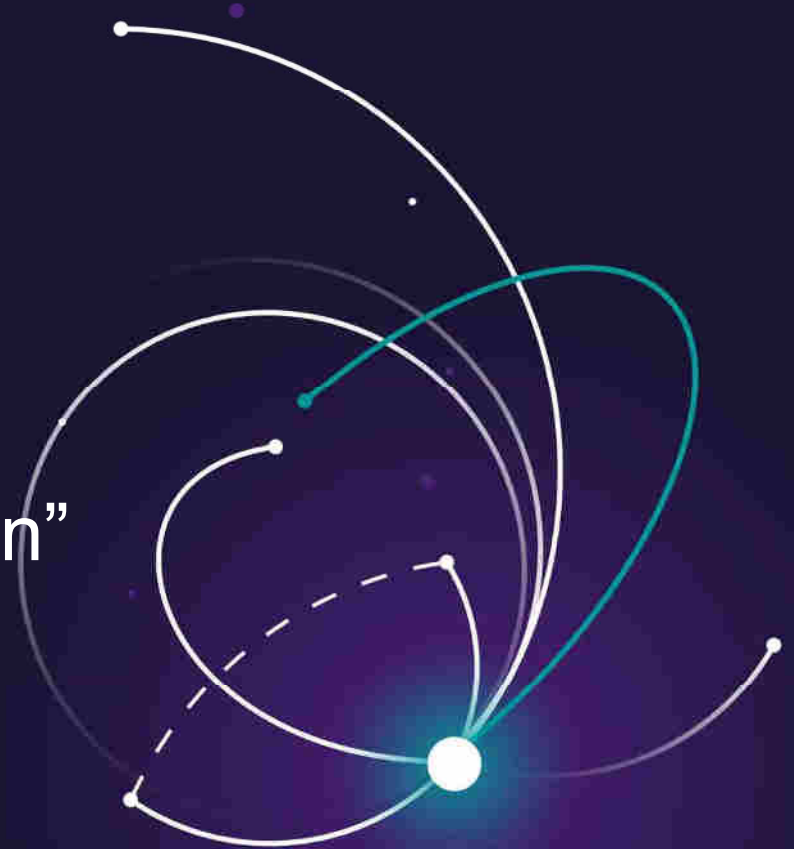




Elektrolyse “Wasserstofferzeugung bis zu synthetischen Treibstoffen”

Ulrich Guenther SE GP SV CD EU
September 2021



Agenda

- 01** Die Rolle von Wasserstoff in der zukünftigen Energie- Wirtschaft
- 02** Wasserstoffverbrennung in Siemens Energy Gasturbinen (GT)
- 03** Brennstoffzellenentwicklung
- 04** Wasserstoff in der Mobilität (Siemens AG)
- 05** Erzeugung und Nutzung von H₂ in der Praxis
- 06** Zusammenfassung



01. Die Rolle von Wasserstoff in der zukünftigen Energiewirtschaft

Reduction of CO₂ emissions is critical to limit global warming to below current commitments (considered unsustainable)

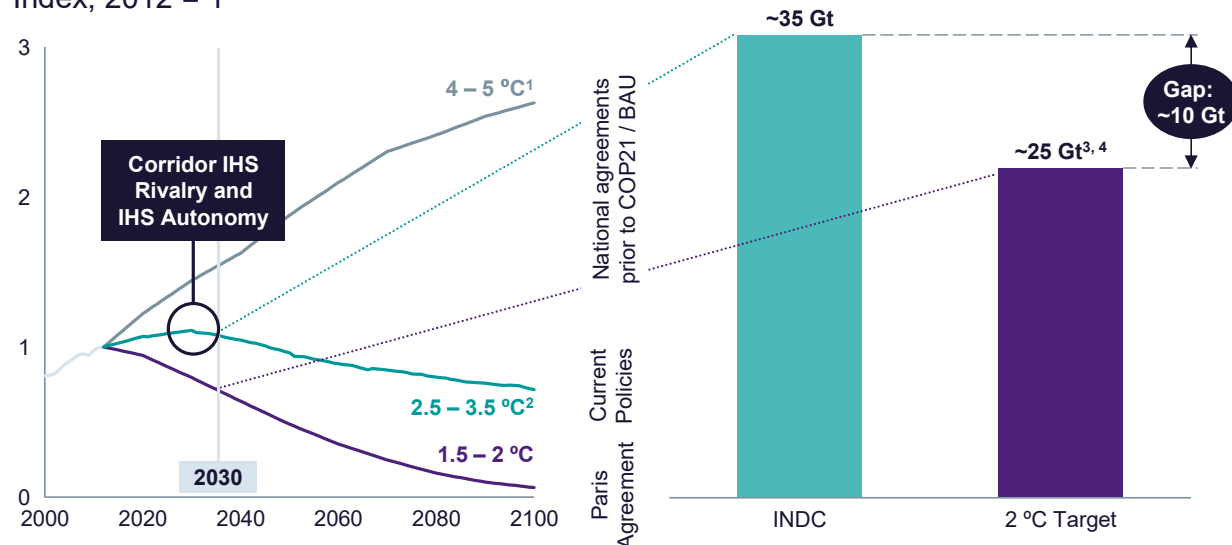
Increasingly ambitious targets from COP21 leave the world ...

... with a significant CO₂ gap³, already in 2030 ...

... which needs to be closed to achieve 1.5 – 2° C target

Global warming scenarios

Index, 2012 = 1



Transition of power generation mix

- Coal to natural gas (short term)
- Aggressive renewable growth
- Natural gas to sustainable hydrogen (long term)

Efficient grid management

- Electricity storage for intermittent renewables
- Smart grid technology for demand response

Improved energy efficiency

- Efficient use of energy
- Green electrification of transportation and heat (sector coupling)

¹ Business as usual (BAU), without any emission reduction effort | ² Intended Nationally Determined Contributions (pre-COP21 commitments) |

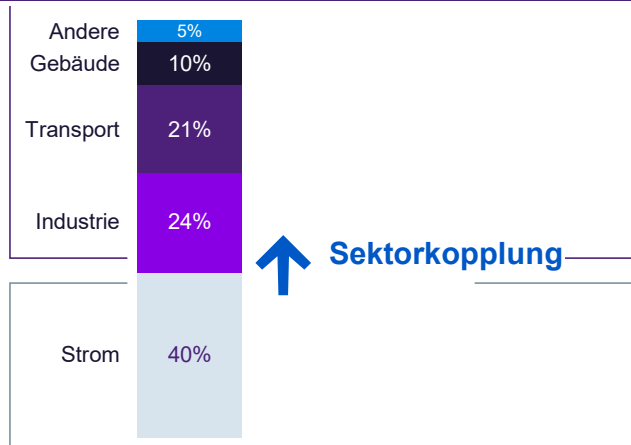
³ BAU & INDC data based on CO₂ equiv., whereas scenarios only provide CO₂ emissions which are ~33% lower than total CO₂ equiv |

⁴ Following Climate Action Tracker (~38 Gt CO₂ equiv. in 2030) | **Source:** CD ST SU, PV/Energy Mix Project Team, IEA

“Sektorkopplung” ist der Schlüssel zur Dekarbonisierung aller Endverbrauchersektoren

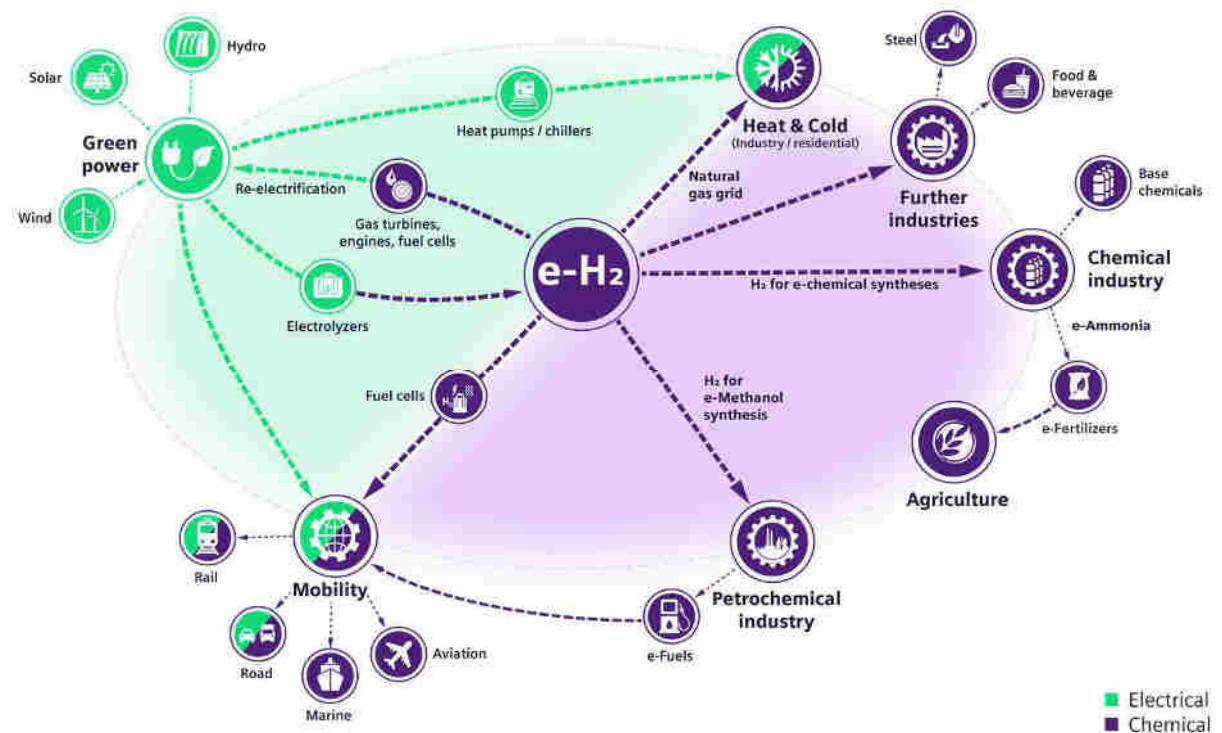
Anteile an den globalen CO₂-Emissionen nach Sektoren

Verstärkter zukünftiger Fokus auf Emissionsreduzierung
Anteil an den CO₂-Emissionen: 60%
Anteil der erneuerbaren Energien: 8%



Kontinuierliche Emissionsreduzierung erforderlich
Anteil an den CO₂-Emissionen: 40%
Anteil der erneuerbaren Energien : 22%

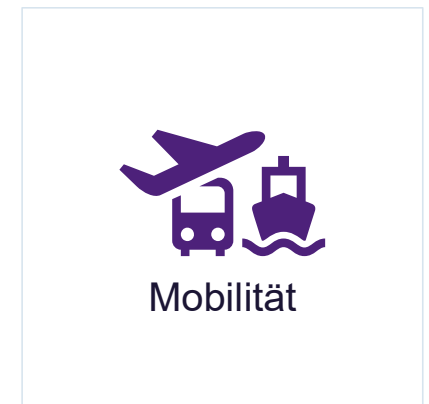
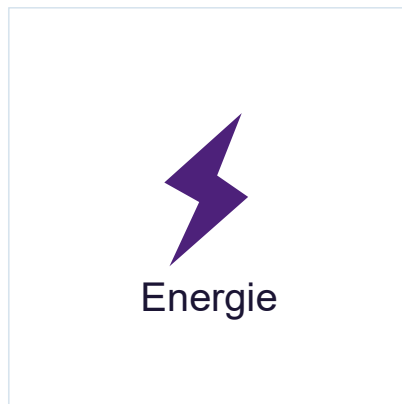
Sector Coupling – Links and Interactions



Quelle: World Energy Balances 2018

September 2021 Siemens Energy is a registered trademark licensed by Siemens AG.

Wasserstoff ist multifunktional, Anwendungen können abhängig von Kundenbedürfnissen kombiniert werden



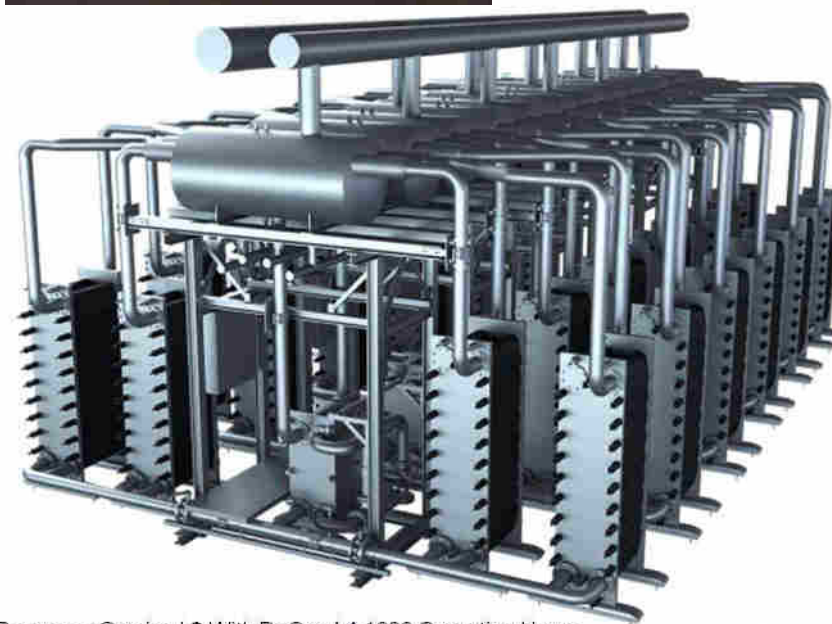
Silyzer 300

Datenblatt

	Hydrogen production	335 kg/h
	Plant efficiency (HHV ¹)	>75.5%
	Power demand	17.5 MW
	Start-up time	<1 min, enabled for PFRS ²
	Dynamics in range	10%/s in 0 – 100%
	Minimal load	20% single module
	Dimension full Mod. Array	15.0 x 7.5 x 3.7 m
	Module design lifetime	Optimized for 80 kOH ⁴
	Plant availability	~95%
	Demin water consumption	10 l/kg H ₂
	Dry gas quality ³	99,9999%
	Delivery pressure	Customized



SIEMENS
energy

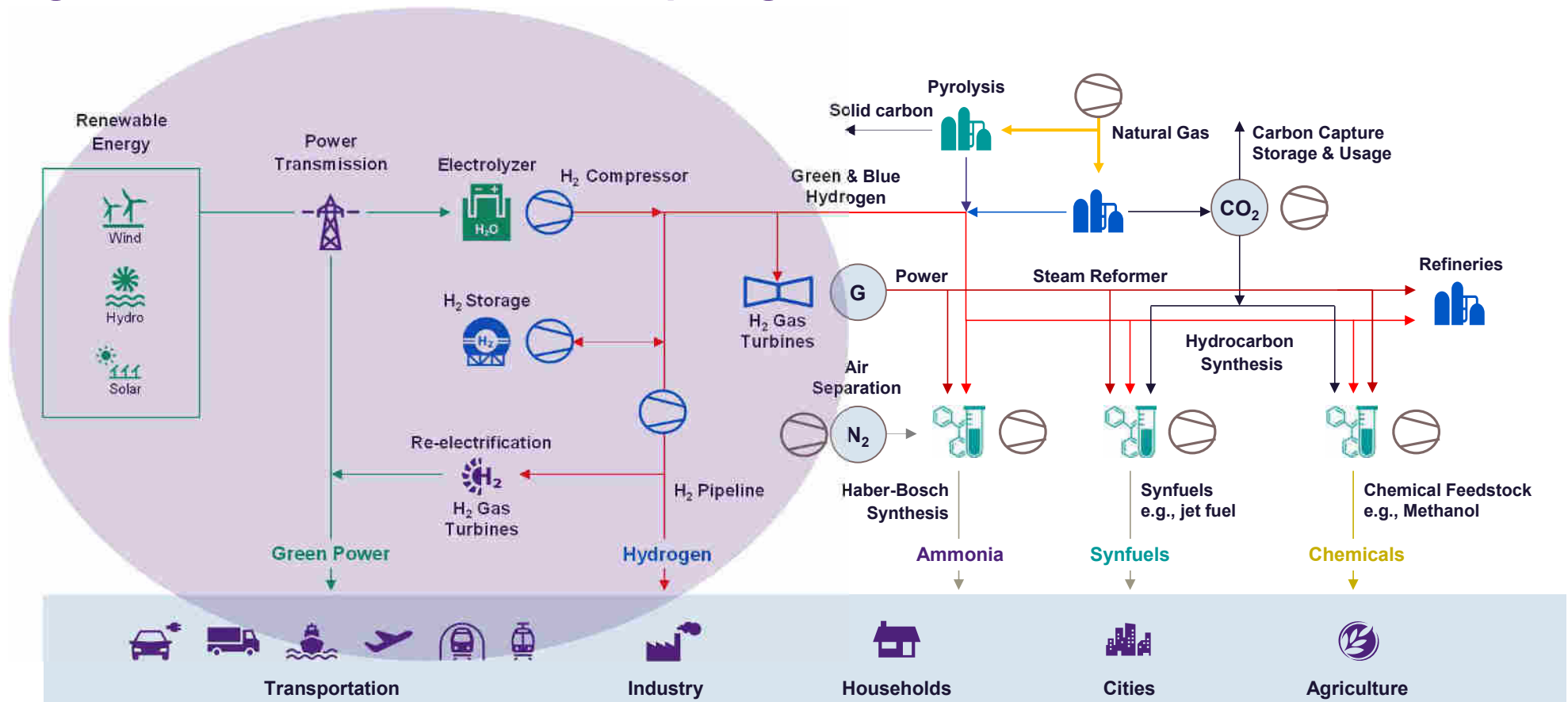


1 Plant efficiency includes rectifier, transformer, transformer cooling and gas cooling | 2 Primary Frequency Response Service | 3 With DeOxo | 4 1000 Operating Hours

September 2021 Siemens Energy is a registered trademark licensed by Siemens AG.

SE GP SV CD 7
Siemens Energy, 2021

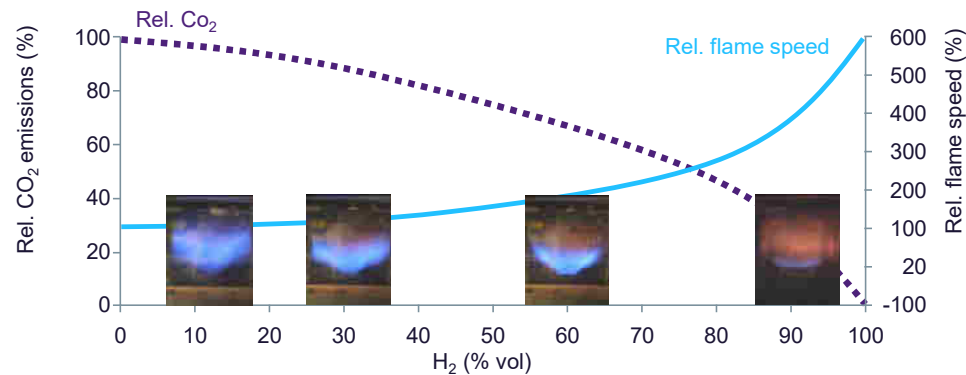
Siemens Energy hat ein wettbewerbsfähiges Portfolio für die gesamte Wasserstoff Wertschöpfungskette





02. Wasserstoffverbrennung in Siemens Energy Gasturbinen (new equipment)

Hydrogen does not produce CO₂ emissions, but challenging physical properties require rapid design and testing cycles



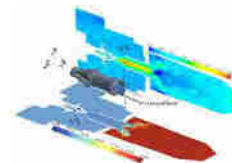
Values shown are relative to natural gas (indicative only)

Challenges

- **H₂ embrittlement** requires upgrade to stainless steel materials
- **Lower volumetric energy content** requires larger flows to be handled by fuel system
- **Higher diffusivity** requires changes/re-certification of sealing and flanges
- **Higher reactivity and flame velocity** pushes flame towards burner and increases risk of explosion or flashback
- **Higher flame temperature** can lead to local hotspots if imperfectly mixed and thus increased NO_x emissions

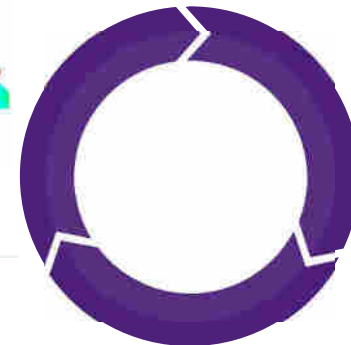
1. High fidelity CFD

High fidelity CFD tools like LES can provide automated optimized designs



2 Rapid prototyping using AM

Additive manufacturing reduces lead time and enables better designs



3. High-pressure testing at engine conditions

High-pressure burner tests combined with full engine tests



Combustion Test Center in Berlin

Burner Tests



Zero Emission H₂ Test center (Finspong)

Engine Tests

Siemens Hydrogen Gas Turbines for our sustainable future

The mission is to burn 100% hydrogen



Gas turbine model	Power Output ¹	H ₂ capabilities in vol. %	CO ₂ reduction [%]
50Hz	SGT5-9000HL	50	23%
	SGT5-8000H	30	11%
	SGT5-4000F	30	11%
	SGT5-2000E	30	11%
60Hz	SGT6-9000HL	50	23%
	SGT6-8000H	30	11%
	SGT6-5000F	30	11%
	SGT6-2000E	30	11%
50Hz or 60Hz	SGT-800	50	23%
	SGT-750	40	17%
	SGT-700	55	27%
	SGT-A35	15 / 100	5 / 100%
	SGT-600	60	31%
	SGT-400	10 / 65	3 / 36%
	SGT-300	30	11%
	SGT-100	30 / 65	11 / 36%
	SGT-A05	2 / 15	1 / 5%
	Gasmotor		

■ DLE*burner
 ■ WLE**burner
 ■ Diffusion burner with unabated NOx emissions
● Heavy-duty gas turbines
 ● Industrial gas turbines
 ● Aeroderivative gas turbines

September 2021 Siemens Energy is a registered trademark licensed by Siemens AG.

* DLE-Dry Low Emission, ** WLE- Wet Low Emission

SE GP SV CD 11
Siemens Energy, 2021

Values shown are indicative for new unit applications and depend on local conditions and requirements. Capability to operate on 100% natural gas is maintained (full fuel flexibility). Some operating restrictions/special hardware and package modifications may apply.

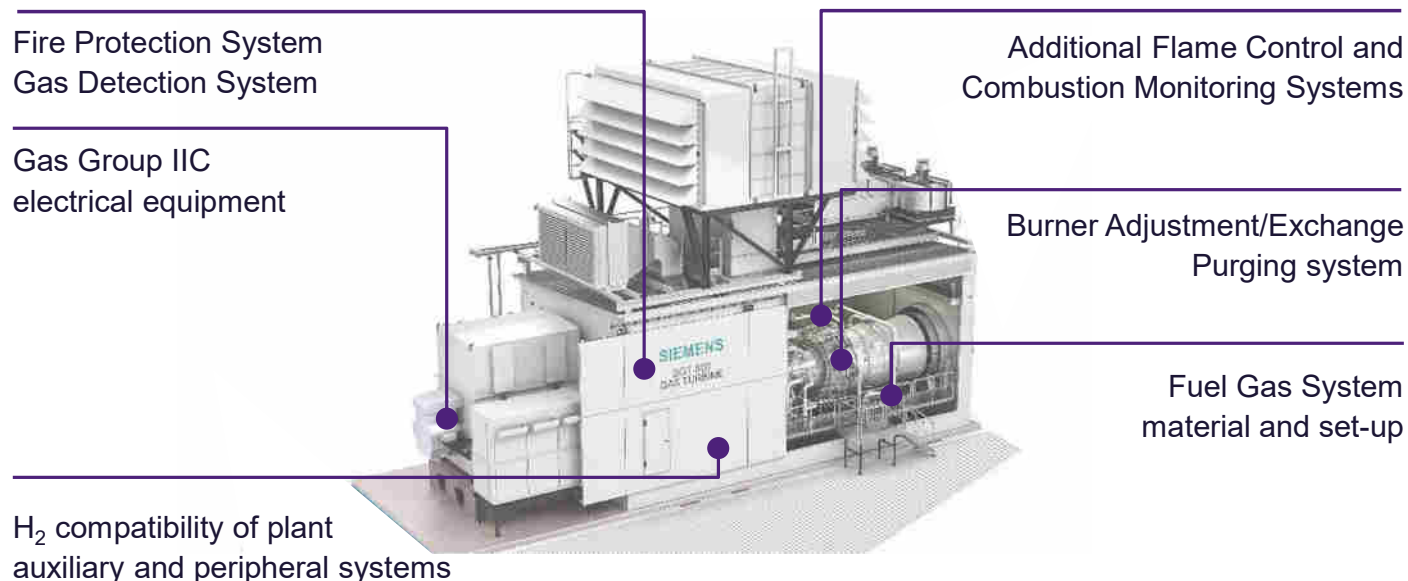
Higher H₂ contents to be discussed on a project specific basis



Burner Adjustment/Exchange for Industrial Gas Turbines



Main systems requiring modification when upgrading to higher H₂ content



Consequences and solution

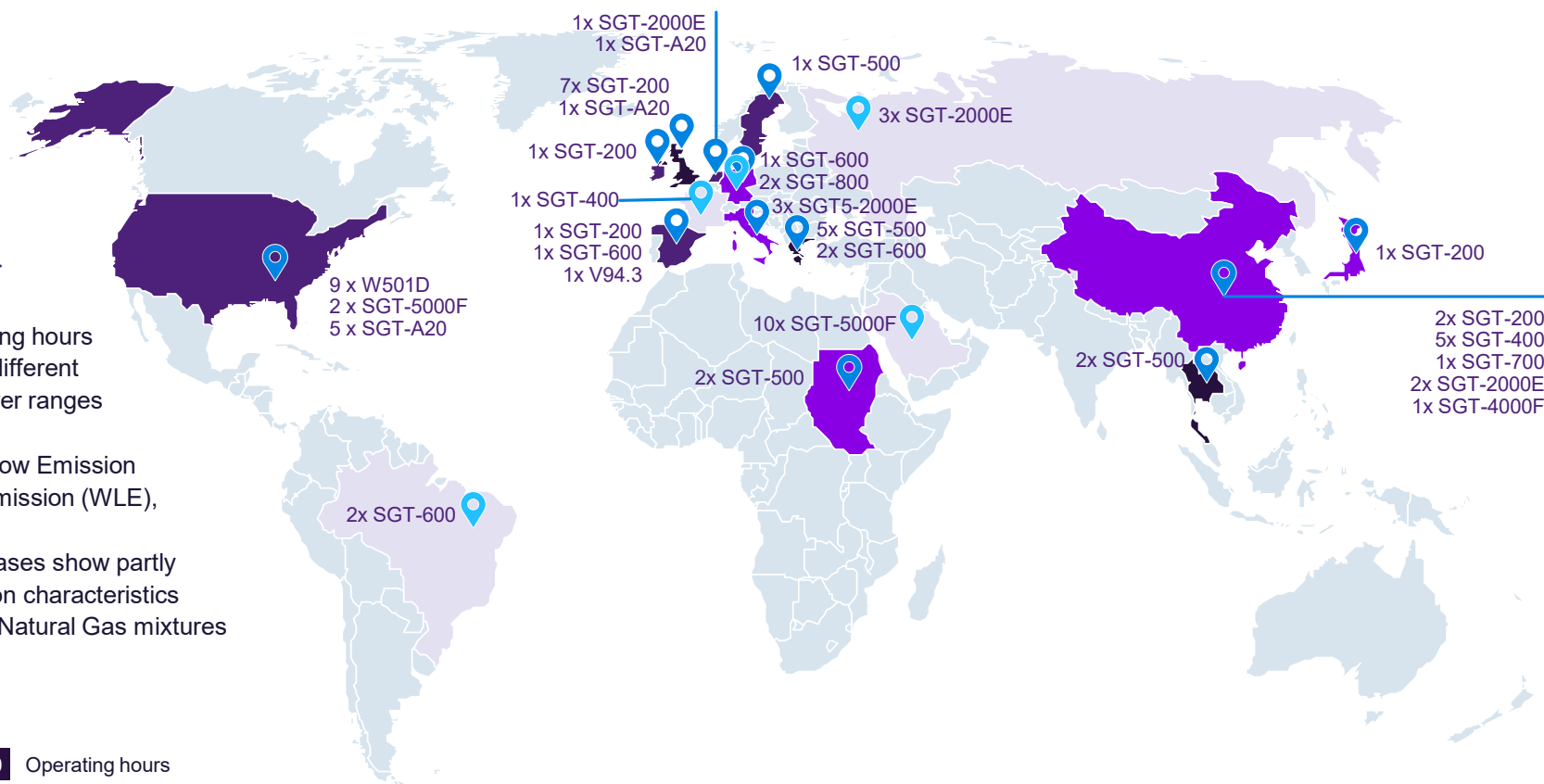
- Project specific evaluation and decision on required modifications
- Power output control to ensure compliant NO_x emission levels
- Conventional/non-H₂ fuels may be required for start-up and shutdown
- Re-certification with respective authorities might be required



World fleet experience on high H₂ syngases for refineries and steel mills and other chemical industries



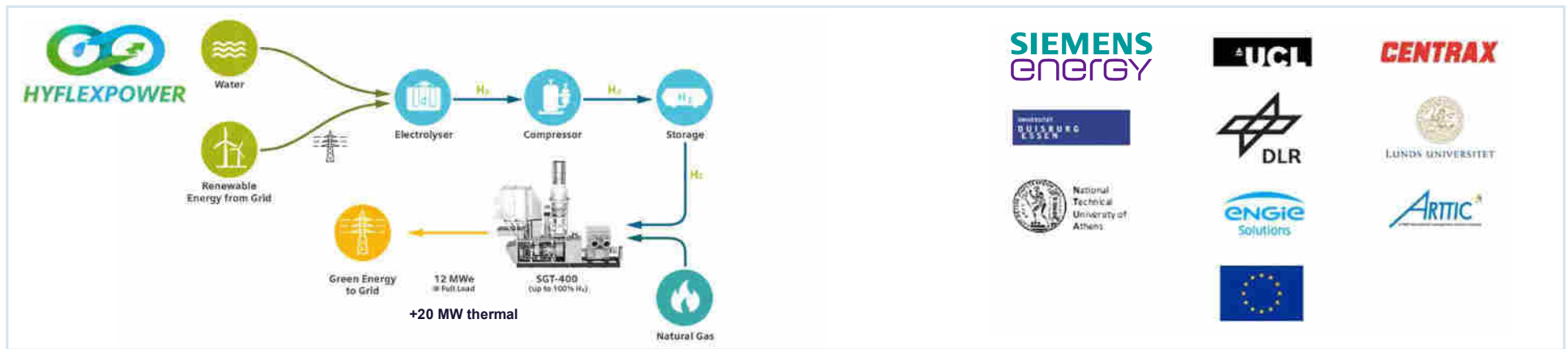
- Over **53 units** and **2.5 million** operating hours worldwide across different industries and power ranges since **1979**
- Combustion: Dry Low Emission (DLE), Wet Low Emission (WLE), Diffusion unabated
- Note: H₂-rich syngases show partly different combustion characteristics compared with H₂-Natural Gas mixtures



EU-funded HYFLEXPOWER Project (France)

A CO₂ free power-to-power path using 100% H₂ in DLE combustion

SIEMENS
energy



Installation of the hydrogen production,
storage and supply facility
at pilot demonstration site

Pilot demonstration with up to
100 percent hydrogen for carbon-free energy
production from stored excess renewable energy

May 2020

Contract finalization
and start of engineering development

2021

Installation of the gas turbine for natural
gas/hydrogen mixtures and initial demonstration
of advanced pilot plant concept

2022

2023

Source: <http://www.hyflexpower.eu/>

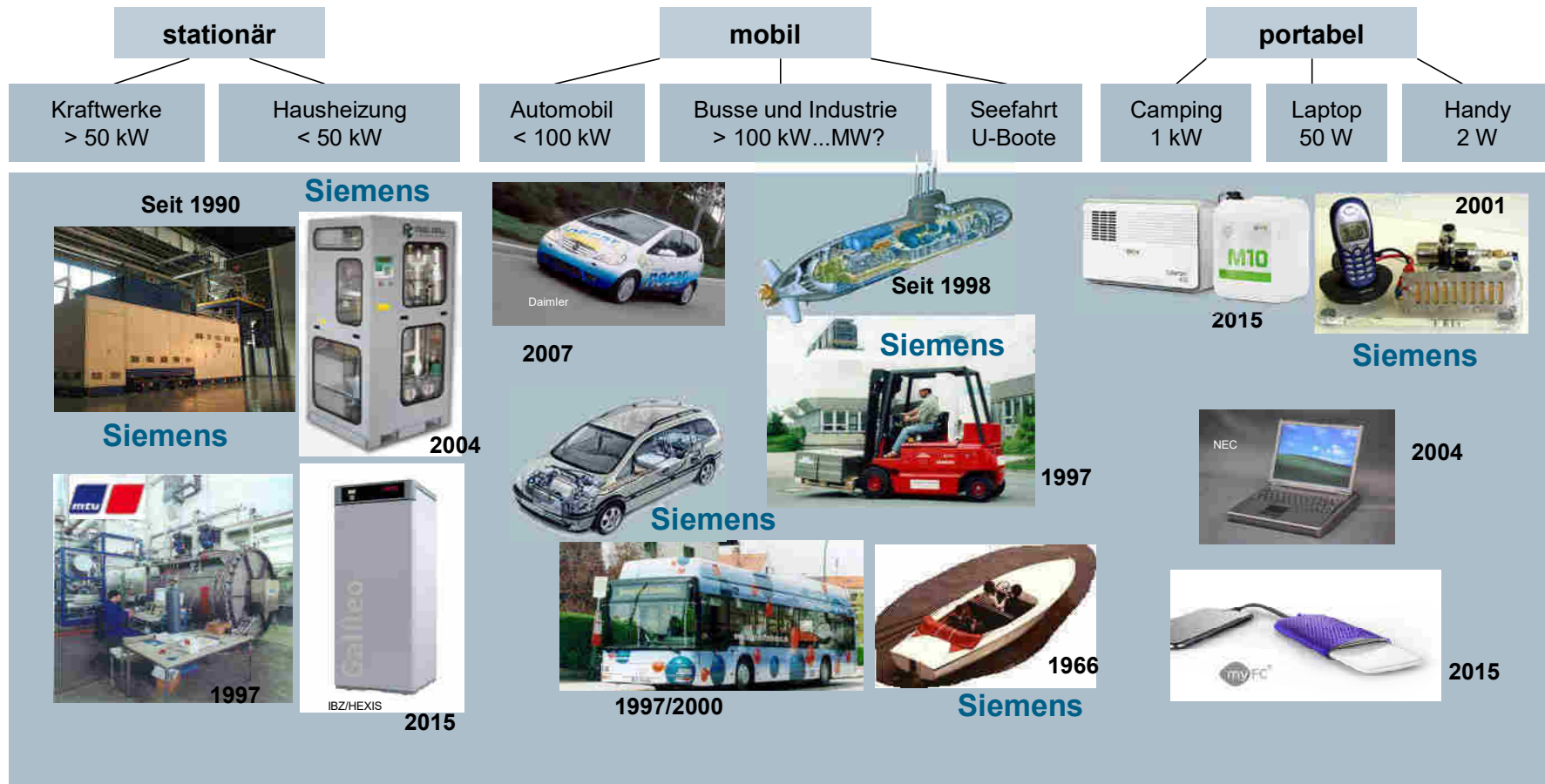
September 2021 Siemens Energy is a registered trademark licensed by Siemens AG.

SE GP SV CD 14
Siemens Energy, 2021



03. Brennstoffzellenentwicklung

Brennstoffzellen @ Siemens hat hier eine lange Tradition !



Our Next Step

Solutions for High Energy Storage – H₂-powered Fuel Cells

SIEMENS
energy

SMM 2018, Hall B6, Booth J18

Siemens and PowerCell to collaborate in fuel cell systems for ships

- Partnership between Siemens and PowerCell Sweden AB
- Planned collaboration for maritime energy systems based on fuel cells



Heavy Duty Fuel Cell Stack MS-100

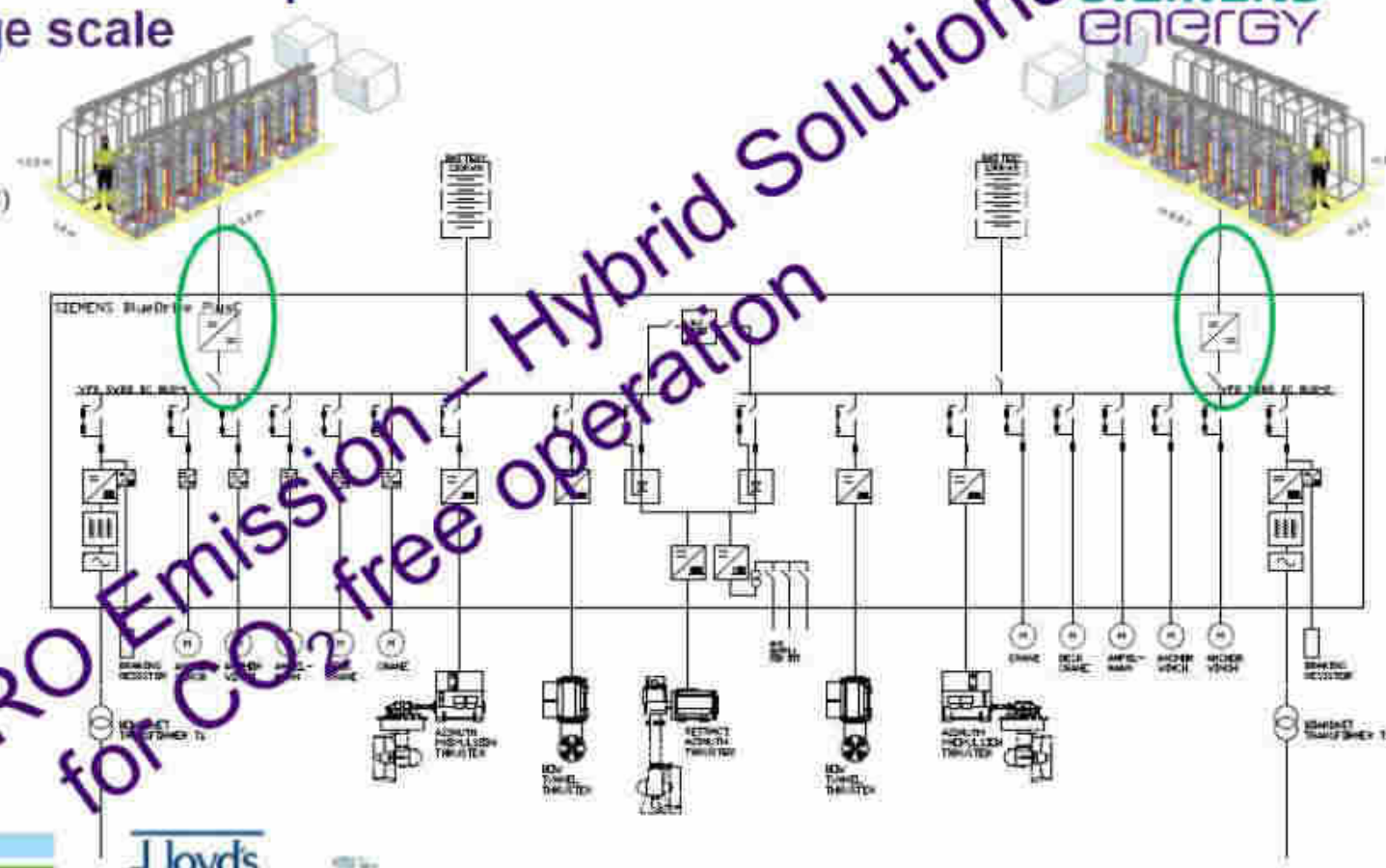
Nom. Power = 100 kW
High electrical Efficiency
Very high Power Density < 300 l/100kg



DC Energy and Propulsion Concepts Example @ low voltage scale



- ☐ DC Power Distribution
- ☐ DP Operation with joined by coupling device (ILC)
- ☐ Generators with variable rotation
- ☐ Integrated ACDC Converter
- ☐ Integrated DCAC Converter
- ☐ Integrated Grid Supply
- ☐ Integrated VFD- or DC-auxiliary supply
- ☐ Dual feed for drives
- ☐ Optional Integration of Storage Solutions such as Batteries or Super Caps
- ☐ Thermal management by water cooling
- ☐ Approved by :
- ☒ Integration of Fuel Cells



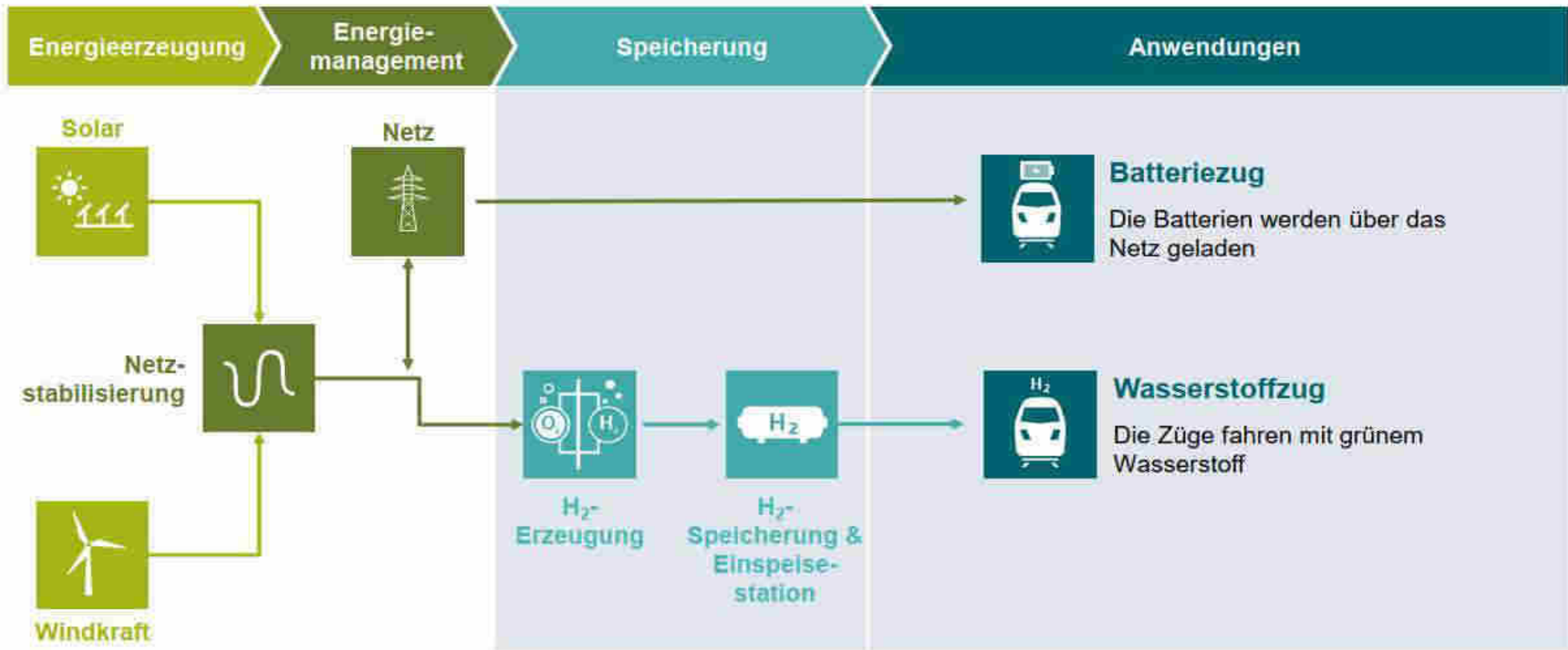
Pure ZERO Emission - Hybrid Solutions for CO2 free operation





04. Wasserstoff in der Mobilität

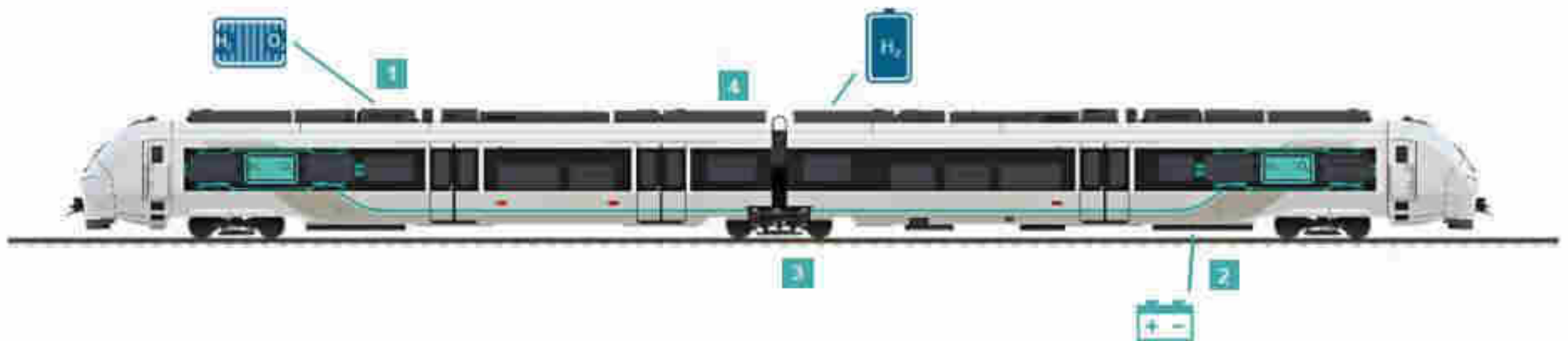
Well-to-wheel – über Oberleitung oder Wasserstoff



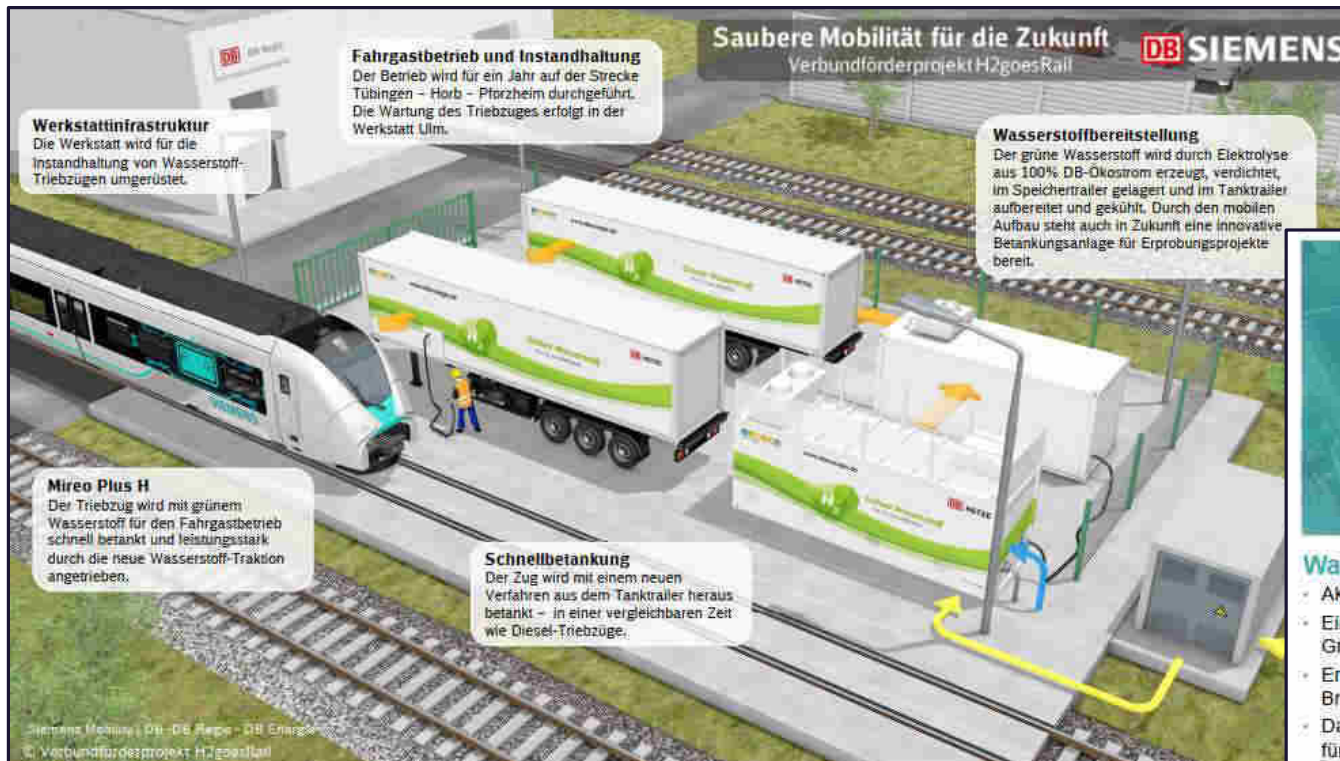
Der Mireo Plus H ermöglicht anspruchsvollen Betrieb ohne Oberleitung

SIEMENS
Ingenuity for life

- EMU Performance
 - Sehr energieeffizient / geringer Stromverbrauch durch SiC
 - Vmax 160 km/h
 - Geringe Lebenszykluskosten
- 1 Hocheffiziente Brennstoffzelle – hohe Reichweiten möglich
 - 2 Langlebige Batterien durch LTO-Technologie
 - 3 Intelligentes System zur Schnellbetankung
 - 4 Geringer Stromverbrauch u. a. durch Nutzung der Abwärme der Brennstoffzelle für Fahrgastklimatisierung



Entwicklungsprojekt Deutsche Bahn und Siemens



H₂

Wasserstoffsystem

- Aktiv in Wasserstoffsystemen seit den 1960ern
- Einsatz im Marinegeschäft sowie für Elektrolyseure legten Grundstein für die Weiterentwicklung für Mobilitätsanwendungen
- Erfahrener Partner Ballard Power für die Entwicklung des Brennstoffzellensystems der nächsten Generation
- Das neue Brennstoffzellensystem wurde in einem Systemtestlabor für > 2000 Stunden im Betrieb ausführlich getestet, um das Zusammenspiel zwischen Brennstoffzelle und Batteriesystem zu optimieren

Siemens Mobility | Rolling Stock



05. Erzeugung und Nutzung in der Praxis

[Contact](#) [Global](#)

SIEMENS
energy

[Offerings](#) [News](#) [Priorities](#) [Company](#)



DEWA | Dubai

DEWA Green Hydrogen Project: clean fuel from solar power in Dubai

- Siemens Energy and



H2FUTURE | Austria

European Flagship project for generation and use of green hydrogen

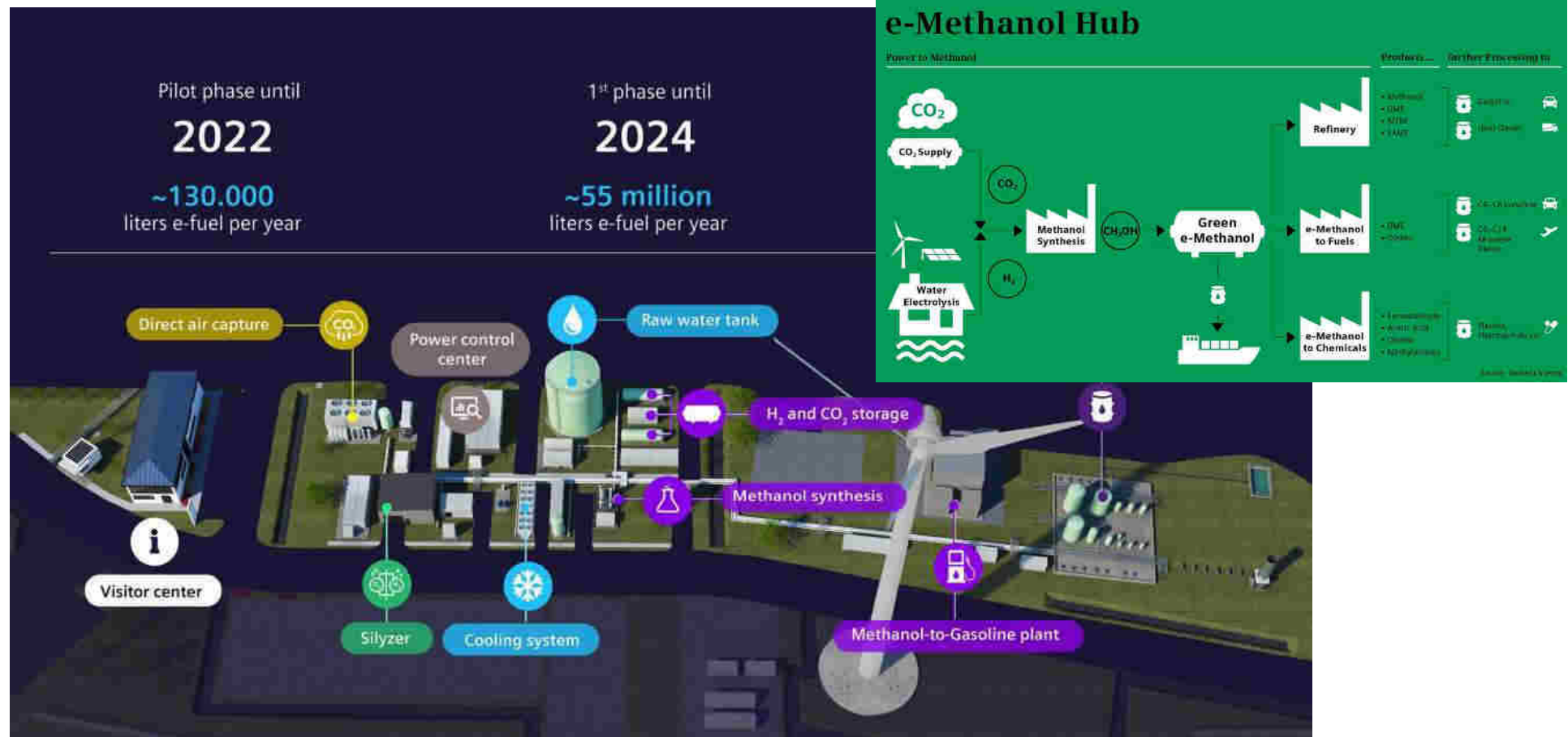


Haru Oni | Chile

Fuel from wind and water

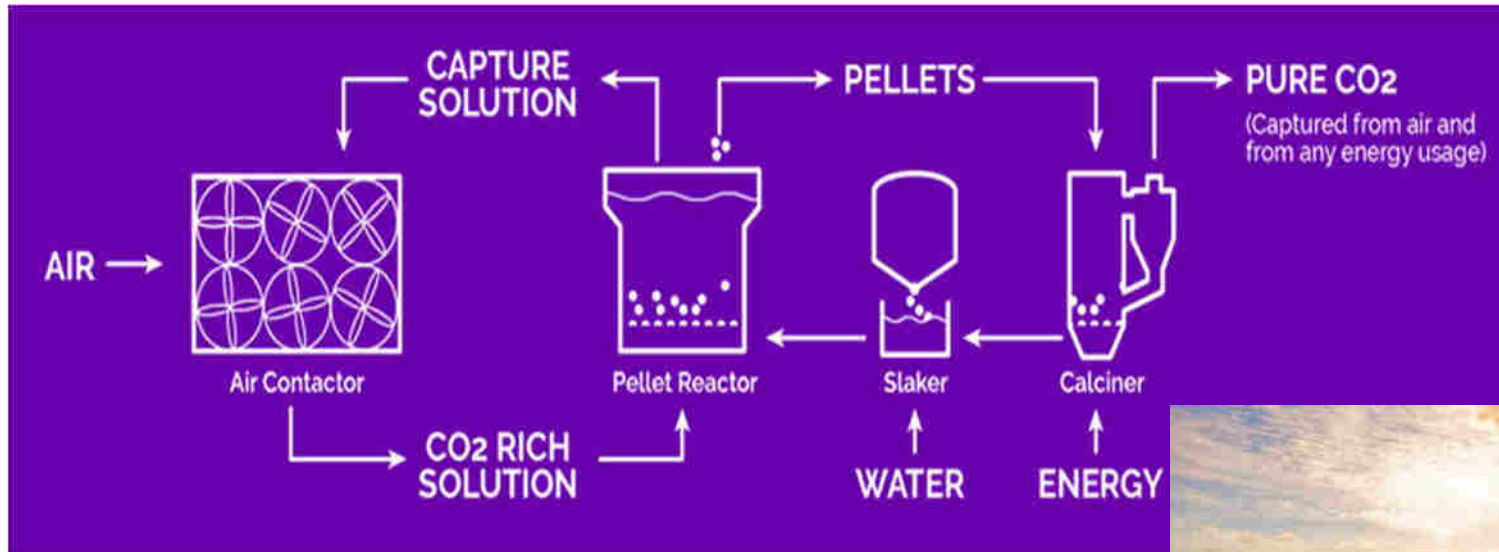
- Siemens Energy, alongside several international companies, is developing and implementing the

Projekt Haru-Oni / Chile “Power to Liquid Plant”



Projekt Haru-Oni / Chile “Direct Air Capture by Carbon Engineering”

SIEMENS
energy





6 MW

Nennleistung basierend auf
Silyzer 300

1,200 Nm³

165 kg

grüner Wasserstoff pro Stunde



September 2021

H2FUTURE

ein europäisches Flaggschiffprojekt
zur Erzeugung und Nutzung von grünem Wasserstoff

SIEMENS
energy

Projekt

- Partner: VERBUND (coordination), voestalpine, Austrian Power Grid (APG), TNO, K1-MET
- Land: Austria
- Installiert: 2019
- Produkt: Silyzer 300

Herausforderungen

- Potenzial für „bahnbrechende“ Stahlerzeugungstechnologien, die Kohlenstoff durch grünen Wasserstoff als Basis für eine weitere Heraufstufung auf industrielle Dimensionen ersetzen
- Installation und Integration in eine bestehende Koksofengasleitung im Stahlwerk
- Hoher Wirkungsgrad der Elektrolyse von 80%

Anwendungen



Wasserstoff für die Stahlherstellung



Versorgungsnetzdienste

Lösungen

- Betrieb eines Silyzer 300 mit 12-Modul-Arrays
- Sehr dynamischer Stromverbrauch - ermöglicht Netzdienste
- Modernste Prozessleittechnik auf Basis von SIMATIC PCS 7



Dieses Projekt wurde vom Fuel Cells und Hydrogen 2 Joint Undertaking im Rahmen der Finanzhilfvereinbarung Nr. 735503 finanziert. Dieses Joint Undertaking wird vom Forschungs - und Innovationsprogramm Horizont 2020 der Europäischen Union sowie von Hydrogen Europe und NERGHY unterstützt.

SE GP G S DES P&M 27

© Siemens Energy, 2021



6 MW

Nennleistung basierend auf
Silyzer 300

1,200 Nm³

165 kg

grüner Wasserstoff pro Stunde



September 2021



SIEMENS
energy

SE GP G S DES P&M 28

© Siemens Energy, 2021

Wasserstoffelektrolyse „Am Energiepark 1, Wunsiedel“ (2019)

Projekt: Industriepark
Anlage: ca. 8,7MW Elektrolyse
CAPEX: EUR 20' - 30'
Laufzeit: 10 Jahre
Klimabeitrag: bis zu 11.000t CO₂



- Realisiert
- Realisierungsphase
- Anpassung Bebauungsplan

Wasserstoffelektrolyse „Am Energiepark 1,

Wunsiedel“

Eckdaten

- PEM Elektrolyse mit 8,75MWel (1. Stufe)
- Bis zu 1.350t grüner H₂ p.a.
- Ca. 13.500t CO₂ Einsparung p.a.
- Nutzung aller Stoffe (H₂, O₂ und Wärme)
- Erweiterung auf bis zu 2.700t H₂ p.a. möglich
- Dekarbonisierung Industrie & Mobilität



©Siemens 2021 | Siemens AG Energy Performance Services

September 2021 Siemens Energy is a registered trademark licensed by Siemens AG.

SIEMENS

„Industriepark Wunsiedel“

Unser Beitrag

Schlüsselfertige PEM Elektrolyse



... Planung



... Errichtung



... Service



... Betriebsunterstützung



Quelle: WUN H2



60% Hydrogen, baseload at 25ppm NOx

Customer: Braskem
Country: Brazil



September 2021

Reference: Braskem (Brazil) for 60% H₂ cofiring in DLE mode

SIEMENS
energy



Challenge

- Use of hydrogen as fuel gas to reduce use of natural gas, up to 60% not exceeding 25ppm NOx
- Reduced need for external grid supply
- High availability and reliability, low O&M costs



Technology

- 2x SGT-600 turnkey CHP plant with 3rd generation DLE system for up to 60% H₂ co-firing at 25ppm NOx



Solution

- Advanced Additive manufactured burners
- Complete plant delivery, Siemens Energy will build, own & operate the CHP, HRSG and gas compressor
- O&M contract based on delivery of steam and power



Benefits

- Fuel cost savings, operation on high levels of hydrogen with DLE, no need for water injection
- Lowest emissions using the latest DLE combustion <25ppm NOx
- Predictable operation and maintenance cost



06. Zusammenfassung

Siemens Energy ist ein ausgezeichneter Partner für die Entwicklung weg von der fossilen- hin zur wasserstoffbasierten Wirtschaft



Wasserstoff ein Baustein für die Zukunft

- H2 ist ein flexibler speicherbarer Brennstoff
- Wasserstofferzeugung aus erneuerbaren Energien ist möglich (PEM Elektrolyse → Silyzer 300)
- Die neuen GT Generationen sind in der Lage unterschiedliche Brennstoffgemische zu verarbeiten bis zu 100% H2
- Fossile Bestandanlagen können für den H2-Betrieb ertüchtigt werden
- Siemens Energy plant die Möglichkeit 100% Wasserstoffnutzung für alle GT Typen bis 2030
- Brennstoffzellen finden Zugang im Mobilitätssektor und der Energiewirtschaft



Conclusions



Bestehende Anlagen umrüsten und zukünftige Investitionen in H2 Technologien, GT und BZ können **profitable Investitionen** sein auch in einer komplett dekarbonisierten Welt



Kohlenstoff freie Energie Erzeugung mit **grünem Wasserstoff** ist möglich

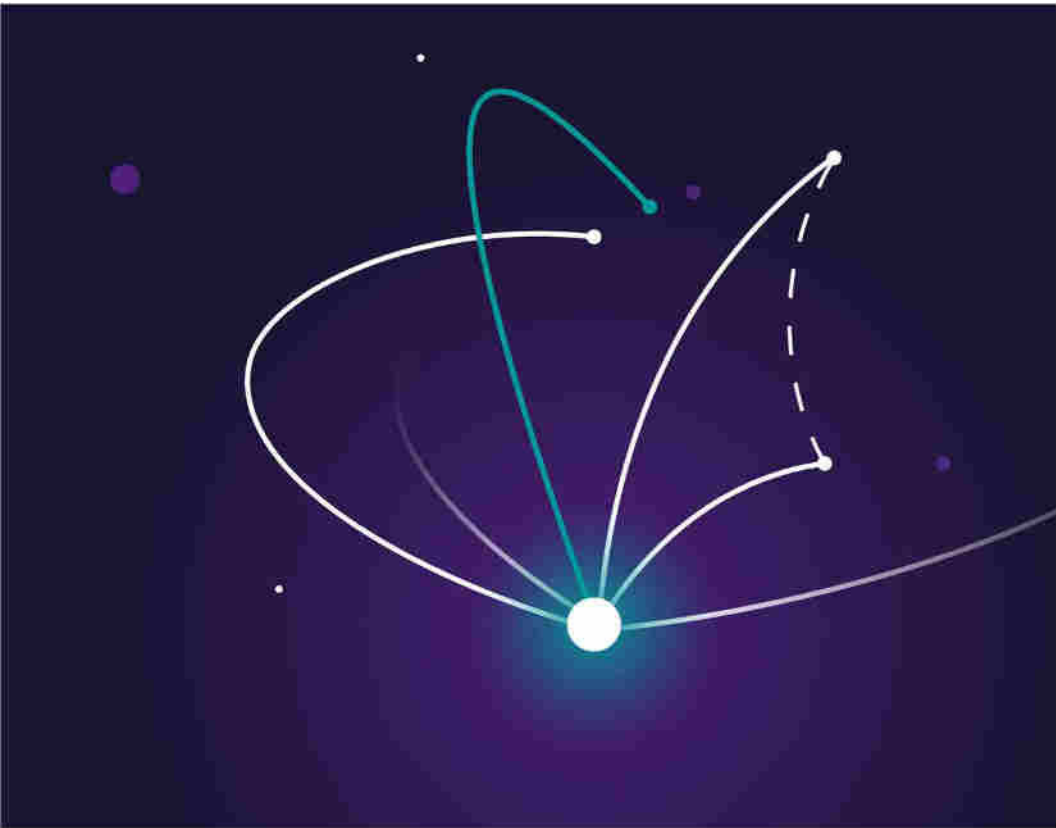


Hohe Brennstoffflexibilität für H2 und Erdgas sind möglich



Siemens Energy GT erfüllen alle **Emissionsanforderungen** bei der Nutzung von Wasserstoff

Kontakt



Published by Siemens Energy

Ulrich Guenther

Projektleiter

Nonnendammallee 101

13629 Berlin

Deutschland



Mobile: +49 173 2538721

ulrich.guenther@siemens-energy.com

Haftungsausschluss



Änderungen und Irrtümer vorbehalten. Die Informationen in diesem Dokument enthalten lediglich allgemeine Beschreibungen bzw. Leistungsmerkmale, welche im konkreten Anwendungsfall nicht immer in der beschriebenen Form zutreffen bzw. welche sich durch Weiterentwicklung der Produkte ändern können. Die gewünschten Leistungsmerkmale sind nur dann verbindlich, wenn sie bei Vertragsschluss ausdrücklich vereinbart werden.

Alle Erzeugnisbezeichnungen können Marken oder Erzeugnisnamen der Siemens Energy Global GmbH & Co. KG oder anderer Unternehmen sein, deren Benutzung durch Dritte für deren Zwecke die Rechte der Inhaber verletzen kann.