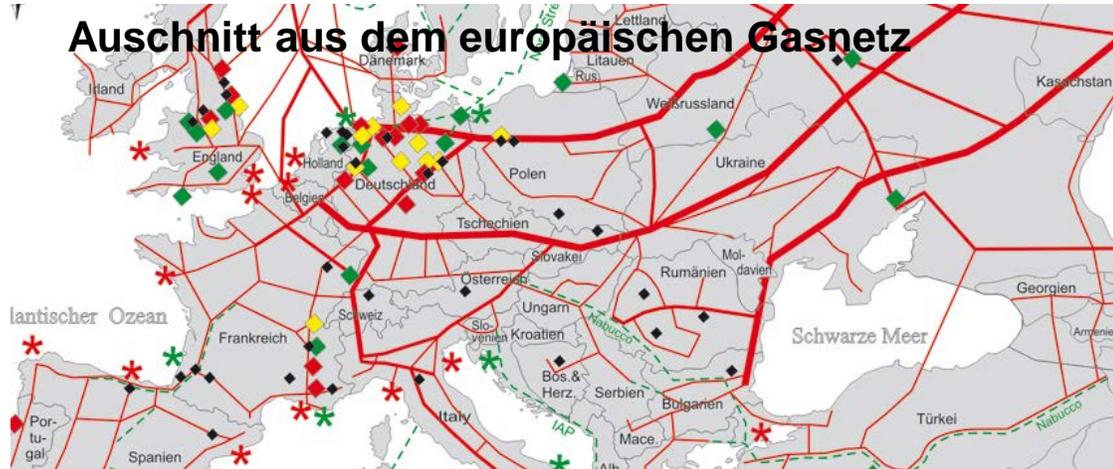
Wie funktioniert
die technische Umsetzung
von Wasserstoff und Power to Gas?

Wasserstoff in der Erdgasinfrastruktur

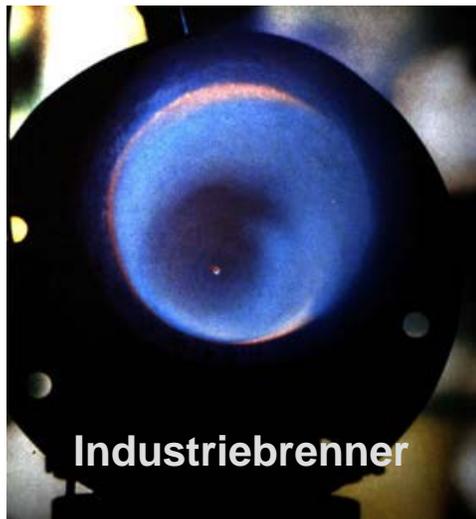


Was ist erforderlich, damit die Flamme brennt?

Der deutsche Gasmarkt mit seiner Infrastruktur ist groß, und die Verbraucher benötigen zuverlässige Gasqualität



- Deutscher Gasmarkt ist mit ca. **1.000 TWh** doppelt so groß wie der deutsche Strommarkt, davon geht Großteil (70%) in Industrie
- Deutsches Gasnetz umfasst **über 500.000 km Pipelines und Leitungen** sowie **Gasspeicher** und ist in das EU-Gasnetz eingebunden
- **Gasinfrastruktur und –Nutzung** sind auf bestimmte **Gasqualität** (Brennwert, Sicherheit) ausgelegt und nicht einfach umstellbar
 - Erdgas wichtiger Produktions- und Brennstoff in **Industrie** (z.B. Glas, Chemie, Stahl)
 - **Heizungen** benötigen sichere, stabile Flammen

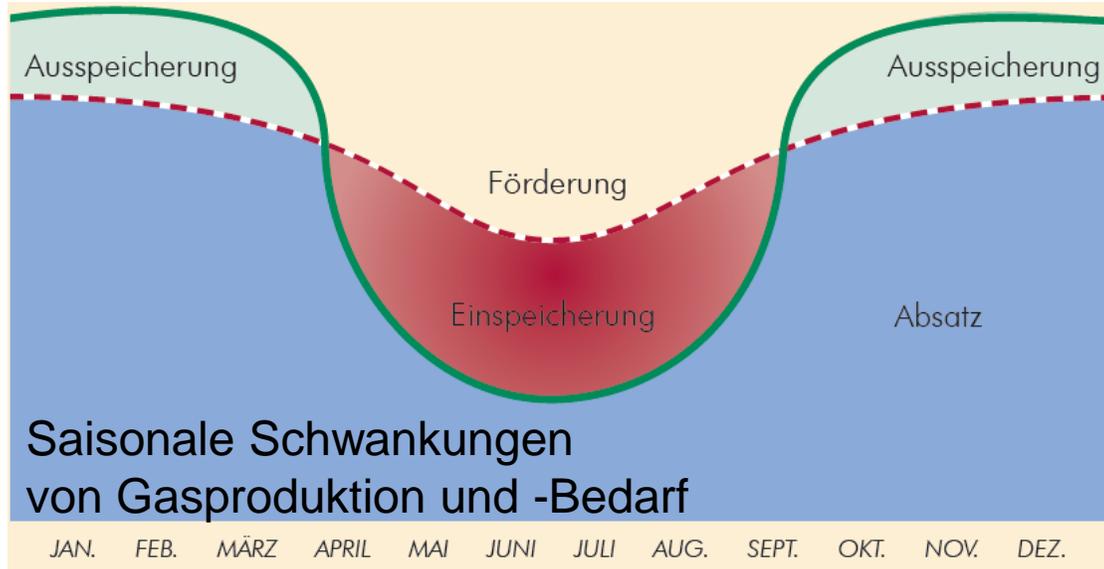


Industriebrenner



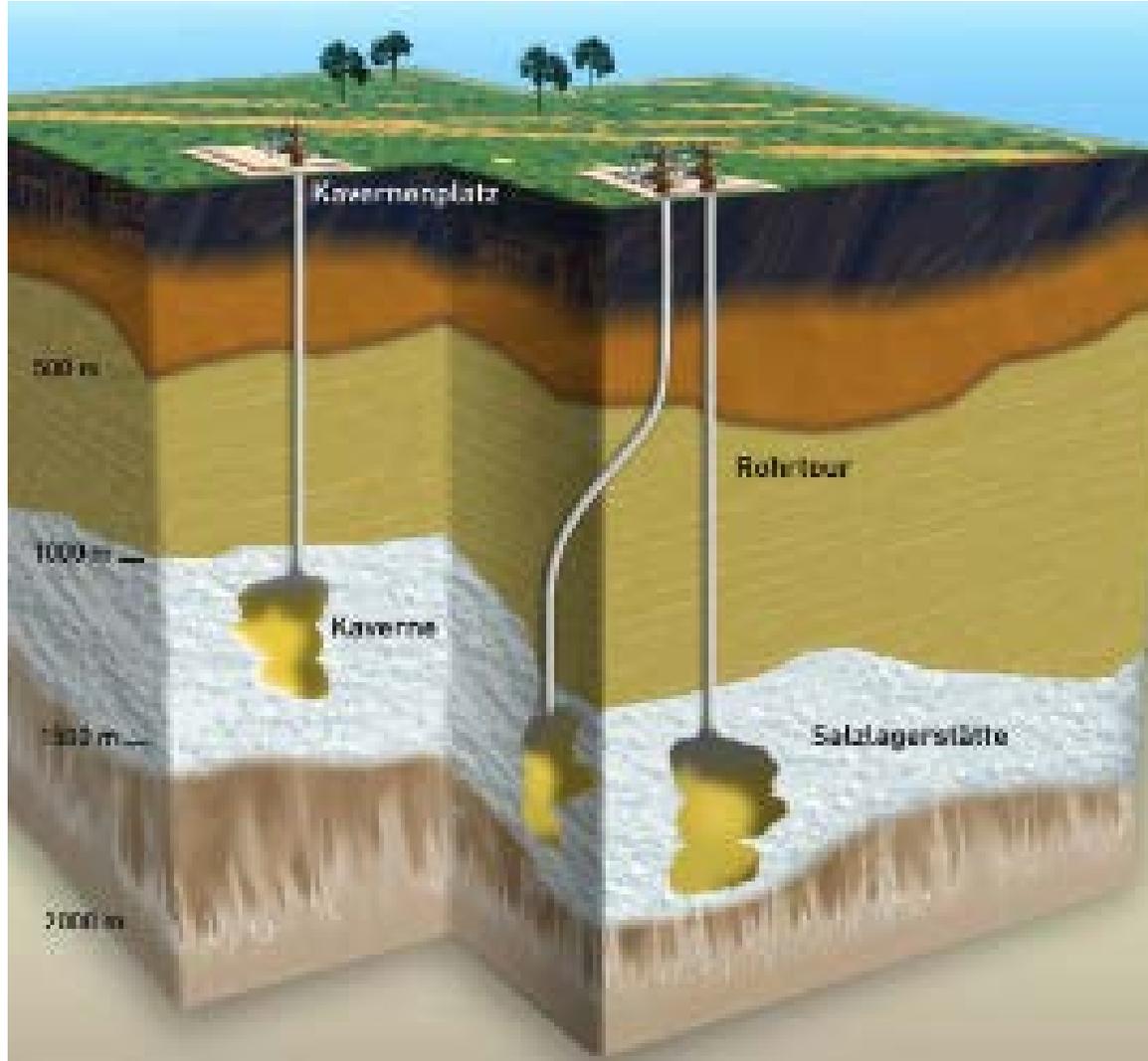
Heizungskessel

Gasspeicherung ist seit Jahrzehnten „Alltagsgeschäft“



- Gasnetz bietet **umfangreiche Speicheroptionen** - vom **kurzfristigen bis saisonalen Ausgleich** zwischen Förderung, Verteilung und Bedarf
 - **Kurzfristiger** Ausgleich von Verbrauchsspitzen und unregelmäßigem Verbrauch
 - Kurzfristiges Zwischenspeichern von Gashandelsmengen (z.B. Spotmarkt)
 - **Saisonale** Speicherung für höheren Gasbedarf im Winter
 - **Langfristige** Sicherung der Versorgung bei Lieferunterbrechungen und Krisen
- Speichermöglichkeiten „übertage“ und im Gasnetz selbst sind klein, die Gasspeicherung im großen Maßstab erfolgt untertage

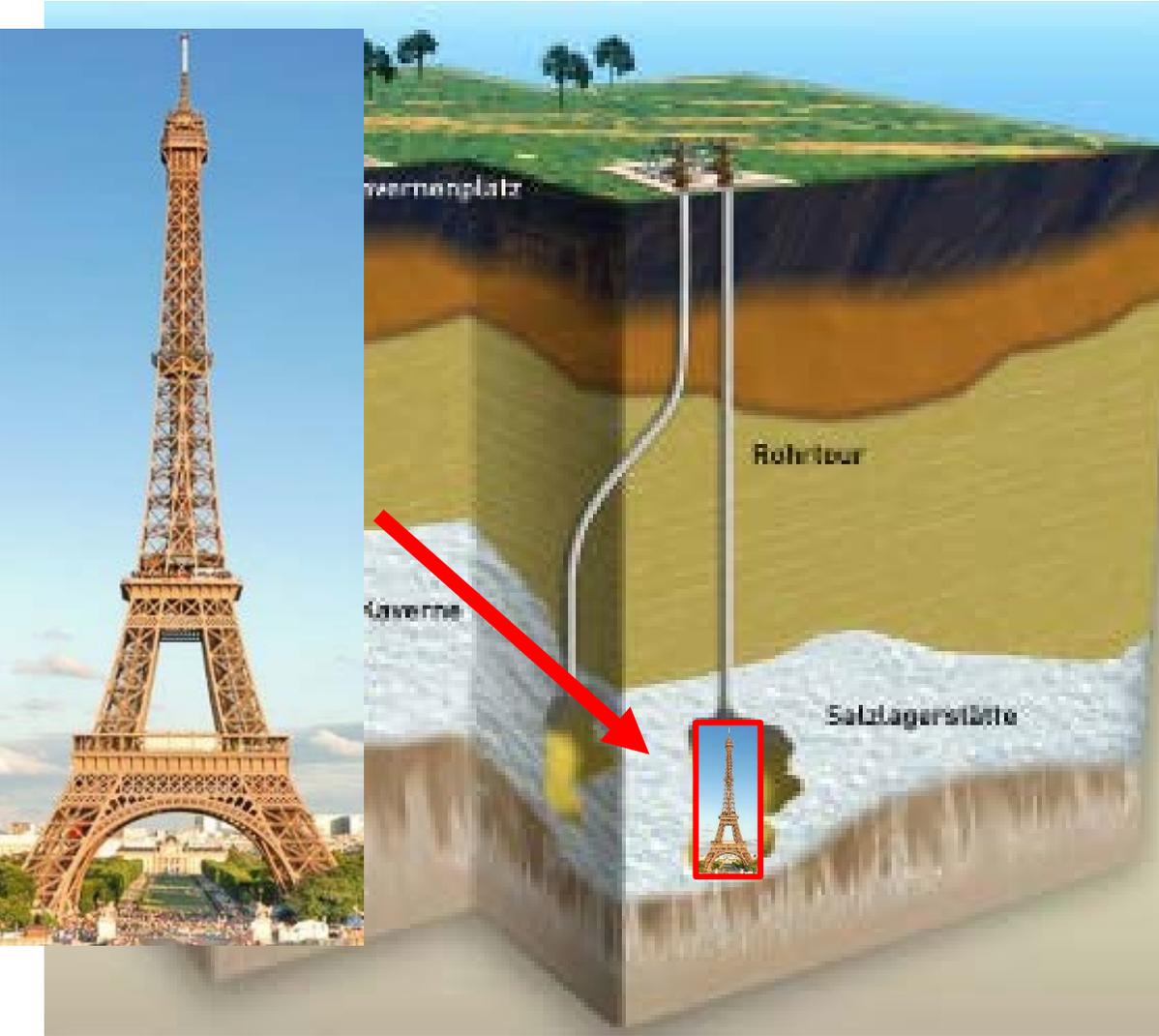




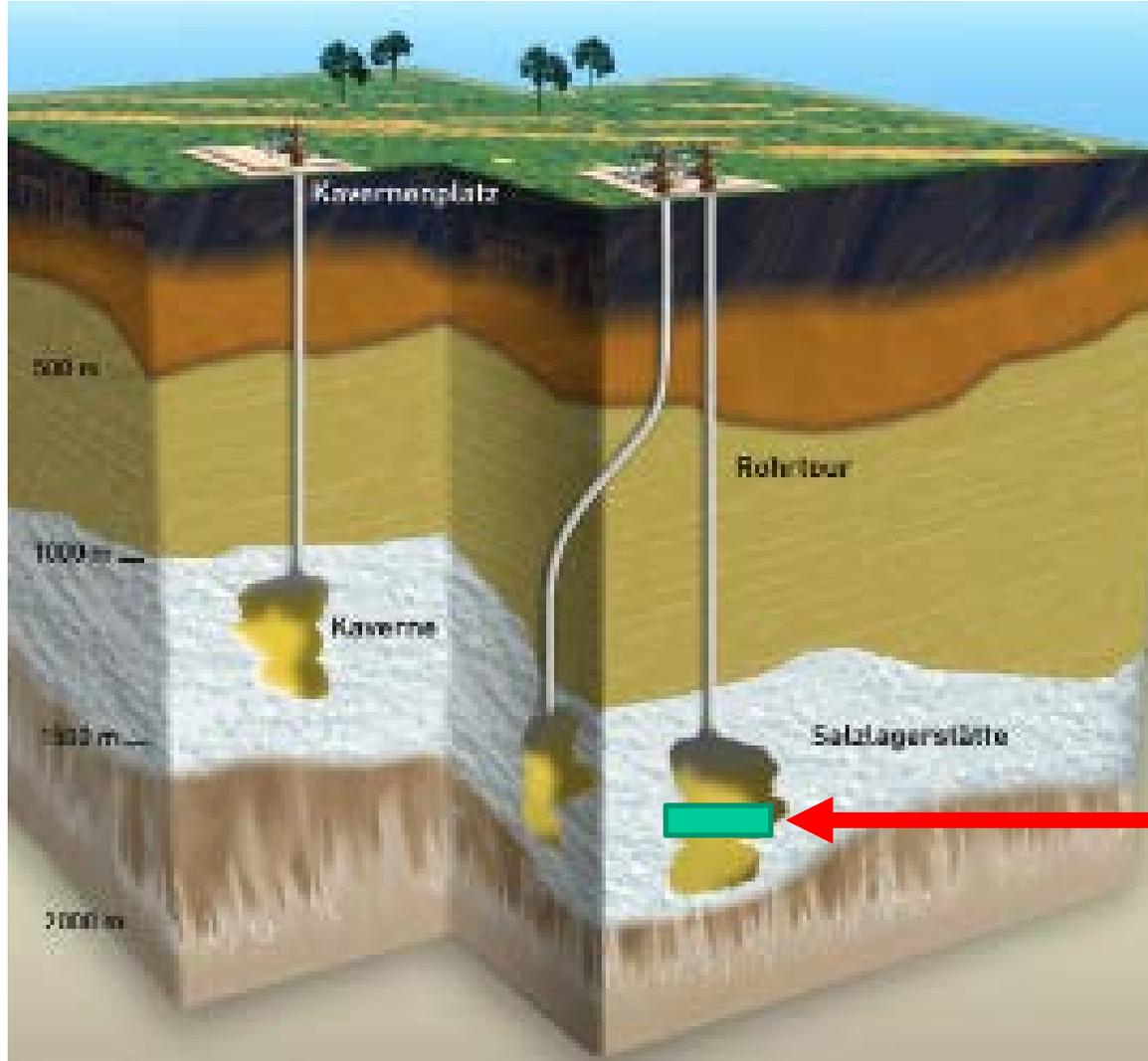
- Kavernenspeicher sind durch Aussolung geschaffene Hohlräume in **Salzstöcken** v.a. in Norddeutschland
 - Natürliche Gasdichtheit des Salzes
 - Kostengünstige Erstellung
 - Stabilisierung durch **Kissengas** erforderlich
- Sie bieten Speichervolumen von 10 -100 Mio. Nm³ je Kaverne und hohe Ein-/Auspeiseleistung
 - **Speicherung durch Druckerhöhung zwischen 30 und 140 bar**
 - **Kurzfristige Speicherung** für Spotmarkt
 - Mehrere Kavernen werden zu einer Speicheranlage zusammengefasst

Kavernenspeicher – Gasspeicherung im Salzstock

- **Gewaltige Dimensionen:** Kavernenspeicher können über 300 Meter hoch werden, mit einem Durchmesser von über 50 Meter



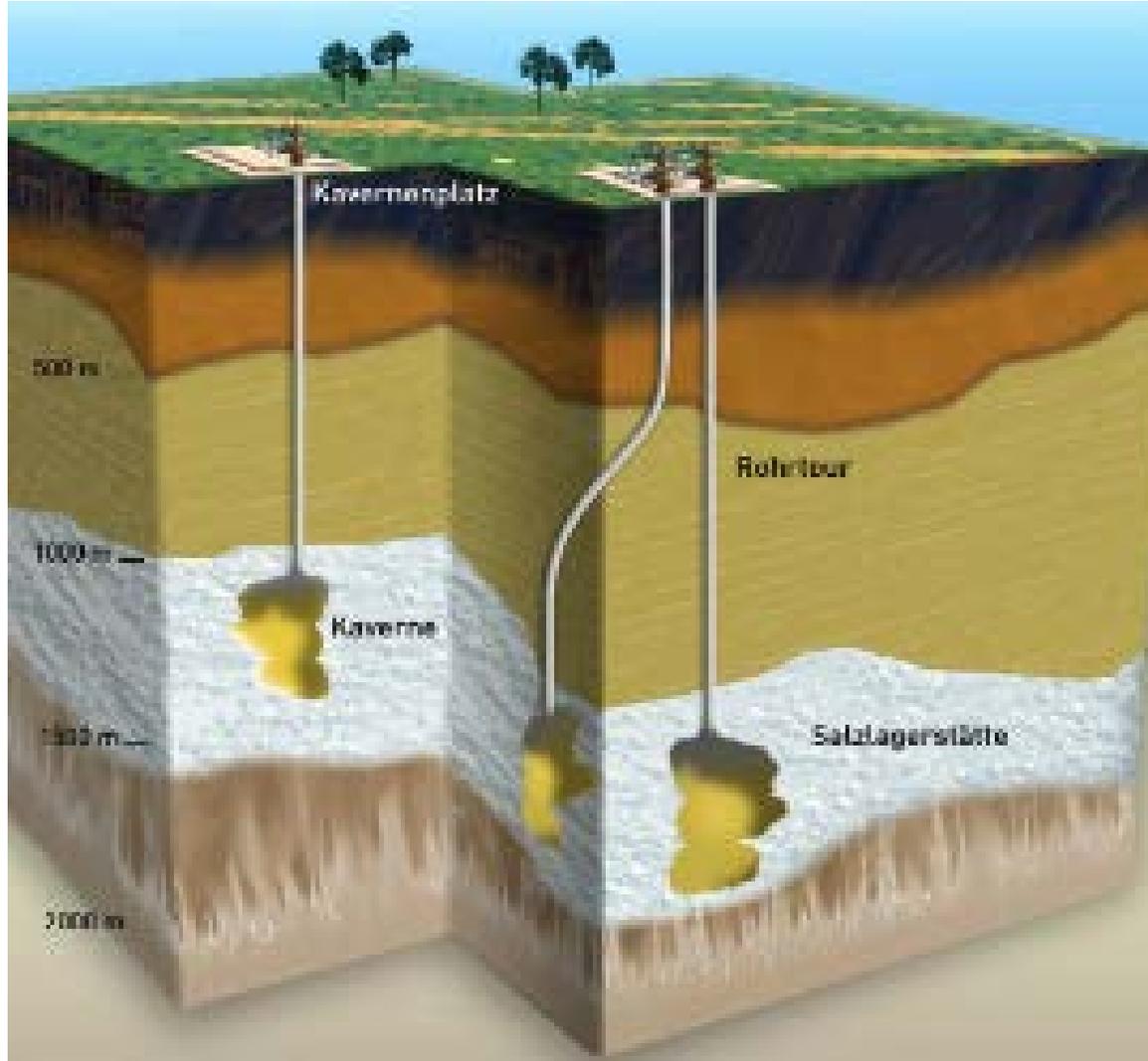
Kavernenspeicher – Gasspeicherung im Salzstock



- **Gewaltige Dimensionen:** Kavernenspeicher können über 300 Meter hoch werden, mit einem Durchmesser von über 50 Meter
- Vielfaches Energiespeichervolumen im Vergleich zu Pumpspeichern

Energiespeichervolumen von Deutschlands größtem Pumpspeicher Goldisthal (8,5 GWh)

Kavernenspeicher – Gasspeicherung im Salzstock



- **Gewaltige Dimensionen:** Kavernenspeicher können über 300 Meter hoch werden, mit einem Durchmesser von über 50 Meter
 - Vielfaches Energiespeichervolumen im Vergleich zu Pumpspeicherkraftwerken
- Umfangreiche Ausbaupotenziale v.a. in Norddeutschland
 - Zahlreiche Neubauprojekte in Planung
 - Aussolung neuer Kavernenspeicher dauert etwa 2 Jahre
- Prinzipiell für **Wasserstoff geeignet**, wenn von vornherein mit Wasserstoff befüllt (Kissengas)
 - Erste Forschungsprojekte (Bad Lauchstädt)



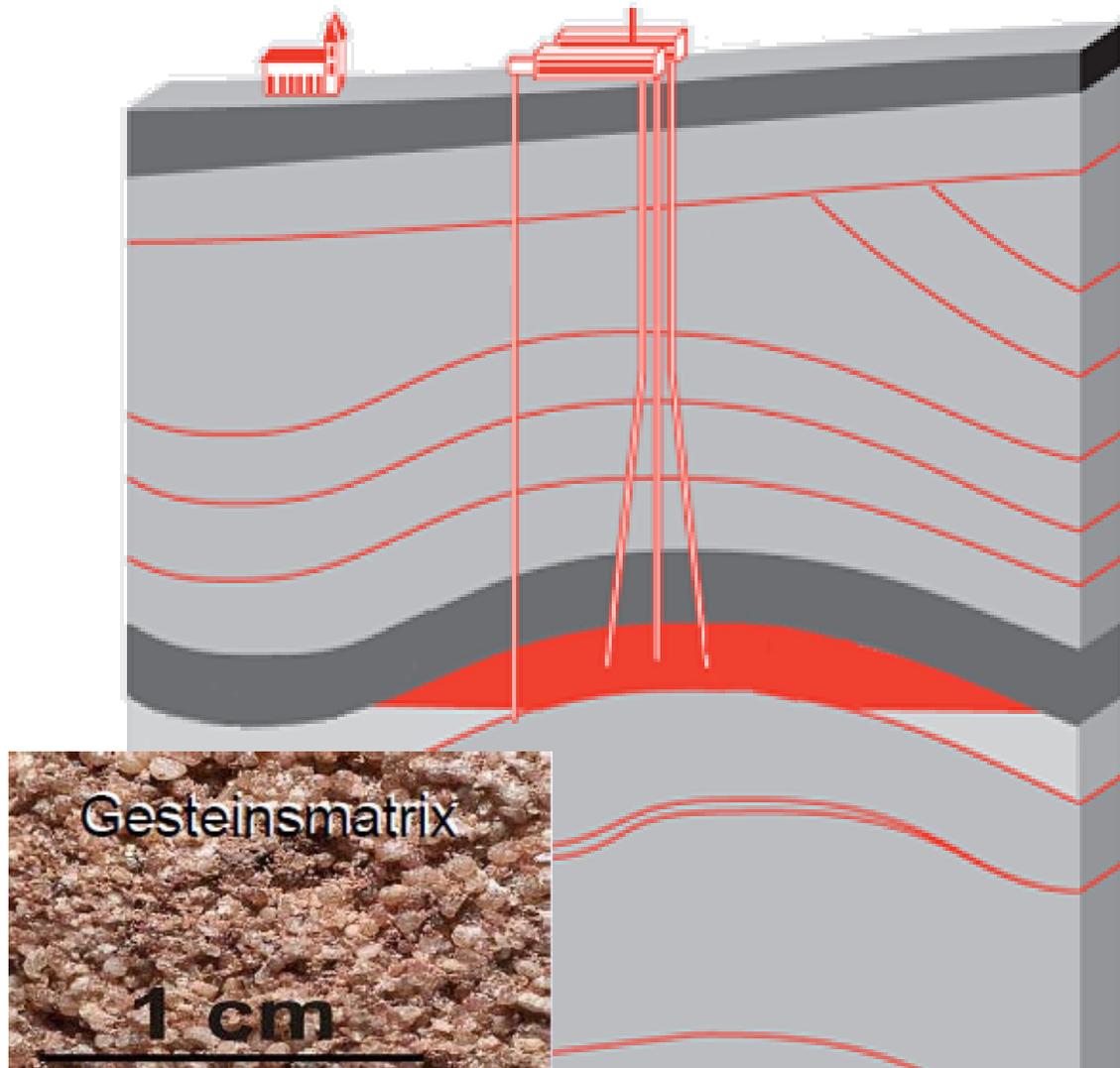


Eine weitere Option...

Eine weitere Option...kann Spongebob uns helfen?

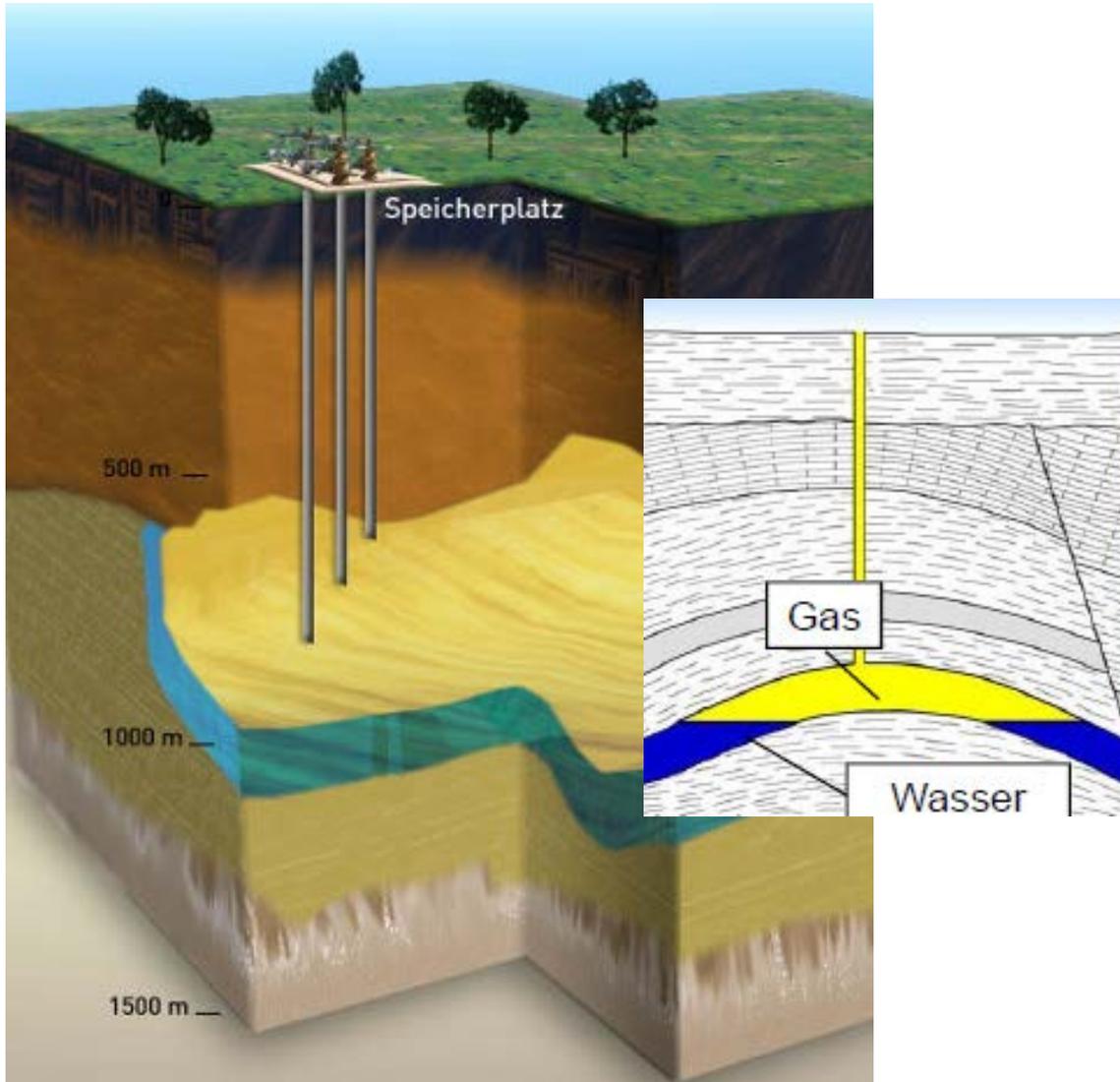


Porenspeicher – poröses Gestein von erschöpften Öl- und Gaslagerstätten bietet Platz für Öl und Gas



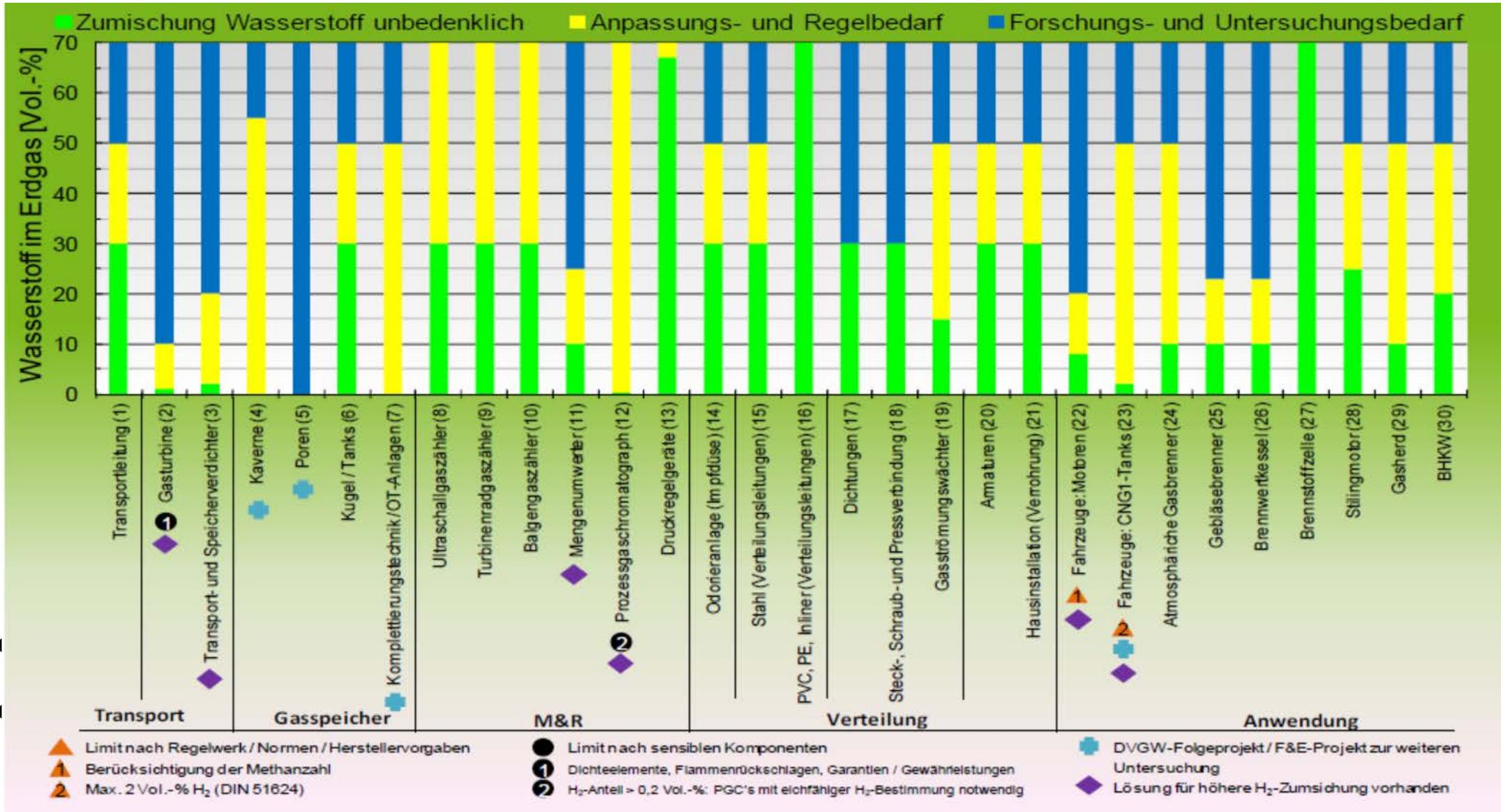
- Porenspeicher sind **natürliche Hohlräume** in porösem Gestein mit gasdichtem Deckgebirge, **ursprünglich mit Erdöl oder –gas befüllt**
 - Geologische Eignung und Dichtheit erwiesen
- Gas wird **in Poren gepresst**
 - Bis zu 60% Kissengas erforderlich
 - Durchleitungseigenschaften des Gesteins begrenzen Ein-/Auspeiseleistung, daher Einsatz zur saisonalen Speicherung
- Häufigste Speicherart: sehr große Volumen vorhanden und über Deutschland verteilt
- **Aber:** Bakterien fressen Wasserstoff und **verstopfen die Poren**, daher Nutzbarkeit für wasserstoffreiche Gase fraglich

Aquiferspeicher – poröses Gestein in wasserführenden Schichten für die Gasspeicherung

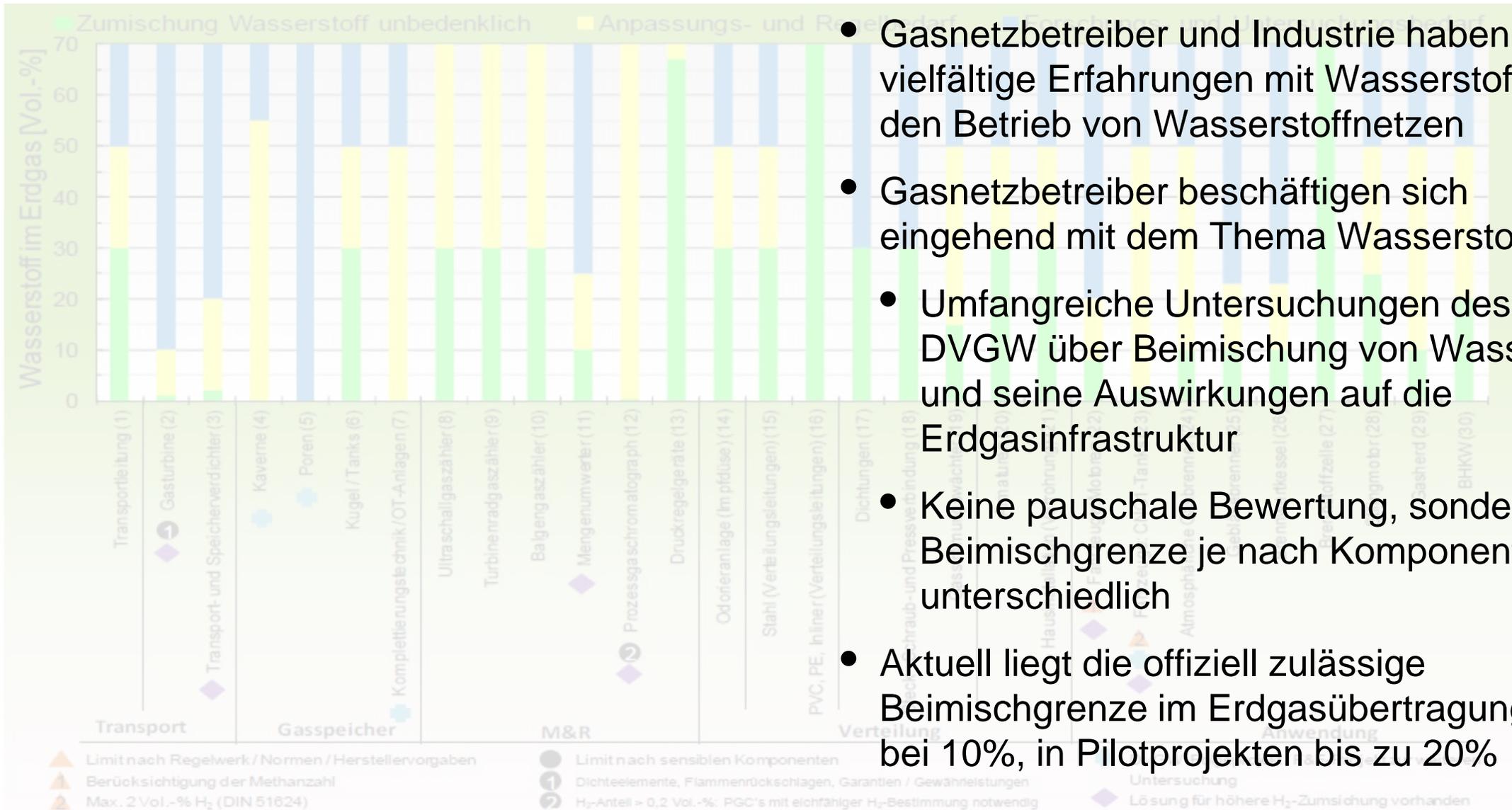


- Aquiferspeicher sind natürliche, **mit Wasser befüllte** Hohlräume in porösem Gestein
 - Geologische Eignung nachzuweisen
 - Ideale Tiefe von 500 – 800 Metern macht Verdichtung bei Einspeicherung überflüssig
 - Über Deutschland verteilte Vorkommen
- **Gas wird in Poren gepresst**
 - Bis zu 60% als Kissengas erforderlich
 - Durchleitungseigenschaften des Gesteins begrenzen Ein-/Ausspeiseleistung, daher Einsatz zur saisonalen Speicherung
- **Aber:** Bakterien fressen Wasserstoff und **verstopfen die Poren**, daher Nutzbarkeit für wasserstoffreiche Gase fraglich

Gasnetzbetreiber engagieren sich beim Thema Wasserstoff



Gasnetzbetreiber engagieren sich beim Thema Wasserstoff



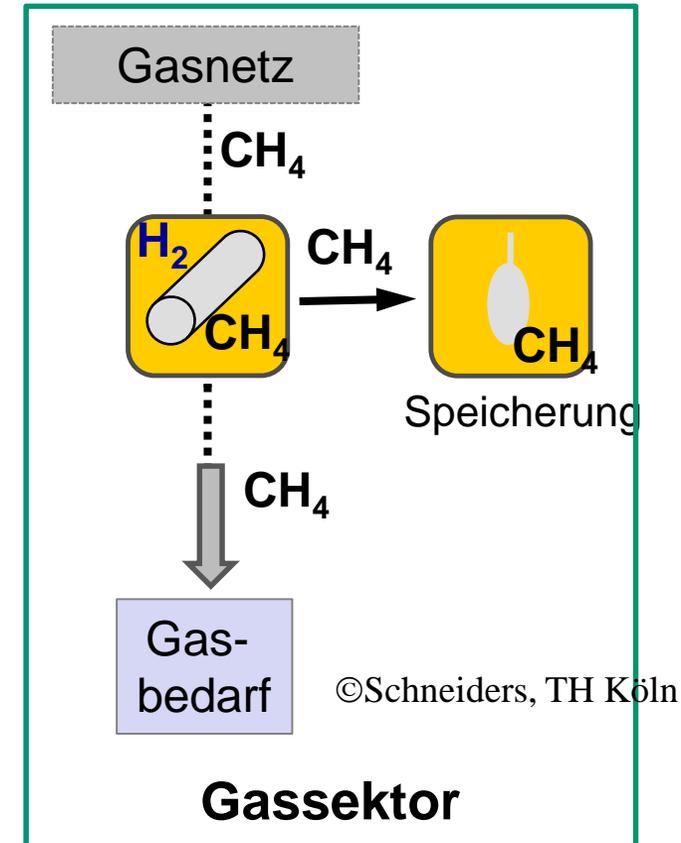
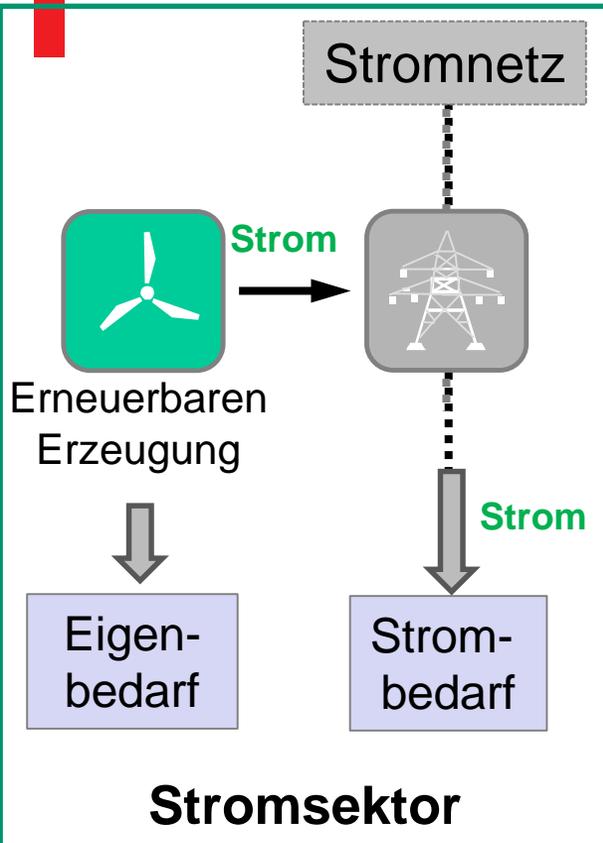
- Gasnetzbetreiber und Industrie haben bereits vielfältige Erfahrungen mit Wasserstoff und den Betrieb von Wasserstoffnetzen
- Gasnetzbetreiber beschäftigen sich eingehend mit dem Thema Wasserstoff
- Umfangreiche Untersuchungen des DVGW über Beimischung von Wasserstoff und seine Auswirkungen auf die Erdgasinfrastruktur
- Keine pauschale Bewertung, sondern Beimischungsgrenze je nach Komponenten unterschiedlich
- Aktuell liegt die offiziell zulässige Beimischungsgrenze im Erdgasübertragungsnetz bei 10%, in Pilotprojekten bis zu 20%



Power to Gas (PtG)

Wie wird Wasserstoff produziert und wie passt er in die Erdgasinfrastruktur?

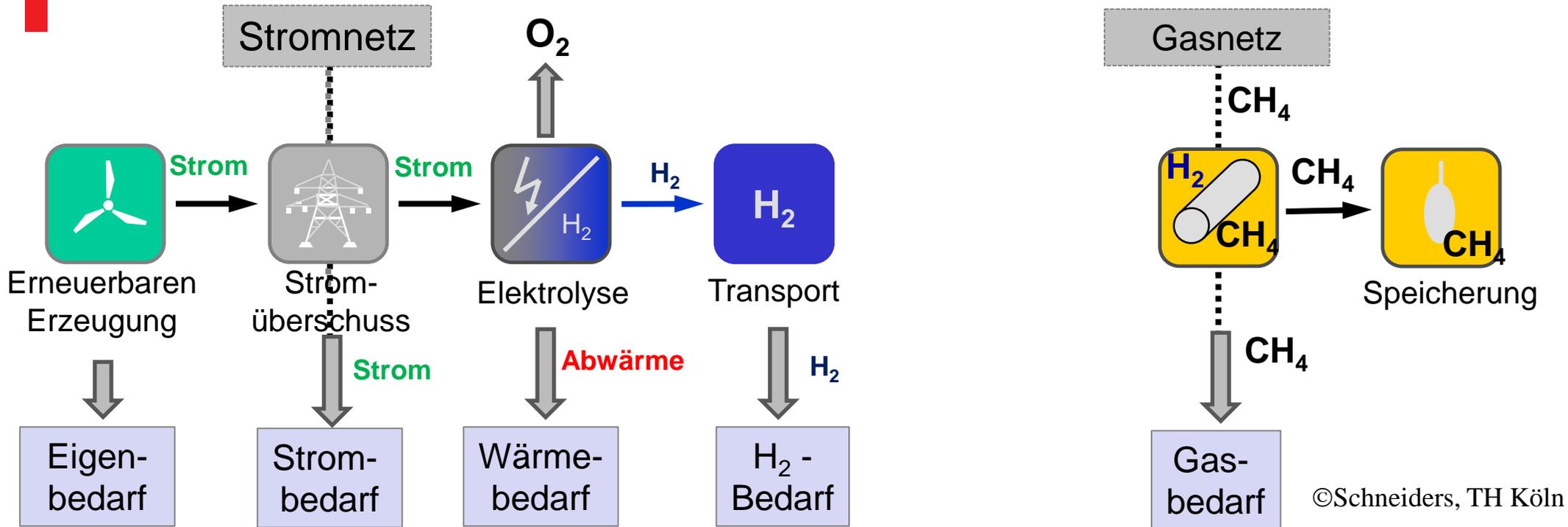
Power to Gas soll Strom- und Gassektor koppeln



©Schneiders, TH Köln

- **Sektorenkopplung** bezeichnet die Kopplung der Sektoren Strom, Gas (inkl. Wärme) und Verkehr, d.h. Energieflüsse zwischen den Sektoren – bisher keine Kopplung Strom und Gas
- **Beispiele:** Kraft-Wärme-Kopplung, Power to Heat (Wärmeerzeugung aus Strom durch Wärmepumpen) oder Elektromobilität (Strom als Kraftstoff im Verkehrssektor)
- **Power to Gas** soll die Sektoren Strom und Gas koppeln, indem aus Strom Gas erzeugt wird

PtG Stufe 1: Erzeugung von Wasserstoff (Power to Hydrogen)



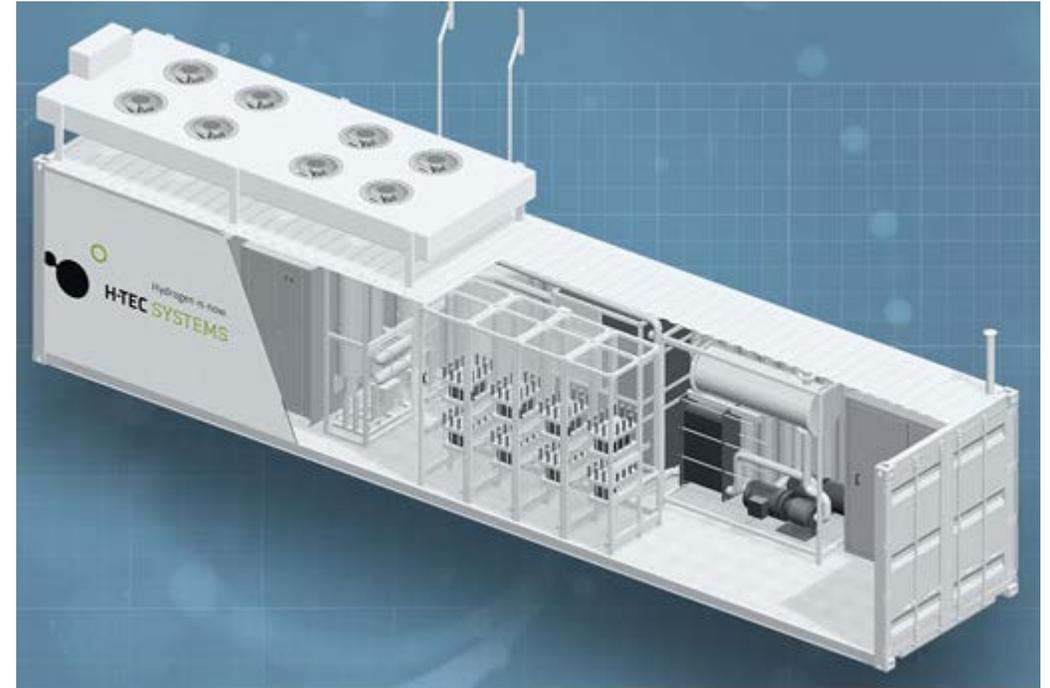
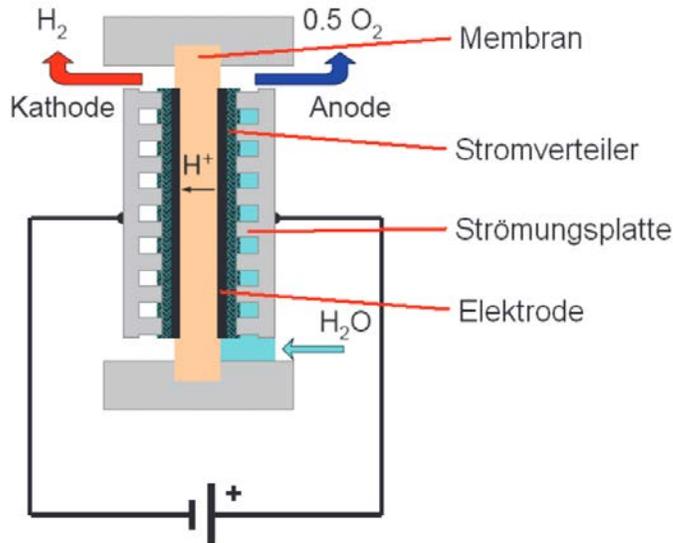
- **Prozess:** H_2 wird durch Elektrolyse mit Überschussstrom aus Erneuerbaren Energien produziert, dabei entstehen auch Sauerstoff und Abwärme
- **Nutzung:** H_2 kann separat transportiert, gespeichert oder verbraucht werden
- **Herausforderungen:** Wirkungsgrade und Kosten (Strom, Elektrolyse, grüner Wasserstoff)

PEM-Elektrolyse hat sich für kleinere Anlagen etabliert

Einzelne
Elektrolysezellen...

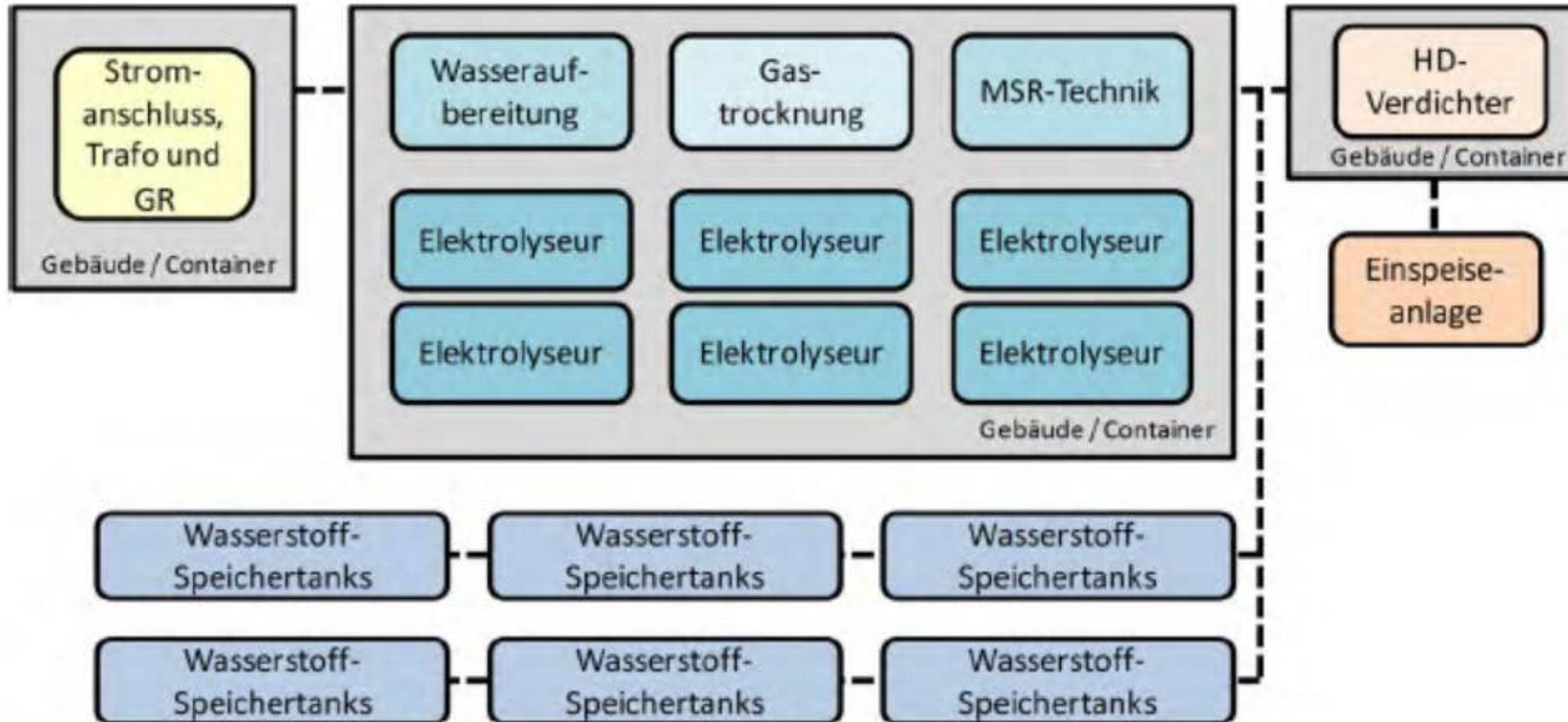
werden zu Stacks
kombiniert...

und in Elektrolyse-Anlagen eingebaut



- PEM (Proton Exchange Membrane-Elektrolyse) bietet bei kompakter Bauweise flexible Betriebsweise mit hoher Dynamik und Erzeugung hochreinen Wasserstoffs (99,999%) ohne aufwändige Nachreinigung
- Im Vergleich zur etablierteren Alkalischen Elektrolyse ist sie teurer und bisher nur in kleineren Einheiten verfügbar (40 ft-Container = 2 MW-Anlage)

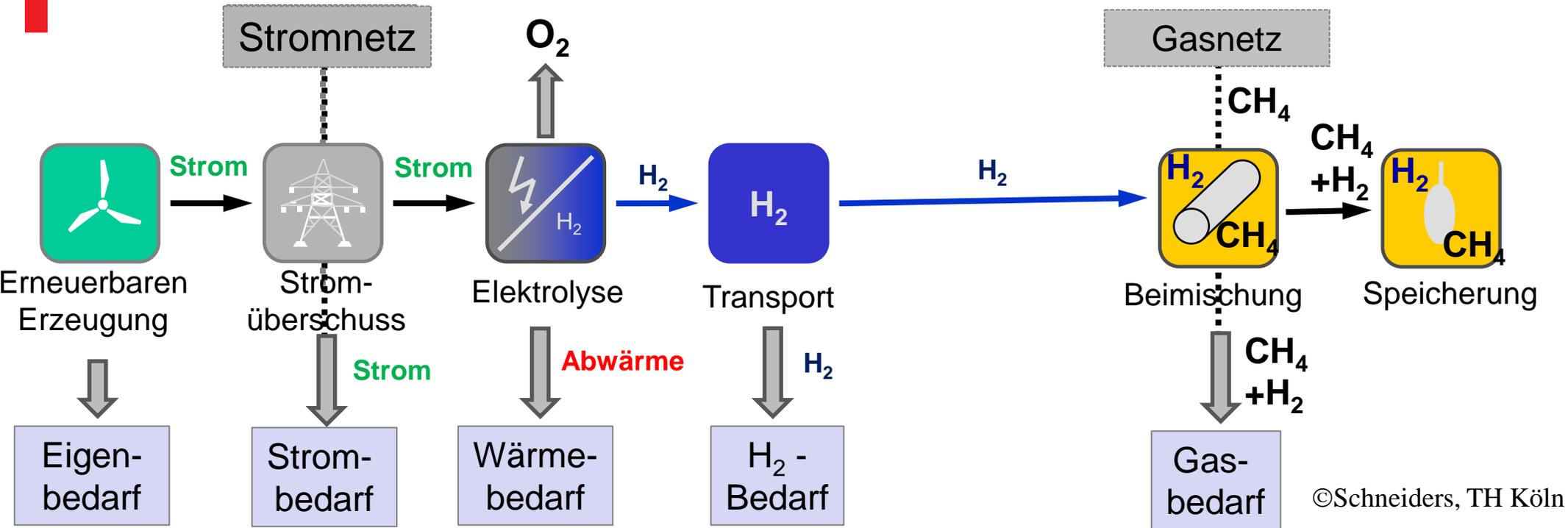
Mehr als nur Elektrolyse: PtG-Anlage mit H₂-Einspeisung



- PtG-Anlage beinhaltet neben Elektrolyse auch Wasseraufbereitung, H₂-Aufbereitung und H₂-Speicherung.
- Für die Einspeisung von H₂ ins Gasnetz ist das erforderliche Druckniveau wichtig, z.B. Transportnetz mit 70 bar erfordert H₂-Verdichtung (mit Kühlung)

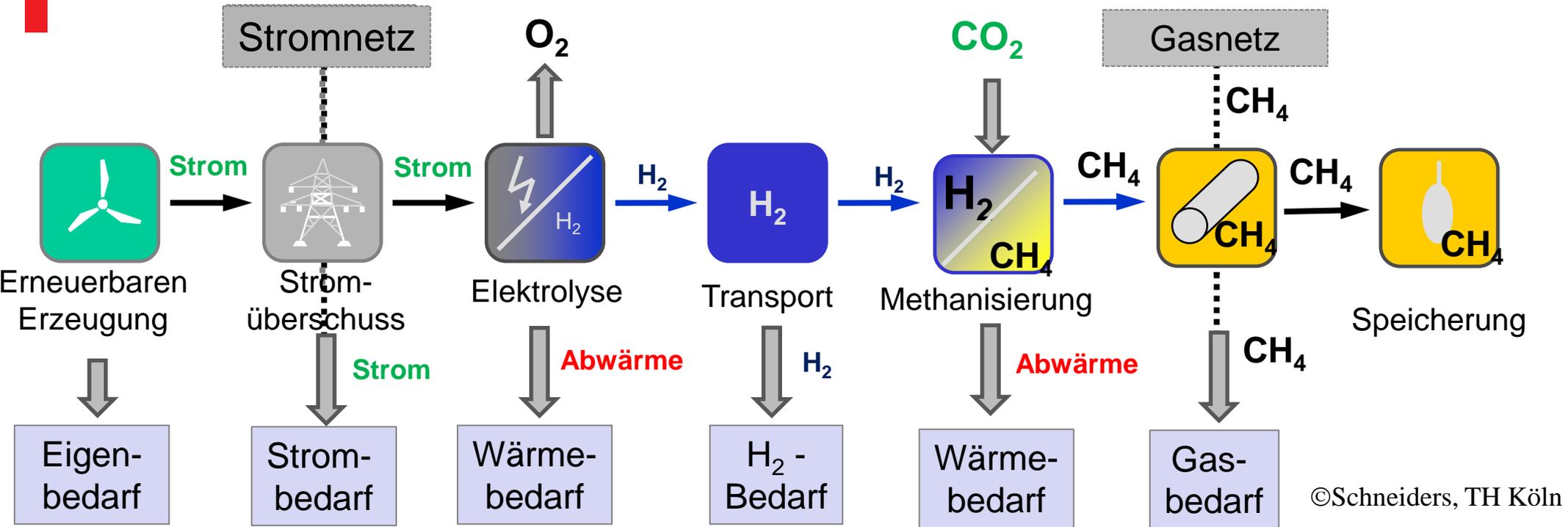


PtG Stufe 2: Injektion von Wasserstoff ins Gasnetz



- **Prozess:** H₂ wird durch Elektrolyse mit Überschussstrom aus Erneuerbaren Energien produziert und dann ins Gasnetz eingespeist (beigemischt)
- **Nutzung:** Nutzung des mit H₂-angereicherten Erdgases wie normales Erdgas
- **Herausforderungen:** Auswirkungen der Wasserstoffbeimischung auf die Infrastruktur und auf der Verbraucherseite

PtG Stufe 3: Methanisierung des Wasserstoffs (Power to Methane)

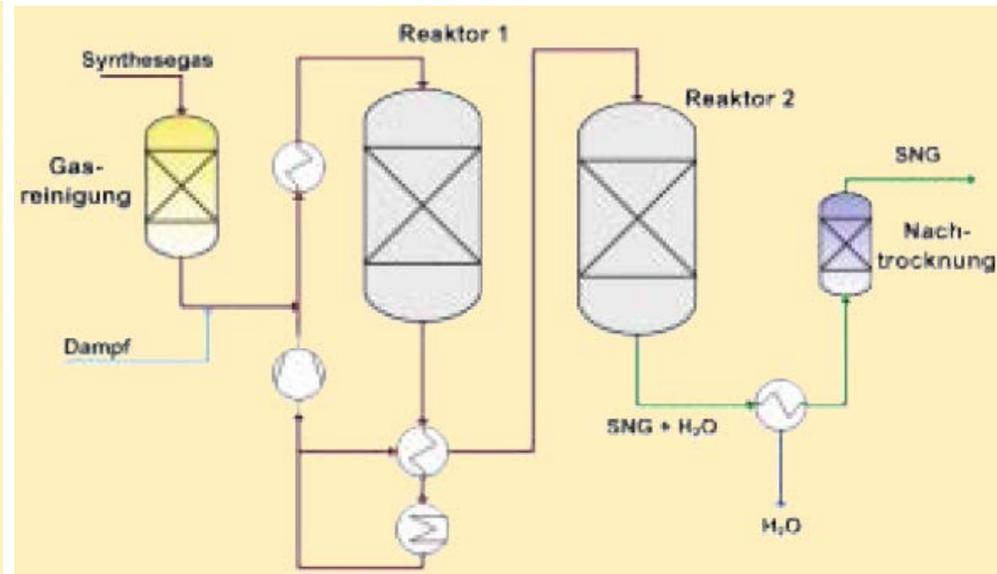
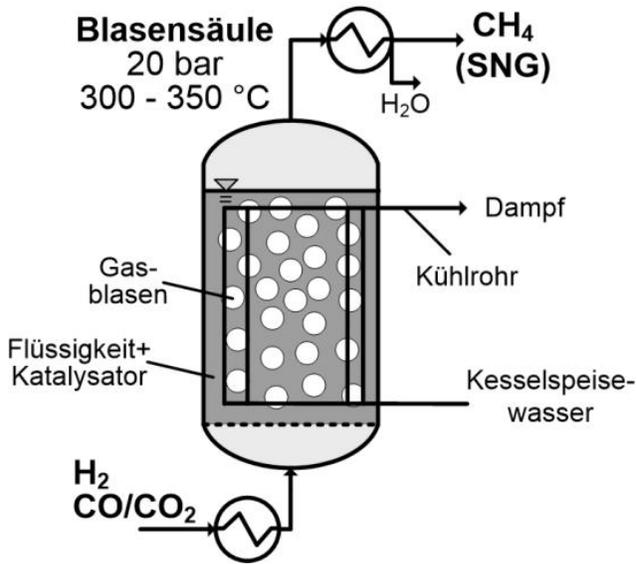


©Schneiders, TH Köln

- **Prozess:** H₂ wird in Methanisierungsprozess mit CO₂ zu CH₄ (SNG) umgewandelt
- **Nutzung:** CH₄ wird in das Gasnetz eingebracht und kann ohne weitere Einschränkungen wie normales Erdgas genutzt werden
- **Herausforderungen:** „grüne“ CO₂-Quelle, Umwandlungsverluste bei Methanisierung, Nutzung der Abwärme, Kosten der Methanisierung

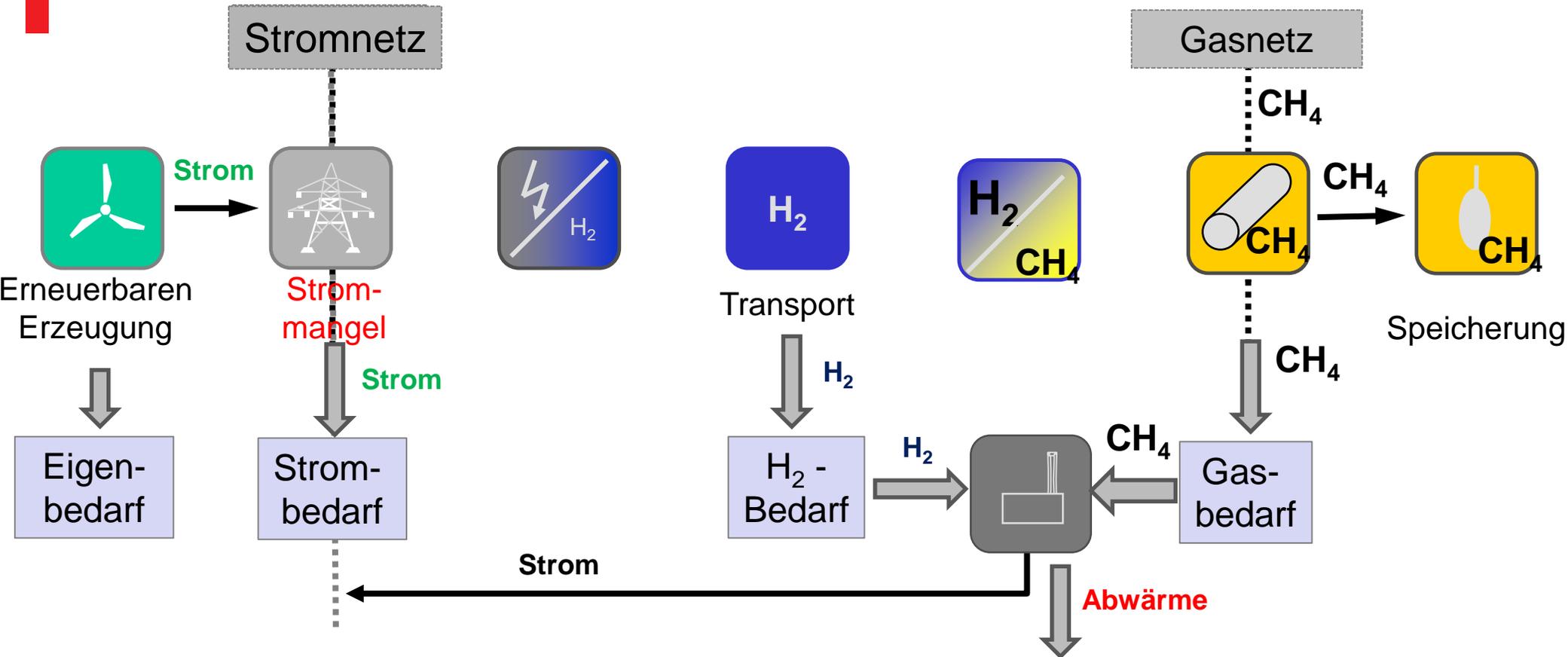
Methanisierung erfordert aufwändigen Systemaufbau

Methanisierung erfordert... aufwändigen verfahrenstechnischen Prozess mit Katalysatortürmen



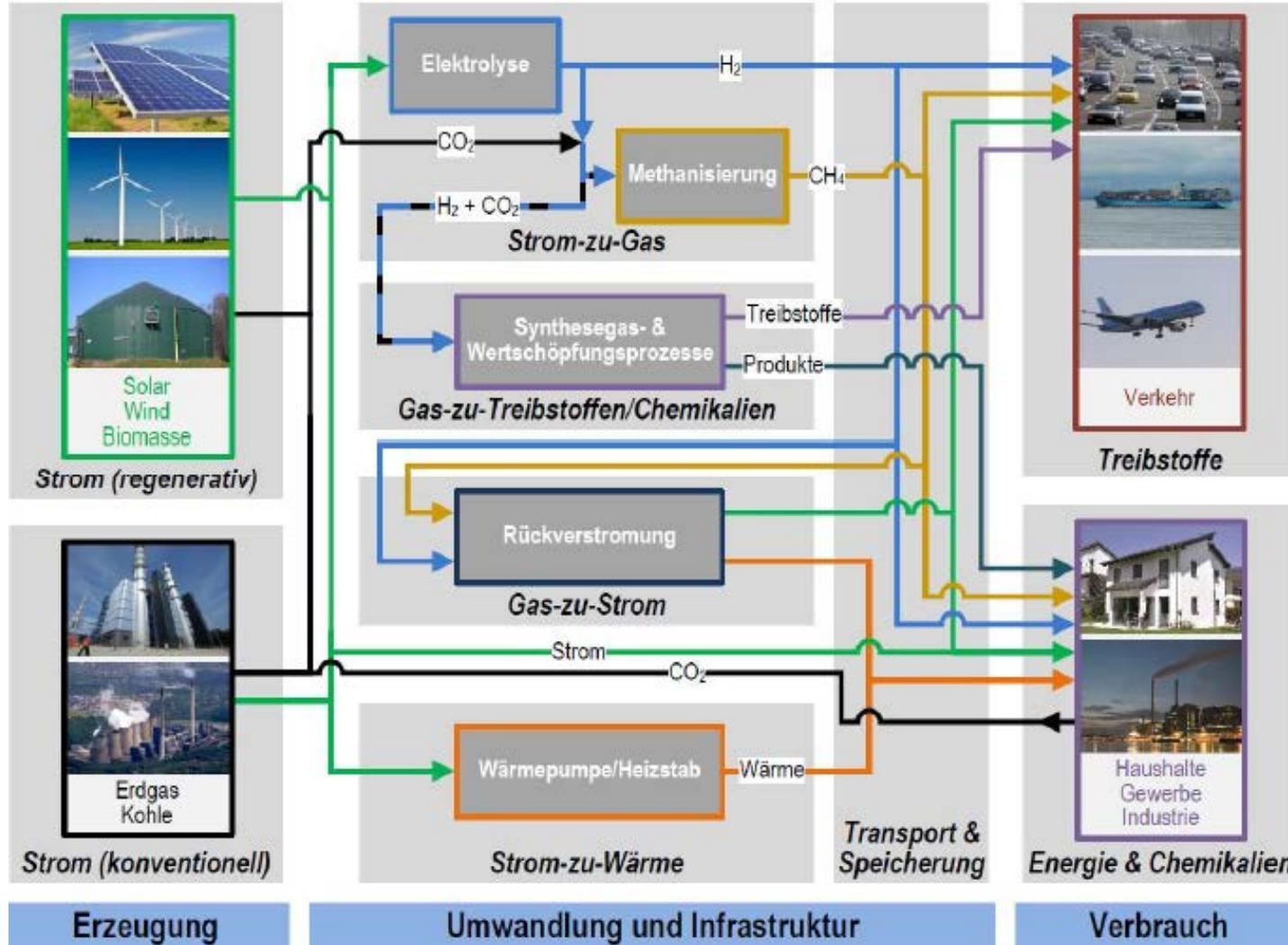
- Bestehende Anlagentechnik für die Methanisierung von Kohlegas ist auf neuen, dynamischeren Betrieb und die Nutzung von CO₂ anzupassen
- Neben der CO₂-Beschaffung besteht noch Verbesserungsbedarf bei Anlagentechnik, Kosten, Effizienz und dynamischen Fahrweise

PtG Stufe 4: Rückverstromung (Power to Gas to Power)



- **Prozess:** Bei Strommangel wird gespeichertes H_2 oder CH_4 für Erzeugung von Strom genutzt
- **Nutzung:** Gasturbinenkraftwerke / Brennstoffzellensysteme, Nutzung der Abwärme erhöht Gesamtwirkungsgrad
- **Herausforderungen:** Stromerzeugungskosten (geringe Nutzungsstunden), Umwandlungsverluste, Wärmenutzung

Vielfältige Prozesspfade führen zu Power to X



- Auf Erzeugerseite und Nutzerseite ergeben sich vielfältige Power to X-Pfade
- Grüner Wasserstoff ist auch Eingangsstoff in Industrie, chemischen Produkten und für alternative Treibstoffe
 - Power to Chemicals
 - Power to Liquids
 - Power to Fuels
- Der mögliche H₂-Produktpreis kann dabei je nach Konkurrenz stark variieren...



Fazit:

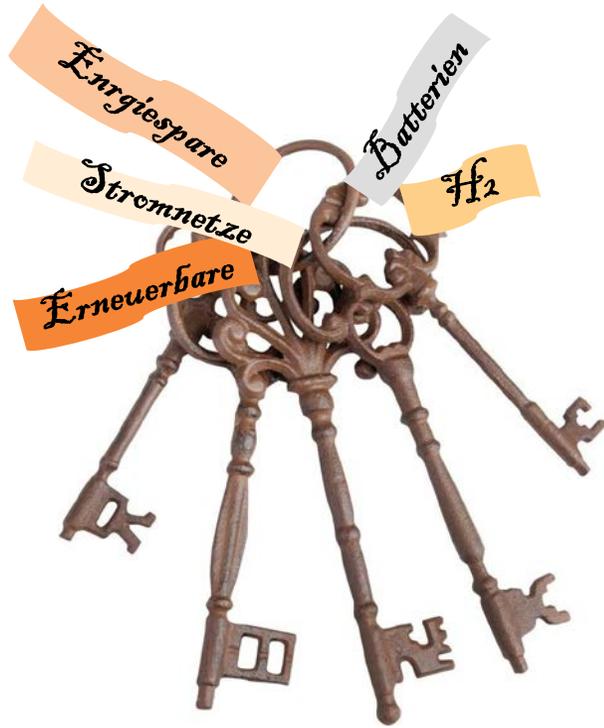
H_2 to go



- **Wasserstoff H₂ ist ein Multitalent** - er ermöglicht die Dekarbonisierung von Industrie, Mobilität, Wärme und ist „Enabler“ für saisonale Speicherung von EE-Stromüberschüssen
- **Große Hoffnungen ruhen auf Wasserstoff** – kommt jetzt der Durchbruch?
 - Strategien auf EU-, Bundes- und Länderebene, begleitet von immer mehr regionalen Initiativen
 - Umfangreiche Förderung für F&E soll Technologien vorantreiben und Kosten senken
- **Power to Gas** ermöglicht Kopplung von Strom und Gassektor und so Zugang zu Gasspeichern
 - Elektrolyse von grünem Strom produziert grünen Wasserstoff oder sogar grünes Methan
 - Gut ausgebaute Gasinfrastruktur lockt mit riesigen Speichervolumina von bis zu 250 TWh
- Die **Nachfrage nach grünem Wasserstoff wächst**, und damit auch der Bedarf nach EE-Strom
 - Kommt das gespeicherte Gas dann überhaupt wieder zurück in den Stromsektor?
 - In Zukunft wird Wasserstoff eine wichtige Rolle in Energiewende und Klimaschutz spielen

Wasserstoff – ist EINE Lösung für unsere Energieprobleme!

Energie



Vielen Dank!



Prof. Dr. Thorsten Schneiders

Professor für Energiespeicherung

Leiter des Virtuellen Instituts Smart Energy

TH Köln

Betzdorfer Str. 2

50679 Köln

T +49 221 8275 2335

M +49 160 938 16530

thorsten.schneiders@th-koeln.de