

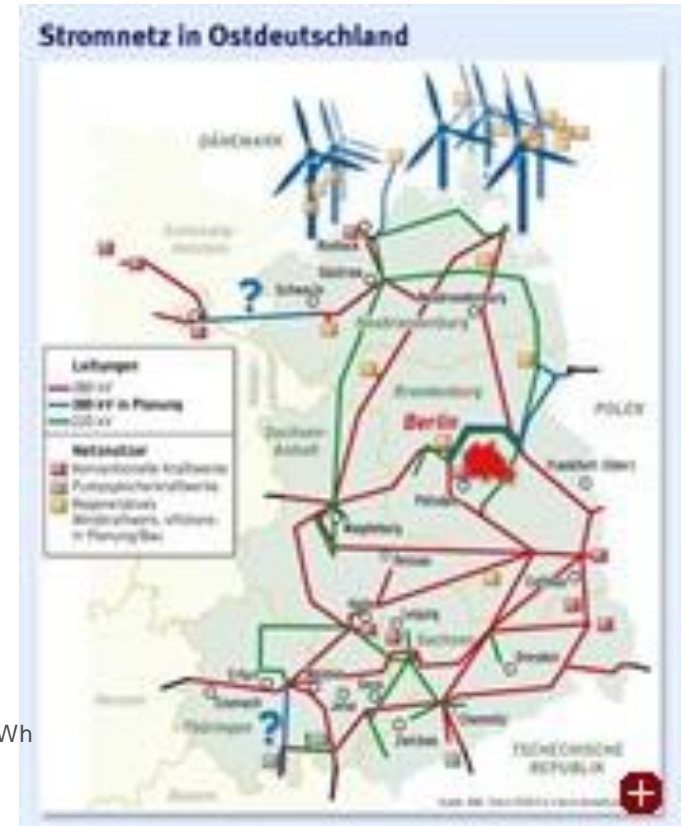
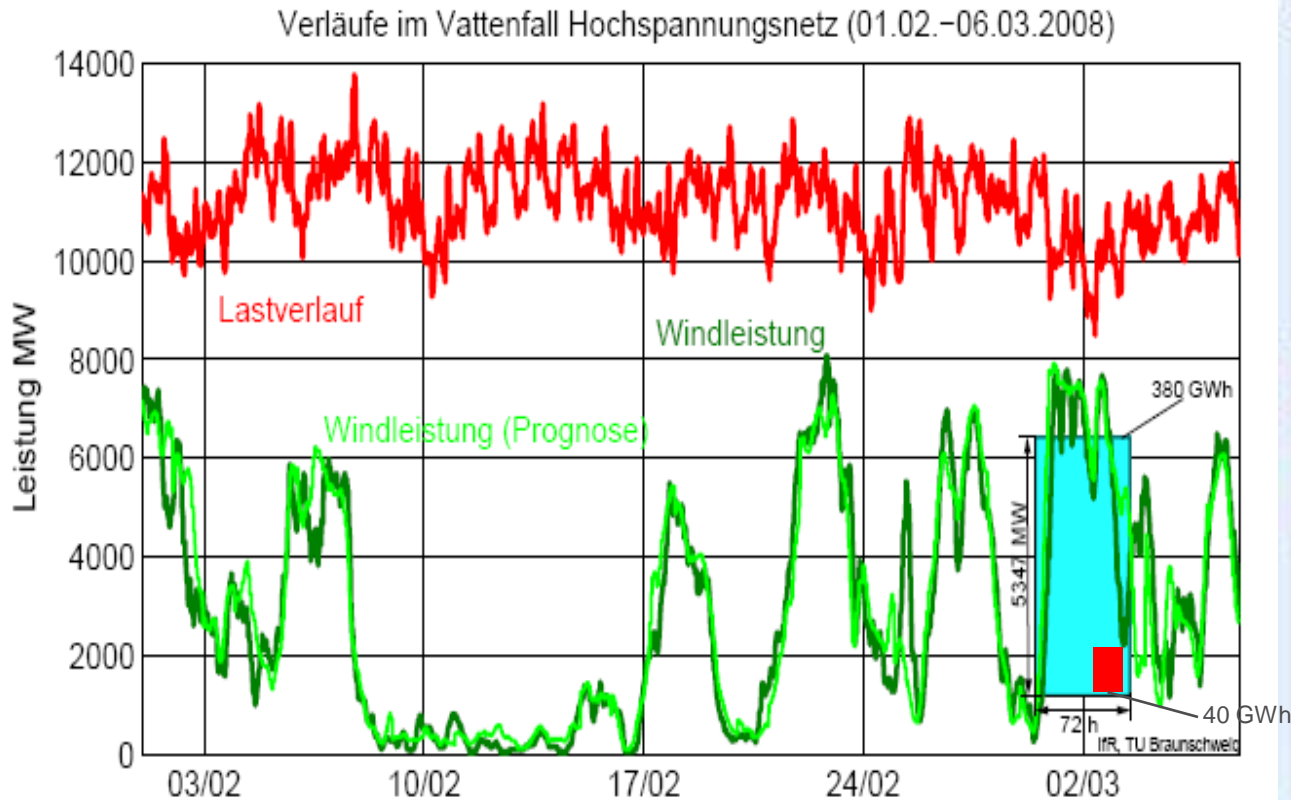
SMART
ENERGY
CONVERSION



SolarFuel GmbH – Stephan Rieke: Energiespeicherung durch synthetisches Erdgas und Biomethan

Leibnitz Institut; 12.5.2011

Speicherherausforderungen an existierende Speicherstruktur durch Windeinspeisungen 50Hz Transmission (D: Gesamt-Stromspeicherkapazität :40 GWh (ca.7.000 MW,6h)



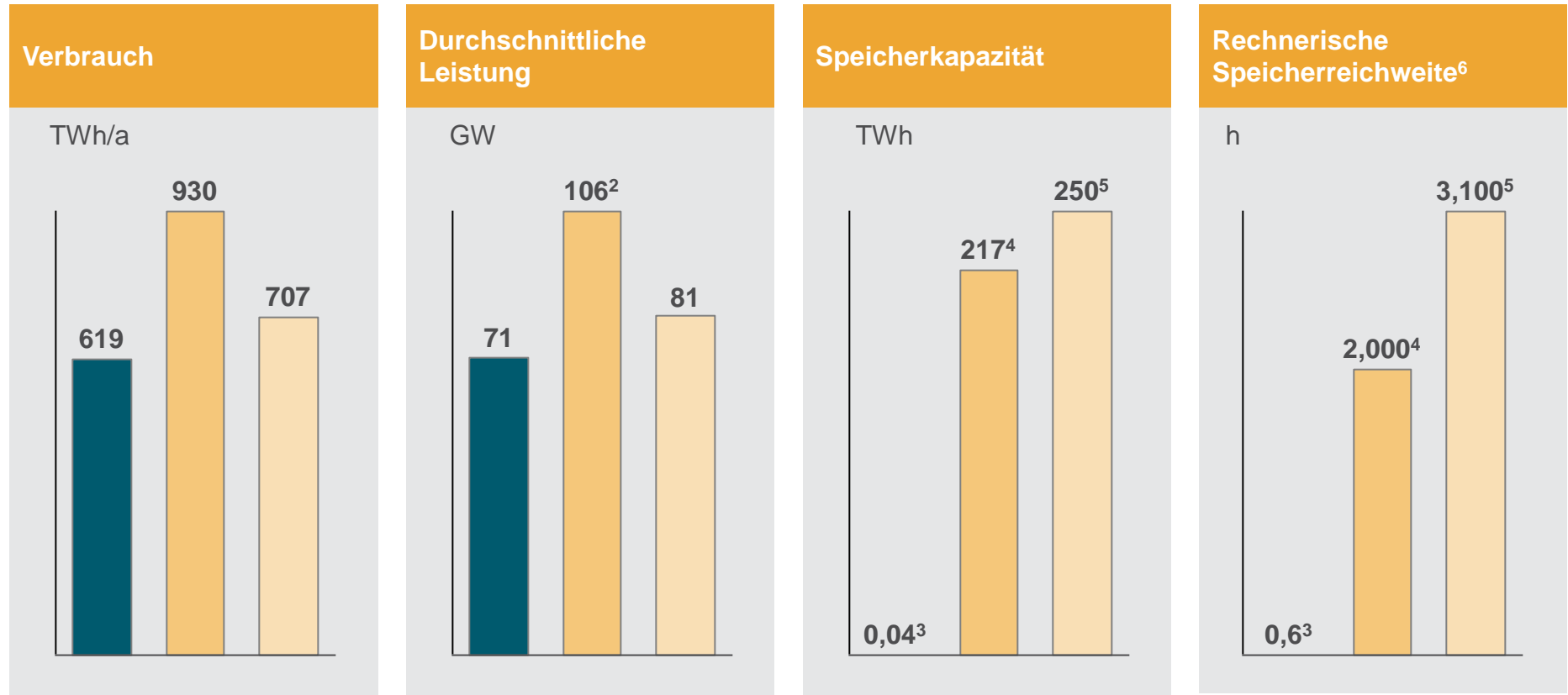
2011: Installierte Windkapazität ca. 12 GW in 50 Hz Transmission Zone

Abschaltung von ca. 3 GW Windkapazität in extremen Zeiträumen,

These: Jede Nutzung besser als 100% Nichtnutzung/Abschaltung, Was ist, wenn Pumpspeicher nach ca. 6-8 h überlaufen?

Die rechnerische Speicherreichweite des Erdgasnetzes liegt bei 2000 Stunden, die des Stromnetzes bei 0,6 Stunden

Energieverbrauch und Speicherkapazitäten Deutschland, 2008



■ Strom
 ■ Erdgas
 ■ Flüssigkraftstoff¹

1) Benzin, Diesel, Kerosin 2) Jahreszeitlich stark schwankend 3) Pumpspeicherkraftwerke 4) 46 Untertage Gasspeicher / zzgl. 72 TWh in Bau / Planung 5.) Bevorratung an Benzin, Diesel, Kerosin und Heizöl EL 6.) Bezogen auf die durchschnittliche Leistung

Quelle: ZSW

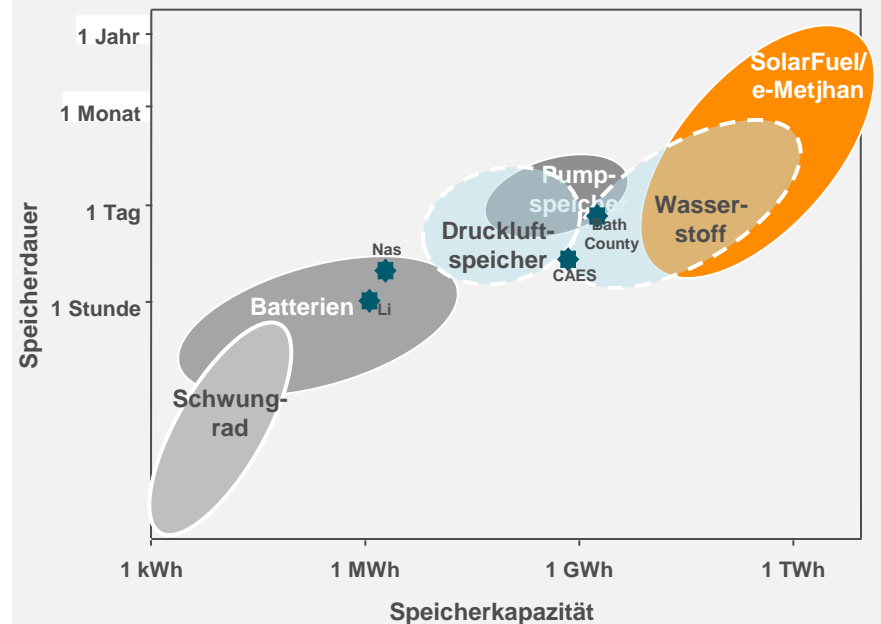
Vollversorgung mit Ökostrom setzt große Speicherkapazität und lange Speicherdauer voraus

Herausforderung – Speicherkapazitäten aufbauen

Erneuerbare Energien fallen un stetig an

- Wind- und Sonnenenergie fallen stark fluktuierend an, die Schwankungen werden durch Naturphänomene verursacht, die nicht beeinflussbar sind
- Trotzdem müssen EE jederzeit und überall zur Verfügung stehen, das Kernproblem ist somit die Speicherung, große Energiemengen müssen zum Zeitpunkt der Ernte eingelagert werden, um bei Bedarf stetig und gesichert abrufbar zu sein
- Im heutigen Energiesystem wird das durch Lagerung fossiler Energieträger gelöst
- Die Bevorratung liegt in einem Bereich, der dem Verbrauch mehrerer Monaten entspricht.
- Dies gilt jedoch nicht für Strom
 - Erzeugung und Verbrauch müssen zeitgleich erfolgen
 - Die heute vorhandene Stromspeicherkapazität in Deutschland beträgt nur 0,04 Terrawattstunden, rein rechnerisch der Strombedarf von weniger als einer Stunde

SolarFuel ermöglicht saisonale Speicherung im Terrawattstundenbereich



SolarFuel erschließt das existierende Erdgasnetz mit einer Kapazität in Deutschland von >220 TWh zur Speicherung von Energie aus Wind und Sonne

Speicherbedarf zur Integration EE lt. Studien

Speicherbedarf:

TU Dortmund	2,2 TWh, 18,5 GW/ 5 Tage Flaute. BMU 2008
Forwind Oldenburg:	19% des Strombedarfs (618 TWh, 2010)
Siemens(Hoffmann)/IWES:	2 – 8% des Stromverbrauchs Europa
BCG 2010:	26 GW (2025)
IEA:	10 -20% der fluktuierenden Stromproduktion 2030/120 GWneu Europa
IWES:	30 TWh (100 EE, Modell Kupferplatte Stromverteilung o. Netzrestriktion)

Vorhandene Speicherkapazität im deutschen Stromsystem:	0,04 TWh
Druckluftspeicherkraftwerk Huntorf (CAES):	0.001 TWh, 4 h Entladezeit
Pumpspeicherkraftwerk (PSW) Goldisthal:	0,01 TWh/5,5 km ² /8 h Entladezeit
Speicherkapazität dt. Erdgasnetz (round trip):	> 130 TWh Unterirdische Kavernen
Autobatterie (Starterbatterie):	0,850 kWh
30 Mio Autobatterien:	0,0255 TWh (PSW Bath County,USA)
45 bzw. 1 Mio Elektrofahrzeuge (10 kWhel):	0,45 /0,01 TWh
Flächenbedarf an PSW lt. Speicherkapazität Erdgasnetz:	66.000 km ² Fläche, wenn PSW Goldisthal unterstellt wird

Speicherkapazität Norwegen:

Ca. 82 TWhel/29,5 GW installierte Wasserkraftwerkskapazität (Lauf-/Talsperrenkraftwerke, ca.1 GW PSW, 2010)
Umnutzungspotenzial auf PSW: 10- 25 GW

Adressiertes offshore Windkraftpotenzial Norwegen/Schweden:

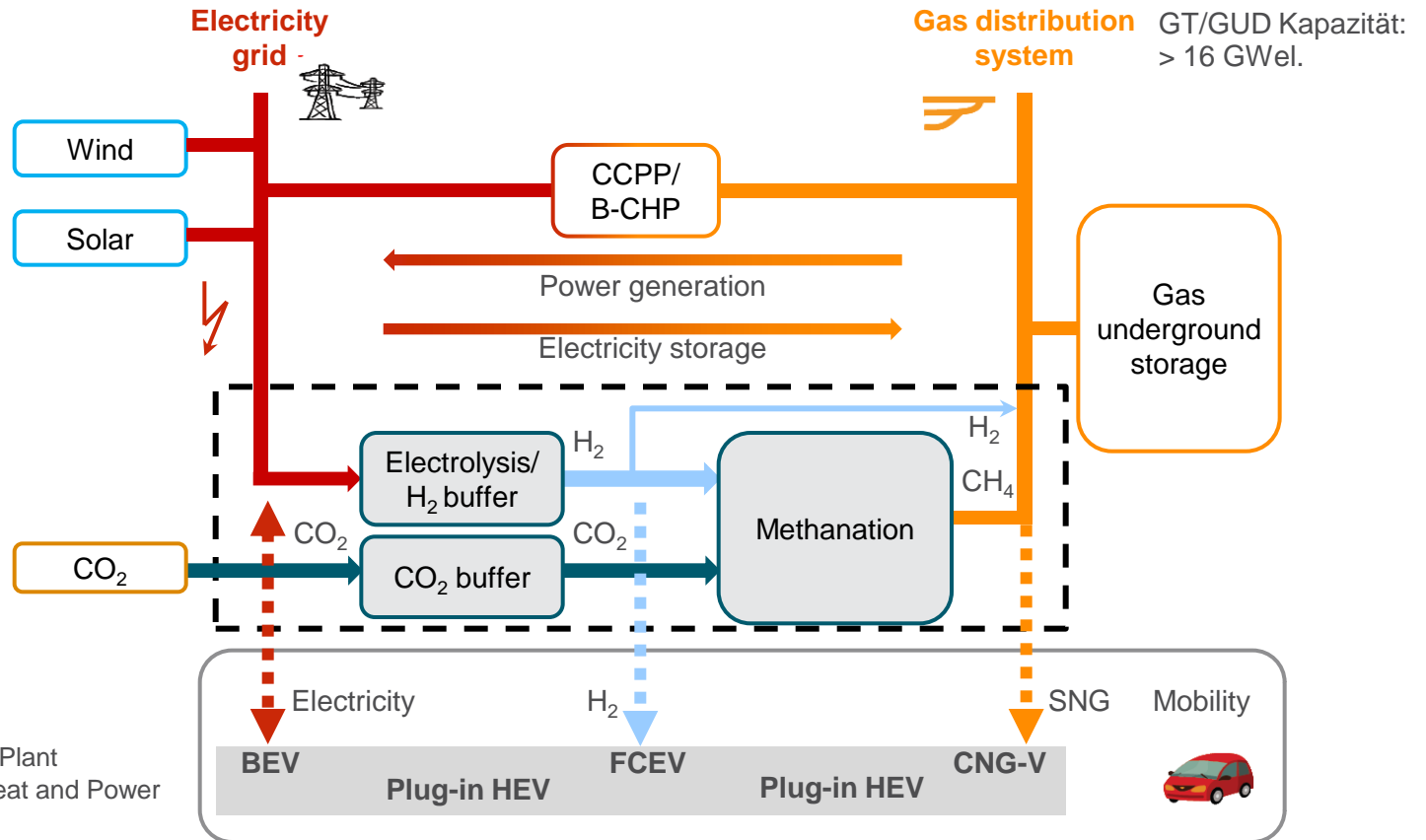
17 GW Wind offshore vereinbart
65 GW Wind offshore in Planung

Speicherauswahlkriterien: E-Methan als chem. Energiespeicher

- **These: Es gibt nicht den Speicher für alle Anwendungen**
- Ziel: Optimierung unter Wahrung aller Randbedingungen führt zu einem Kompromiss des Lösungsansatzes an Speichersystem
- **Mögliche Kriterien für Speichersysteme aus Sicht Integration erneuerbare Energien:**
 - Entlade-/Aufladeleistung Speicher
 - Einspeicher-/Auspeicher-/Haltedauer mit Ausrichtung Kurz-/Mittel-/Langzeitspeichernotwendigkeit (h,d,m)
 - Kosten (volumetrisch, gravimetrisch System)
 - Speichervermögen -/ausnutzung (Kaverne oder lokal)
 - Umwandlungswirkungsgrad Strom-Strom oder Strom/(Strom+Wärme) mit Energienutzungsvektor (Mobilität, Wärme, chem. Werkstoff) als Option
 - Integrations-/Umsetzungs-/Realisierungspotenzial, Restriktionen (geographisch, Öffentlichkeit, technisch etc.)
 - Zeitdauer bis zur Umsetzung

SolarFuel verknüpft bidirektional das existierende Strom- und Gasnetz und erschließt die Nutzung von EE in der Mobilität

Übersicht: räumliche, zeitliche Entkopplung von hohen Leistungsflüssen dezentral aus der Fläche



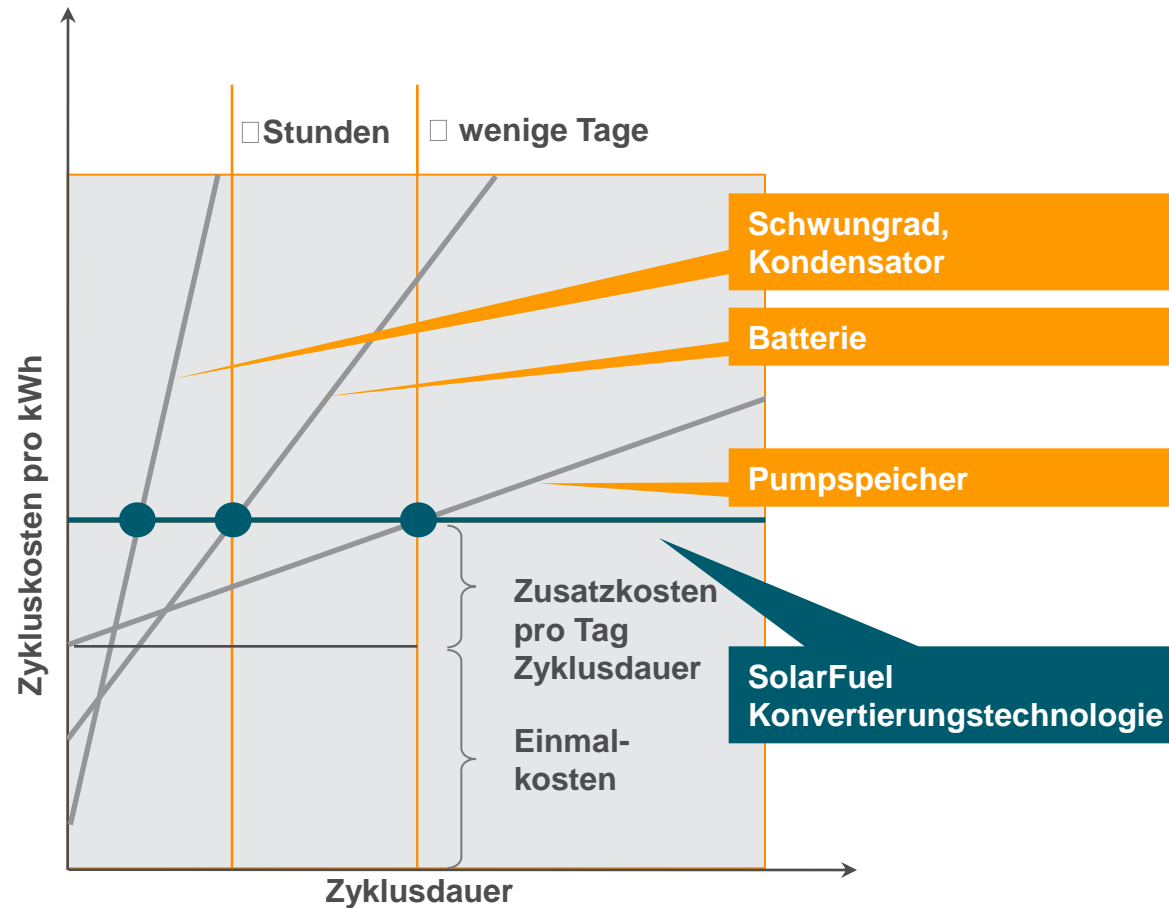
- CCPP: Combined Cycle Power Plant
- B-CHP: Block-type Combined Heat and Power Station
- BEV: Battery Electric Vehicle
- FCEV: Fuel Cell Electric Vehicle
- CNG-V: Compressed Natural Gas Vehicle
- Plug-in HEV: Plug-In Hybrid Electric Vehicle

Speicherauswahlkriterien: E-Methan als chem. Energiespeicher

- **These: Es gibt nicht den Speicher für alle Anwendungen**
- Ziel: Optimierung unter Wahrung aller Randbedingungen führt zu einem Kompromiss des Lösungsansatzes an Speichersystem
- **Mögliche Kriterien für Speichersysteme aus Sicht SolarFuel:**
 - Ein-/Ausspeicherleistung
 - Kosten (volumetrisch, gravimetrisch System)
 - Speichervermögen -/ausnutzung (Kaverne oder lokal)
 - Ausrichtung Kurz-/Mittel-/Langzeitspeichernotwendigkeit
 - Umwandlungswirkungsgrad Strom-Strom oder Energienutzungsvektor (Mobilität, Wärme, chem. Werkstoff bezogen)
 - Einspeicher-/Ausspeicher-/Haltedauer
 - Integrations-/Umsetzungs-/Realisierungspotenzial, Restriktionen (geographisch, Öffentlichkeit, technisch etc.)
 - Zeitdauer bis zur Umsetzung

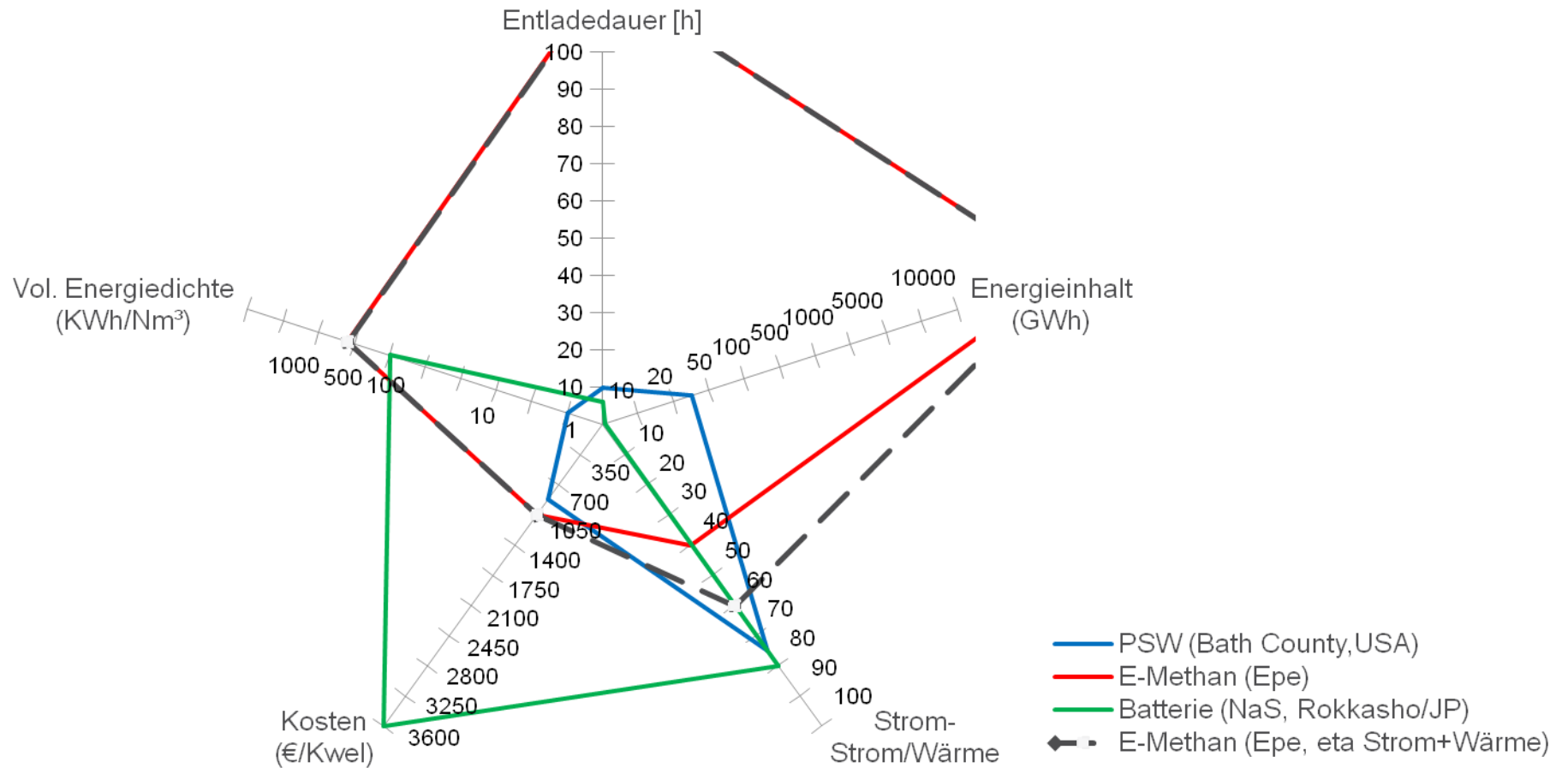
Anforderungsanalyse an Langzeitspeicher im Stromnetz zeigt, dass die SolarFuel Konvertierungstechnologie existierende Systemen zur Stromspeicherung ergänzt

Vorteil SolarFuel im Vergleich bestehende Speichersysteme



Quelle: SolarFuel

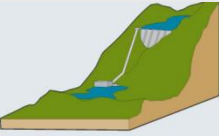


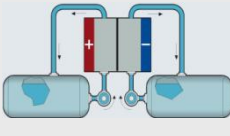
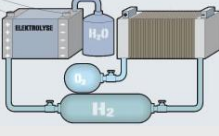


Bewertung von Speichertechnologien: Kein Vorteil ohne Nachteil



Das Diagramm zeigt das Verhältniss der einzelnen Eigenschaften

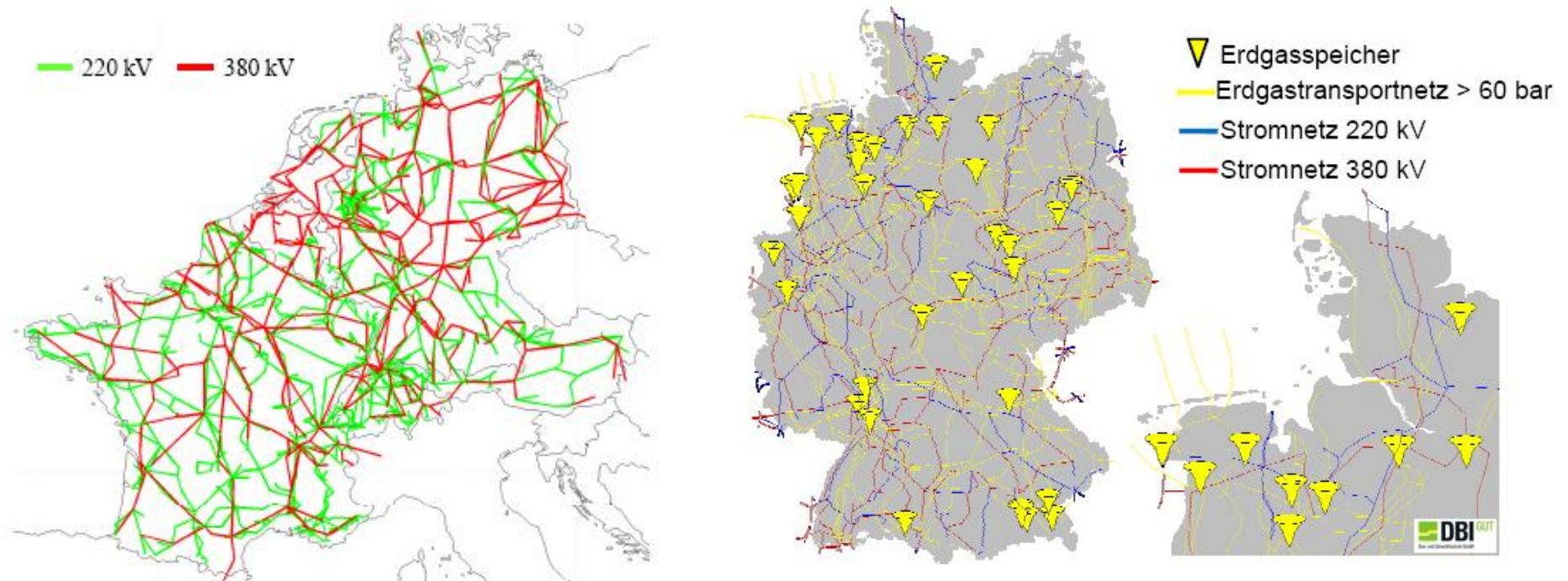
Systemkriterien für Speicherbewertungsmatrix

Einordnung nach weiteren Kriterien

	Pumpspeicher	Druckluftspeicher	Akkus	Redox-Flow-Zelle	Wasserstoff	Erneuerbares Methan	Elektroauto
							
Ausspeicher Dauer / (Überbrückungszeitraum für EE anteil = 0)	< 6- 10 h in Zentraleuropa	< 6 h in Europa, Wärmespeicherung AA CAES zeitlich begrenzt	NaS: < 6 h, Lithium: < 2-3 h	6 - 10 h	Tage/Wochen/Monate	Tage/Wochen/Monate	< 2 h
Ausnutzung Speichervolumen (round trip)	Ca. 1 kWh/Nm ³ (300 m Fallhöhe)	>3 kWh/nm ³	Lithium: 200- 300 kWh/m ³	Auslegung Kapazität/Leistung freiskalierbar,	180 kWh/Nm ³	>540 kWh/Nm ³	Lithium:200 – 300 kWh/m ³
Haltekosten Energiespeicher	gering	mittel	hoch	hoch	Sehr gering in Kavernen	Äußerst gering in Kavernen	mittel
Kosten Euro pro kWh	900 – 1200 (Projekt spez.)	ca. 1200	NaS: >4.000 Lithium: > 100 – 200 ? ,heute > 1000	> 8.0000 2010, ?:<3.000	<? , Elektrolyseur, Kaverne,Wasserstoffnetzinfrastruktur, Tankstelle	Ziel: < 1.000 (2014), Beta: 2400 (2012)	Mobilität: >
Systemintegrations	Bekannt im Stromsystem, kurzfristiger Prognoseausgleich, Regelenergie	Bekannt im Stromsystem, kurzfristiger Prognoseausgleich, Regelenergie	Bekannt im Stromsystem als dynam. Kurzzeitspeicher/Regelenergiemarkt	Bekannt im Stromsystem, Stundenspeicher	Aufbau neuer Verteil-/Verbrauchsinfrastruktur/limitierte Integration Erdgasnetz, Mobilität ?	Hohe, sofortige Integrationsmöglichkeit im Gasnetz möglich, Mobilität,Heizenergie	Aufbau neuer Infrastruktur Technik/Vertriebsmodelle Leistungsspeicher,Regelenergie

Quelle: Nach Wirtschaftswoche Nr. 27, 05.07.20107/SolarFuel/VDE_EGT

Komplementäre Einsatz der Transportnetze Gas - Strom



Das Erdgastransportnetz in D mit Speicherinfrastruktur (HD-Leitung: >100.000 km, MD-Ltg.: > 140.000 km, Speicherkapazität: ca. 220 TWh in 2011, Ziel : 300 TWh) kann Stromtransportnetz (ca. 36.000 km, >220 kV, ca. 75.000 km/110 kV) ergänzen.

Konvergenz von Gastransportnetz mit Stromnetz inkl. Speicherpfad in Untersuchung (Studie SolarFuel et.al.)

SolarFuel: Stephan Riekert

Vergleich Transportkapazitätsleistungen Gastransportleitg.-Freileitung-Erdkabel

Ferngastransportleitung:

D = 0,81 m, P_{therm} = 12,5 GW
D = 1,05 m, P_{therm} = 18,26 GW
D = 1,25 m, P_{therm} = 28,56 GW
(Cerbe)

- **Unterirdische Verlegung,**
- **Nahezu keine Flächenbeanspruchung**
- **Speichereffekt Transportnetz als add on Nutzen**
- **Vorhanden**



RAG

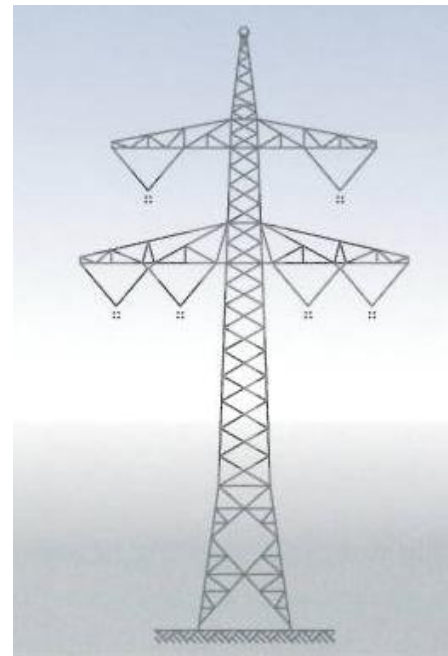
SolarFuel: Stephan Riekert

Höchstspannung Freileitung

Pelekt. = 2 * 1,8 GW

Mastenhöhe: 50 -100 m, Schienenbreite: 100m

Ausbaubedarf /Investitionsbedarf lt. DENA: >10 Mrd. Euro je nach Variante
Infrastrukturumsetzung öffentlich umstritten



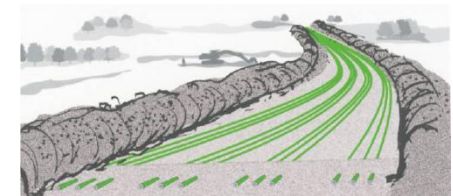
Tennet:

Erdkabel

Pelektr.= 4 * 3`er System (bis zu je 0,5 -1 GW)

Schienenbreite: 15 m

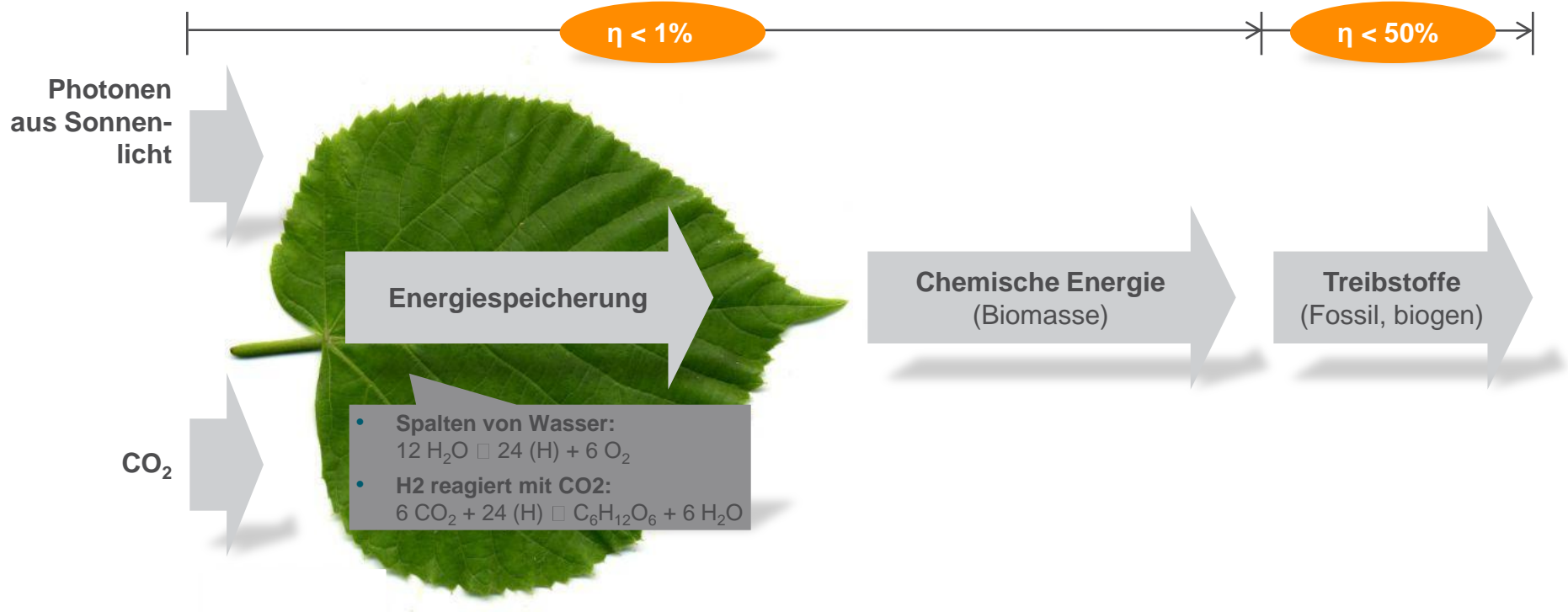
Investitionsbedarf: spez. höher als Freileitung
Infrastrukturumsetzung versus Kosten



Tennet:

Bei der Herstellung von Treibstoffen aus Sonnenenergie ist die Natur der Benchmark für SolarFuel

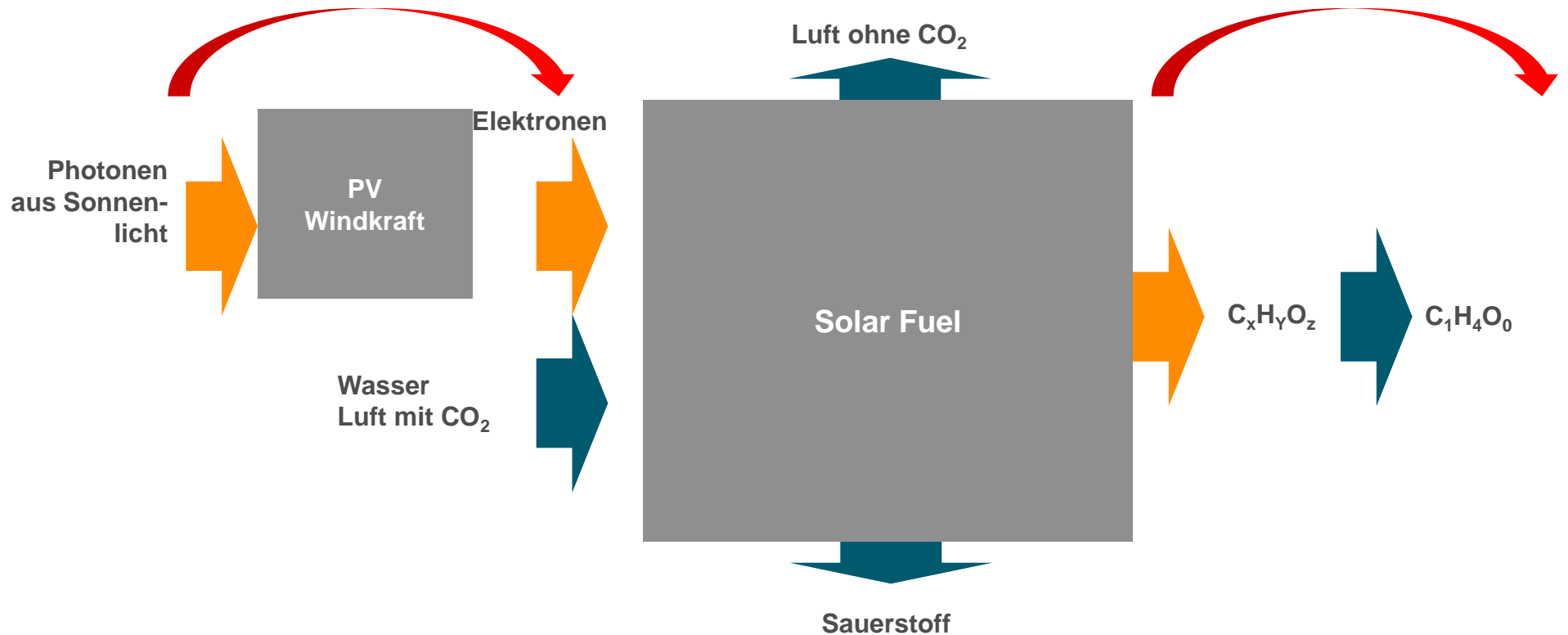
Photon-to-fuel Prozess



Der Wirkungsgrad $\eta_{\text{Photon-to-fuel}}$ bei Verwendung von Biomasse zur Treibstoffherzeugung ist kleiner als $\eta = 0,5$ Prozent

Elektronen statt Photonen liefert Elektronen für chemische Reaktion und bringt zwei entscheidende Vorteile – Effizienz und vielfältige Quellen

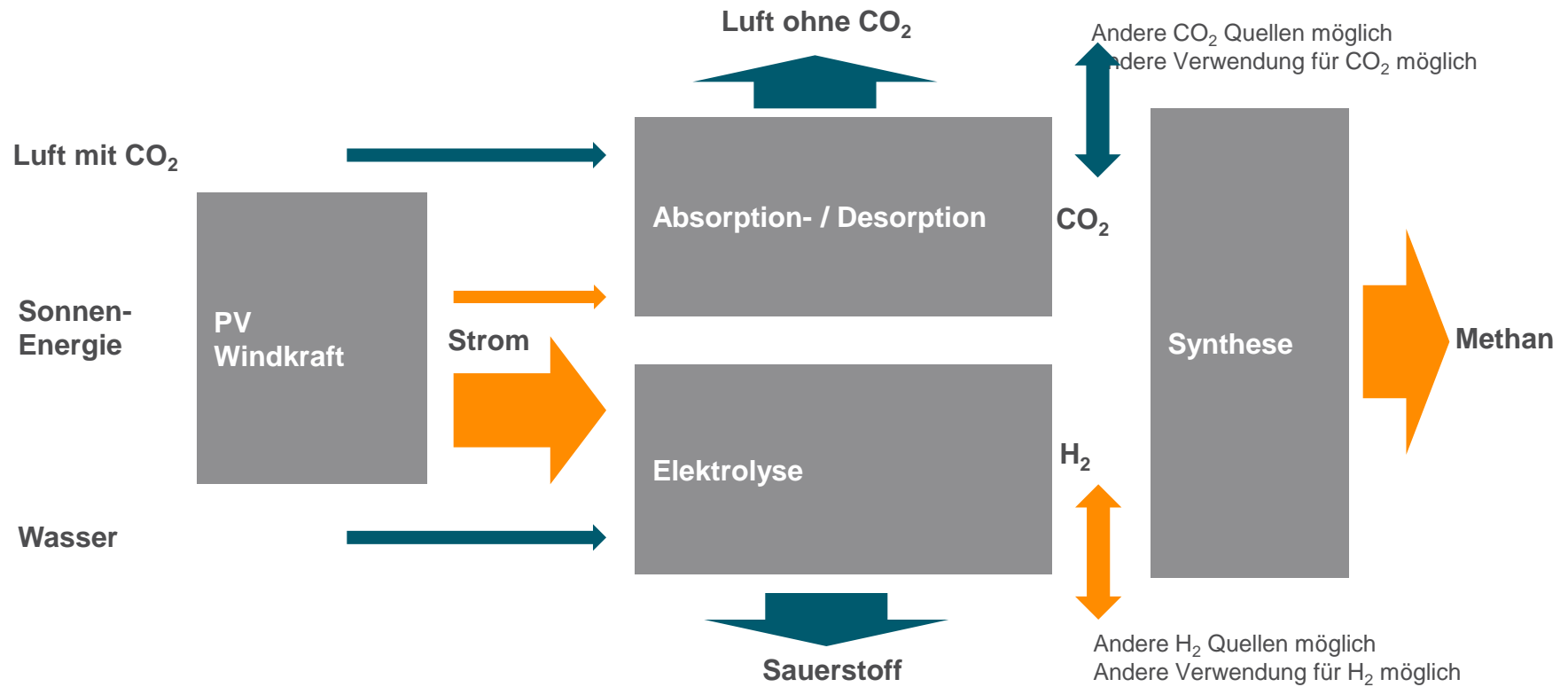
Die SolarFuel Technologie als Blackbox



Die konsequente Analyse möglicher Verfahren zeigt optimale Systemgrenzen: $x=1, y=4, z=0$

Eine Absorption/elektrochemische Desorption, die Reduktion von H_2O zu H_2 und anschließende Reduktion von CO_2 durch Hydrierung ist die beste Lösung

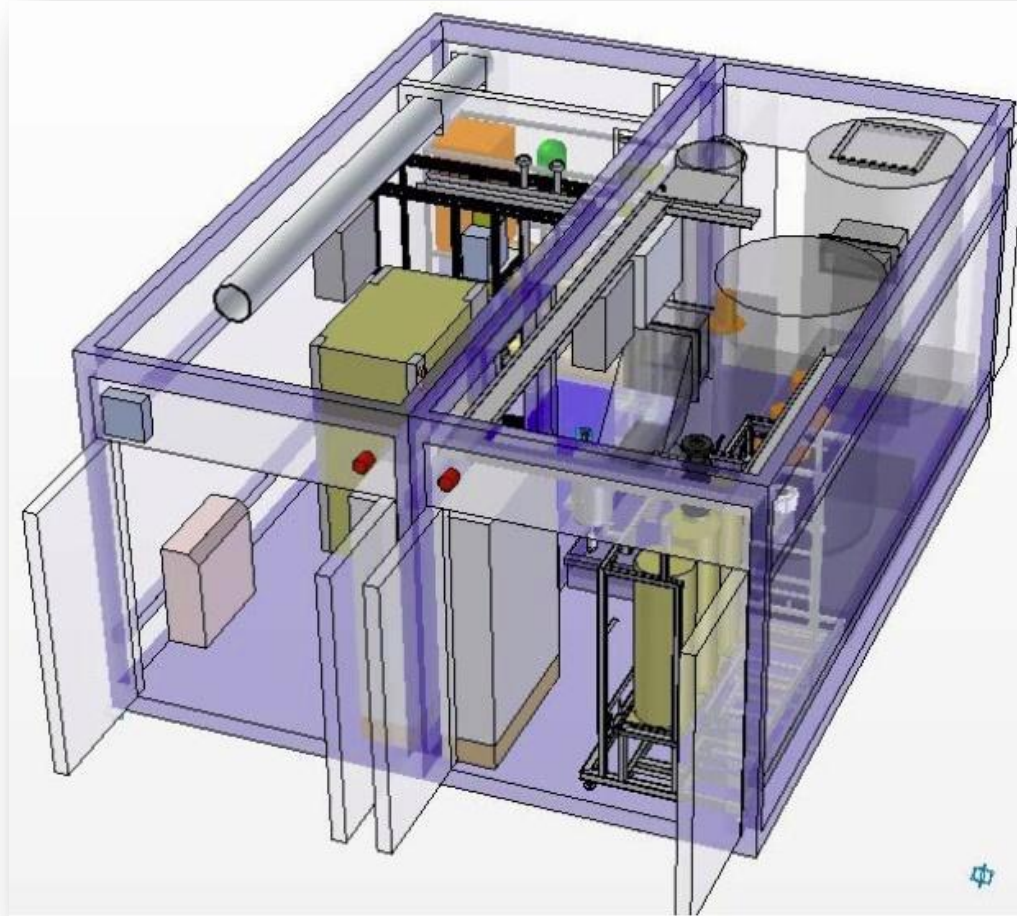
Ergebnis detaillierter Bewertung



Die konsequente Analyse möglicher Verfahren zeigt optimale Prozessführung

Die SolarFuel α -Anlage realisiert den Gesamtprozess im 25 kW Maßstab – damit ist der Machbarkeitsnachweis erbracht

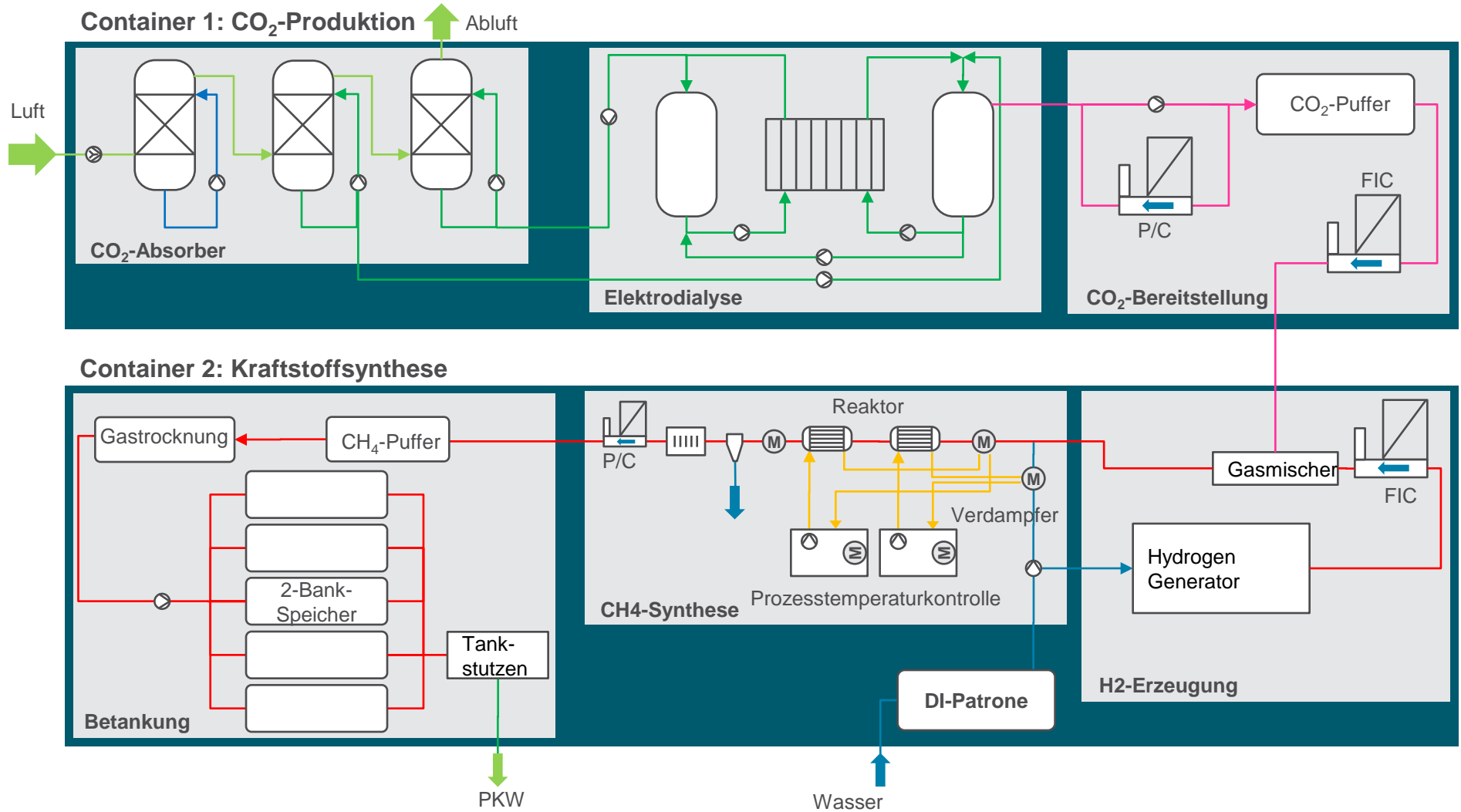
Röntgenbild α -Anlage



Quelle: SolarFuel

Die α -Anlage erzeugt in zwei Containern ein normgerechtes, synthetisches Erdgas nach DVGW G260/262 und DIN 51624 N

Verfahrensschema

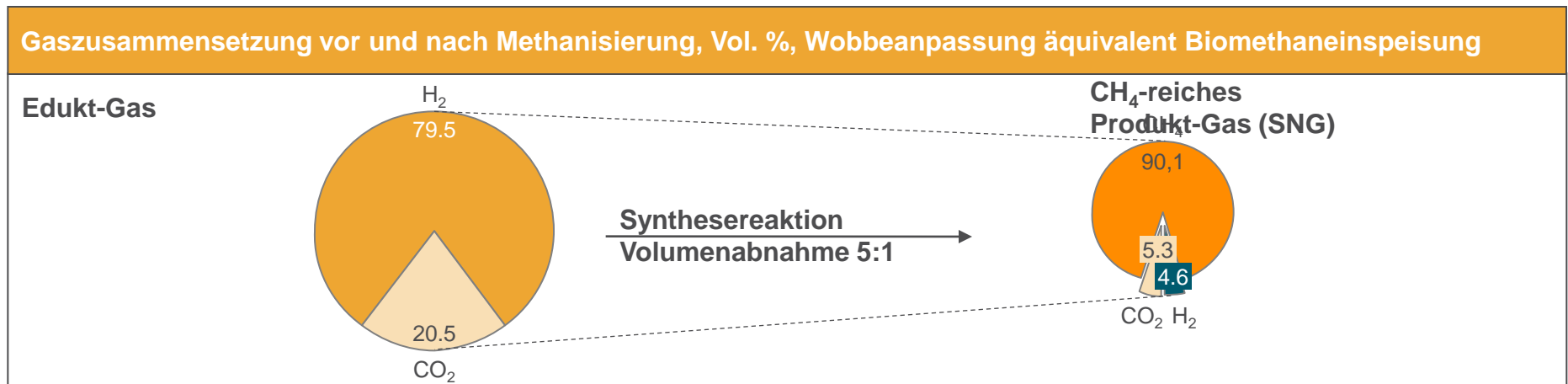
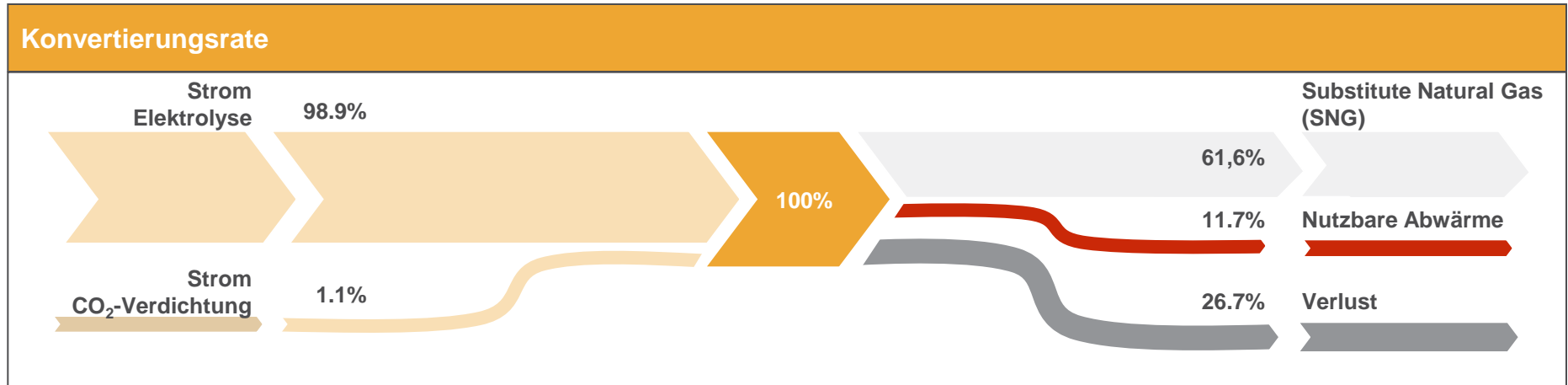


Mobilitätsanwendung der „Wind to Gas“ Demonstrationsanlage Stuttgart



Anwendung von **“Windstrom im Gastank”** mit Serienerdgasfahrzeugtechnik: heute anwendbar

Die Konvertierungsrate der γ -Anlage liegt bei >60 Prozent, das erzeugte Erdgassubstitut ist direkt einspeisefähig sowie ein handelbares Produkt
 Konvertierungsrate und Vergleich Gaszusammensetzung in Vol. %, G262, DIN 51624 konform



Quelle: SolarFuel

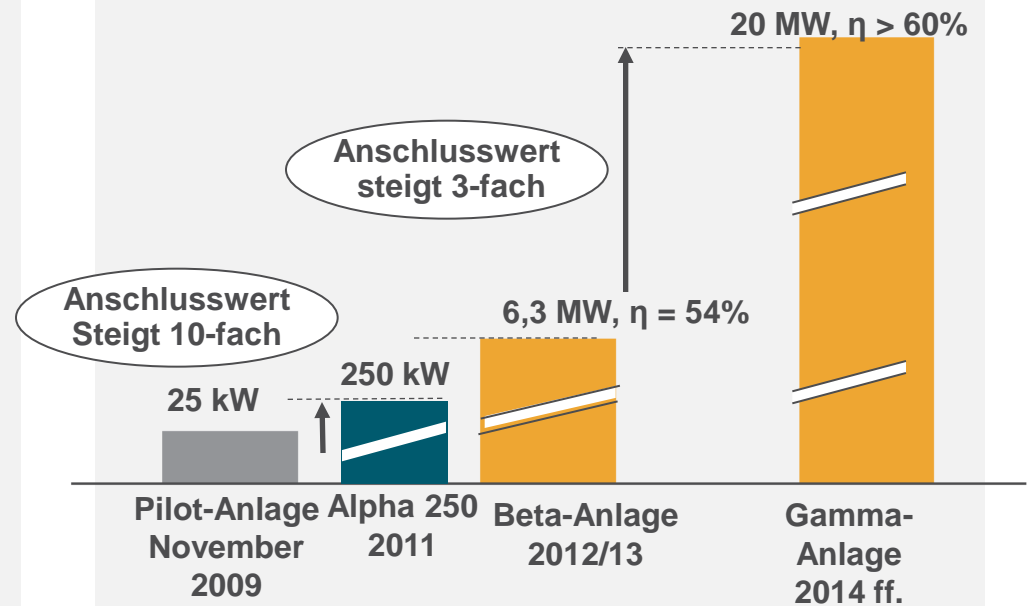
Nach der Erprobung im Megawattbereich erfolgt der weltweite Roll-out des kommerzialisierten Produkts

Lösung – Industrialisierung und Kommerzialisierung

Industrialisierung mit einer beta-Anlage bis 2012

- Die Demonstrationsanlage läuft ab 2012 mit einer elektrischen Anschlussleistung von 6,3 MW und einem geplanten Wirkungsgrad von 54 Prozent
- Ziel ist die Erprobung der SolarFuel Technologie im energiewirtschaftlich sinnvollen Maßstab und realen wirtschaftlichen Bedingungen
- Ausgehend von der Kernaufgabe der Verstetigung von EE werden sowohl Einsatzszenarien im Mobilitäts- als auch im Energiewirtschaftlichen Bereich entwickelt und bewertet.
- Am Standort werden unterschiedliche CO₂-Quellen evaluiert
- Der Anlagenbetrieb wird von einem engen Monitoring begleitet um das Verfahren hinsichtlich Zuverlässigkeit, Verfügbarkeit und Wirkungsgrad weiter zu optimieren und die nachfolgende Verwertungsphase vorzubereiten.

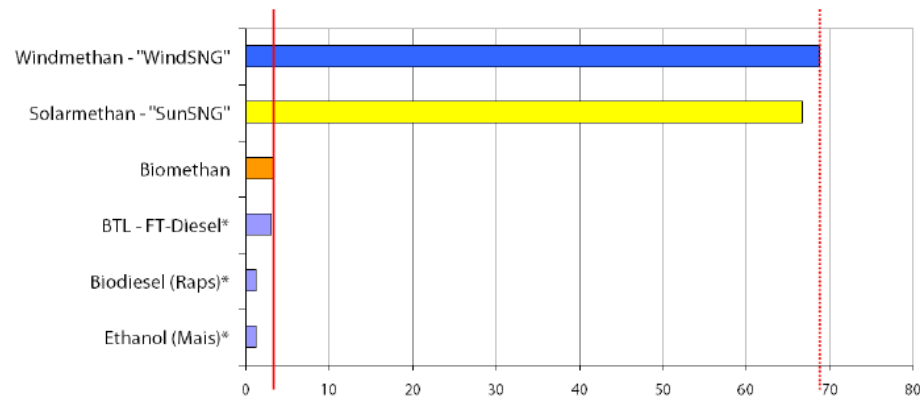
Kommerzialisierung mit Gamma-Anlage ab 2014



Kommerzielle SolarFuel Anlagen stehen ab 2015 mit einer elektrischer Anschlussleistung modular bis 20 MW und einem Wirkungsgrad von mehr als 60 Prozent zur Verfügung, Ziel: < 1.000 Euro/kWel

Flächeneffizienz von Wind-Methan zu Biogenen Kraftstoffen

Hectare yields for renewable fuels in t_gasoline_eq. / ha a



Use of solar irradiation for the same fuel: biomethane: 0,5%; solarmethane: 10%

Main advantage of 'wind methane': combined energy- and agro-economy
 Renewable fuels (methane, ethanol, kerosene) with high energy density from wind & solar without limited range like e-mobility and food competition like biofuels

Source: Sterner, Specht et al, 2010

1 t Gasoline = 43,2 GJ
 © Fraunhofer IWES, ZSW, Solarfuel



Nr. 16