

Regelfähigkeit von Elektrolyseanlagen

Am Beispiel des Silyzer 300

30.11.2021

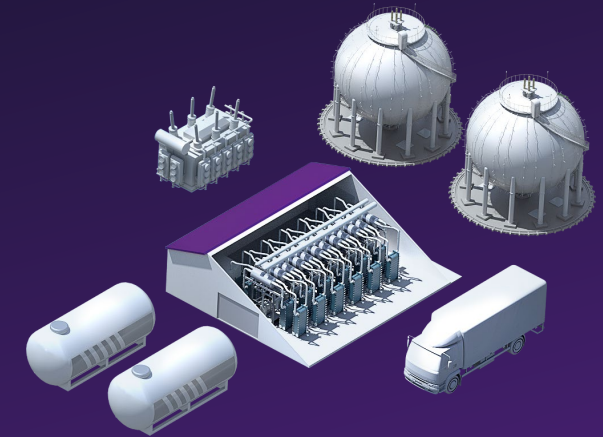
Engel, SE NEB TP SYS



New Energy Business

Wir ergänzen das Portfolio von Siemens Energy durch die Entwicklung neuer Technologien auf dem Gebiet der dekarbonisierten Energiesysteme. Der aktuelle Schwerpunkt von New Energy Business liegt darauf, die grüne Wasserstoffwirtschaft und die Dekarbonisierung voranzutreiben, zum Beispiel durch die Entwicklung von "Power-to-X"-Technologien, die Strom aus erneuerbaren Energiequellen für die Produktion CO₂-armer synthetischer Energieträger (e-Fuels) nutzen.

[siemens-energy.com/new-energy-business](https://www.siemens-energy.com/new-energy-business)



Wasserstoffsysteme

Power-to-Hydrogen Systeme und Services auf Basis industrietauglicher und hochwertiger grüner Elektrolyseure



Power-to-X-Lösungen

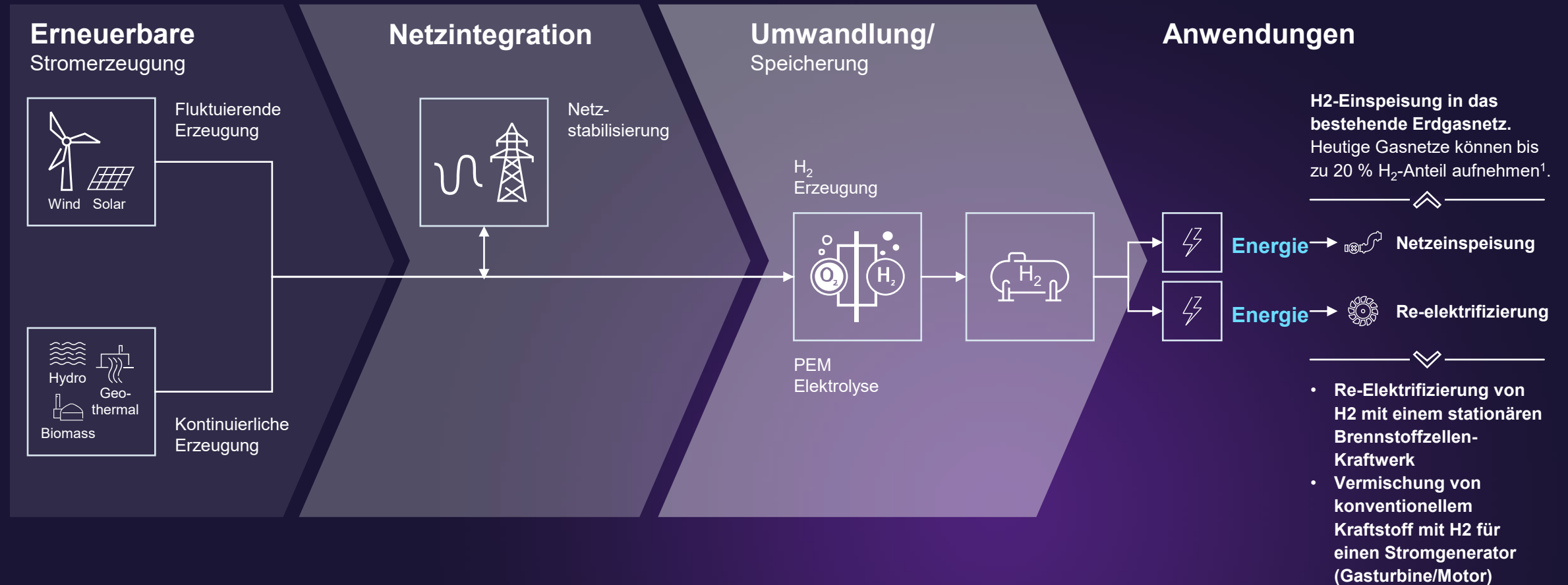
- Elektrolyseur-basierte Lösungen und Dienstleistungen für Power-to-Hydrogen und Power-to-Liquid
- Elektrolyseur-basierte schlüsselfertige Lösungen



Energieberatung & Digitale Dienstleistungen

- Energiesystem-Design mit integrierter Elektrolyse
- Spezifische digitale Services und Optimierungslösungen basierend auf Power-to-X

Wasserstoff aus erneuerbaren Energien ermöglicht langfristige Speicherung und Sektorkopplung



¹ <https://www.dvgw.de/medien/dvgw/leistungen/forschung/berichte/1510nitschke.pdf> p.24

PEM-Elektrolyse und S300

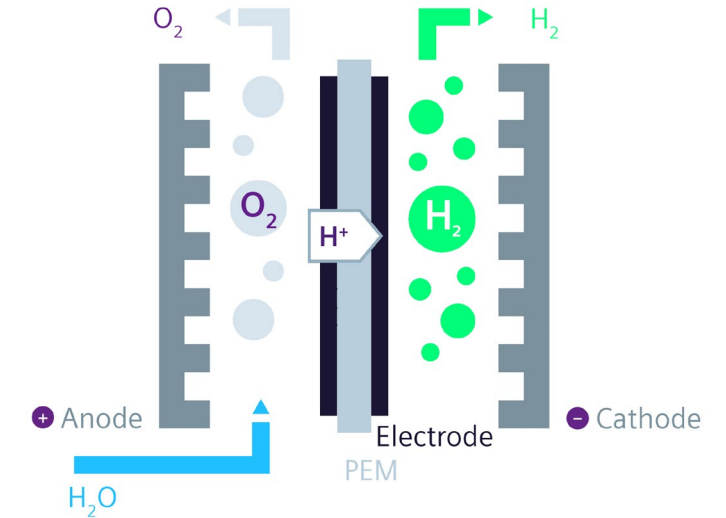
Proton Exchange Membrane (PEM)-Elektrolyse – der effiziente Weg für „grünen“ Wasserstoff

1973

J. H. Russell veröffentlichte seine Arbeit über die PEM-Elektrolyse und ihr Potential

Wie die PEM Elektrolyse funktioniert

- Elektroden sind auf Vorder- und Rückseite der Proton Exchange Membrane angebracht
- Die Proton Exchange Membrane ist der Elektrolyt
- Die PEM übernimmt u. a. die Funktion des Separators, der die Vermischung der Produktgase verhindert



Vorteile der PEM Elektrolyse

- Hohe Leistungsdichte
- Erweiterter dynamischer Betrieb und direkte Verbindung mit erneuerbaren Energien (schnelle Reaktionszeit)
- Hohe Effizienz
- Hohe Gasreinheit
- Wartungsarmer und zuverlässiger Betrieb

Warum eine Proton Exchange Membran (PEM) als Elektrolysesystem?

PEM ist die natürliche Wahl für unser zukünftiges System erneuerbarer Energien



- Unglaublich schnelles Anfahren und Herunterfahren
- Höchste betriebliche Flexibilität
- Kaltstartfähigkeit

PEM ist von Natur aus sauber



- Keine CO₂-Emissionen, im Gegensatz zu SMR¹, das pro kg Wasserstoff 8-10 kg CO₂ emittiert
- Nichts außer Wasser, Wasserstoff und Sauerstoff im System
- Höchste Wasserstoffreinheit >99.9%
- Wasserstoff als einzige "Verschmutzung"
- Kein aggressiver chemischer Elektrolyt (wie z. B. KOH in alkalischen Systemen)

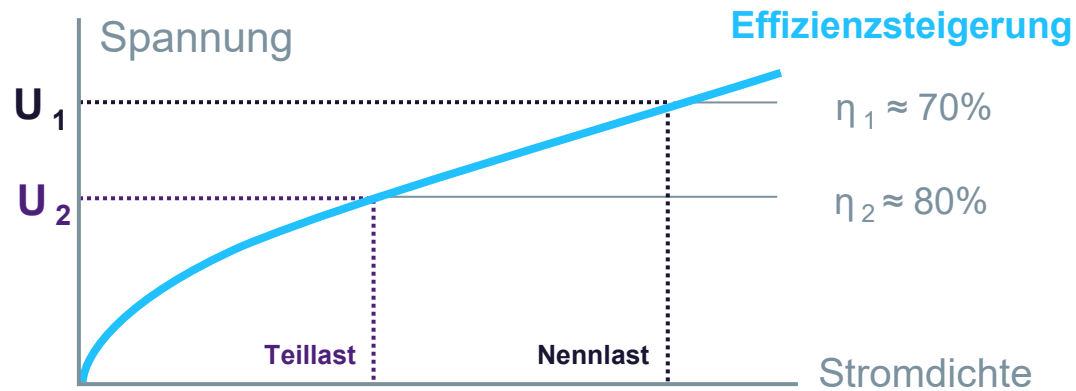
PEM ist wettbewerbsfähig



- Wettbewerbsfähiger Wasserstoffpreis pro kg bei Ökostrompreisen unter 3 ct/kWh
- Geringer Platzbedarf im Vergleich zu alkalischen Systemen
- Deutlich weniger OPEX² im Vergleich zu alkalischen Systemen durch wartungsfreien Stack

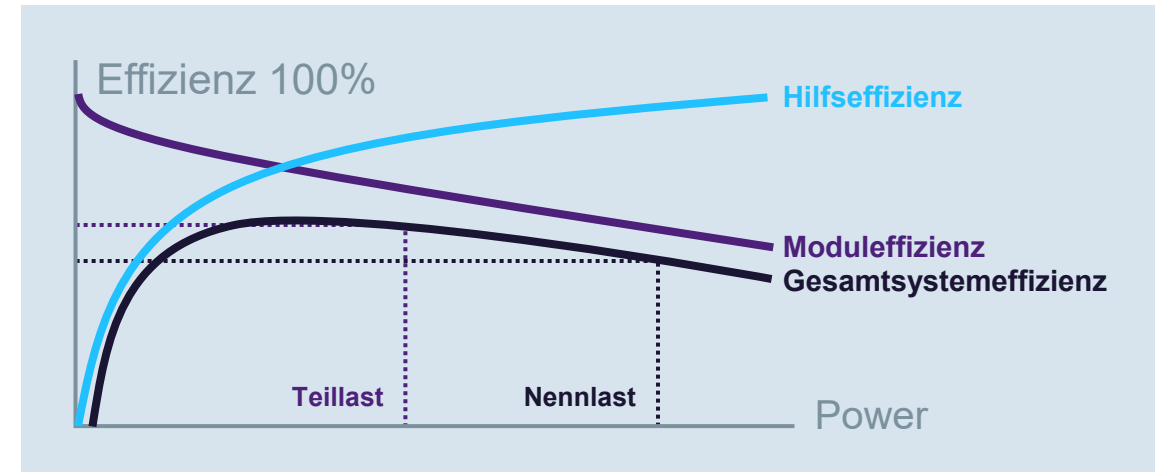
Der Anlagenwirkungsgrad erhöht sich im Teillastbetrieb erheblich

DC-Effizienz



- Die U-I-Kurve stellt die typische Eigenschaft der Elektrolysezelle dar.
- Der elektrochemische Wirkungsgrad ist abhängig von der Leistungsdichte und **nimmt bei Teillast zu**.

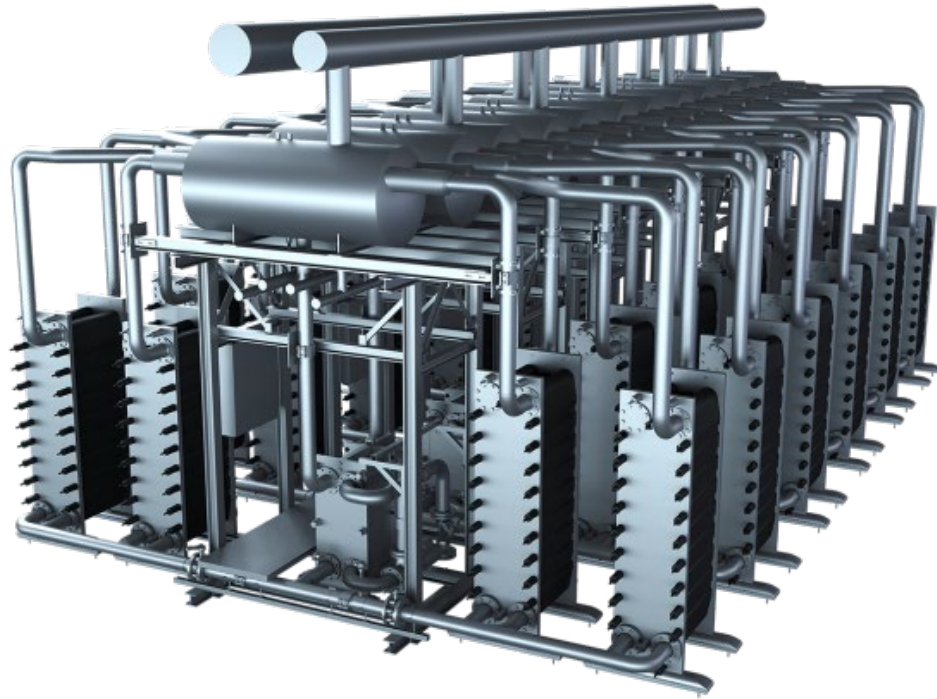
Anlageneffizienz



- Da sich der elektrochemische Wirkungsgrad umgekehrt zum mechanischen Wirkungsgrad verhält, kann ein maximaler Wirkungsgrad für den Gesamtanlagenwirkungsgrad ermittelt werden.
- Der Kompromiss zwischen Effizienz, Langlebigkeit und spezifischen Kosten definiert die optimale Leistungsdichte und Betriebsparameter.

Silyzer 300 – das nächste Paradigma in der PEM- Elektrolyse

Silyzer 300 – Array (24 Module)



17.5 MW

Nennleistung vom vollen
Array - 24 Module

> 75.5 %

Anlagenwirkungsgrad¹

24 Module

für ein vollständiges
Array

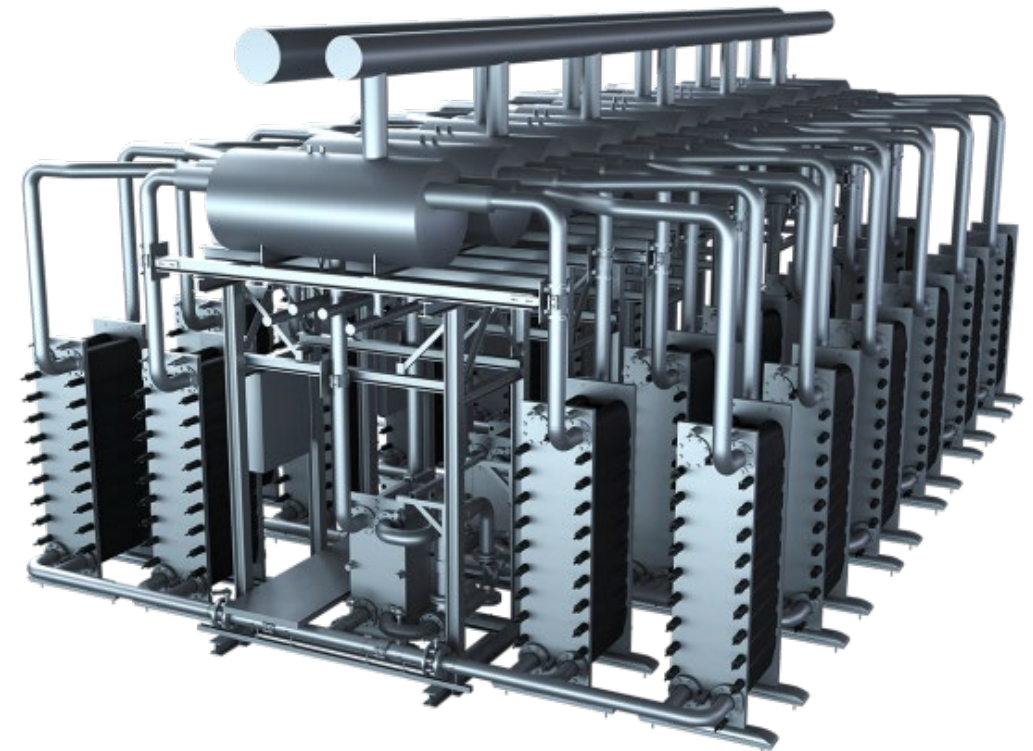
335 kg

Wasserstoff pro Stunde

Silyzer 300

Datenblatt


	Wasserstoffproduktion	335 kg/h
	Anlagen Effizienz (HHV ¹)	>75.5%
	Leistungsbedarf	17.5 MW
	Anfahrzeit	<1 min
	Dynamik im Bereich	10%/s in 0 – 100% PFRS ² möglich
	Minimale Last	20% Einzelmodule
	Abmessungen mod. Array	15.0 x 7.5 x 3.7 m
	Lebensdauer Module	Optimiert für 80 kOH ⁴
	Anlagenverfügbarkeit	~95%
	Dem. Wasserbedarf	10 l/kg H ₂
	Trockengasqualität ³	99,9999%
	Abnahmedruck	Kundenspezifisch



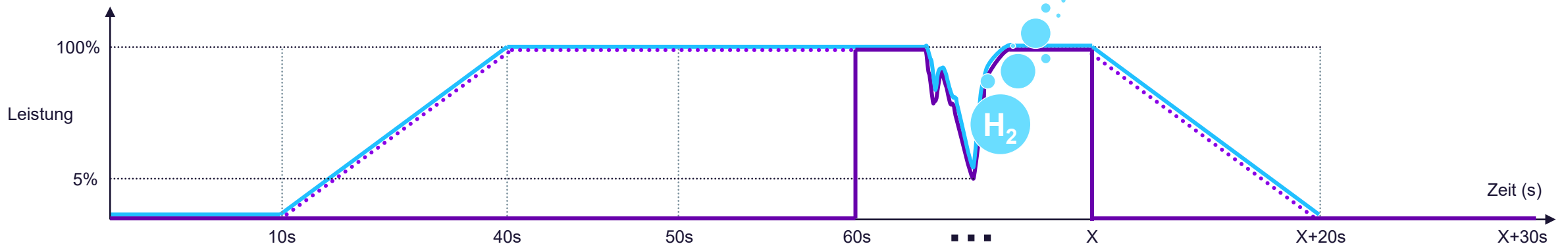
1 Anlageneffizienz inkl. Gleichrichter, Transformator, Transformator- und Gaskühlung | 2 Primary Frequency Response Service | 3 Mit DeOxo | 4 1000 Betriebsstunden

Dynamik von Großanlagen

Silyzer 300 ermöglicht Netzdienstleistungen mit effizienter Wasserstoffausbeute und maximaler Dynamik

 Start 0 – 100% H₂ | <1 min, ermöglicht Netzdienstleistungen

 Dynamik im Bereich | 10%/s im Bereich 0 – 100%



ÜP = Übergabepunkt  Last Gleichrichter  H₂ Lieferung an Übergabepunkt  H₂ Abblasen

Maßgebliche Systeme

- Verdichter
- Stromrichtersystem
- Prozesstechnik / Balance of Plant

Zustände

- Start: Warm / Kalt / Inertisiert
- In Betrieb

Technische Umsetzung der Dynamik

Maßgebliche Systeme

Verdichter



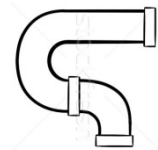
Muss vorgeheizt sein bevor H₂ eingespeist werden kann

Stromrichtersystem



Schneller Start, hohe Reaktionsfähigkeit

Prozesstechnik



Abgestimmt auf Dynamik der Gesamtanlage und Gashandling auch ohne Verdichter

Ausgangszustand

Nicht Betriebsbereit ~15 Minuten zum Anfahren der Hilfssysteme

Kalter Verdichter Start Inertisierte (i.d.R. nach Wartung) ~10 Minuten zum herausdrücken der Stickstofffüllung

Kalter Verdichter Start Verdichter vorwärmen (4-8 Stunden bis zur H₂ Einspeisung)

Warmer Verdichter Start Verdichter ist vorgewärmt, Anlage Startbereit

In Betrieb Volle Regel-möglichkeit gegeben

Primärleistung

Automatisch, geregelt auf Netzfrequenz, volle Erbringung (pos./neg.) innerhalb von 30 Sekunden, Leistungsabgabe max. 15 Minuten, min. 2% Nennleistung der Anlage

Sekundärleistung

Automatisch, geregelt auf Netzfrequenz, volle Erbringung innerhalb von max. 5 Minuten, Laständerung min. 2% der Nennlast pro Minute

Tertiärleistung

Automatisch, volle Erbringung innerhalb von max. 15 Minuten



Regulatorischer Rahmen muss für Verbraucher angepasst werden!

Mögliche Bereitstellungen von Regelleistungsreserven



Primärleistung

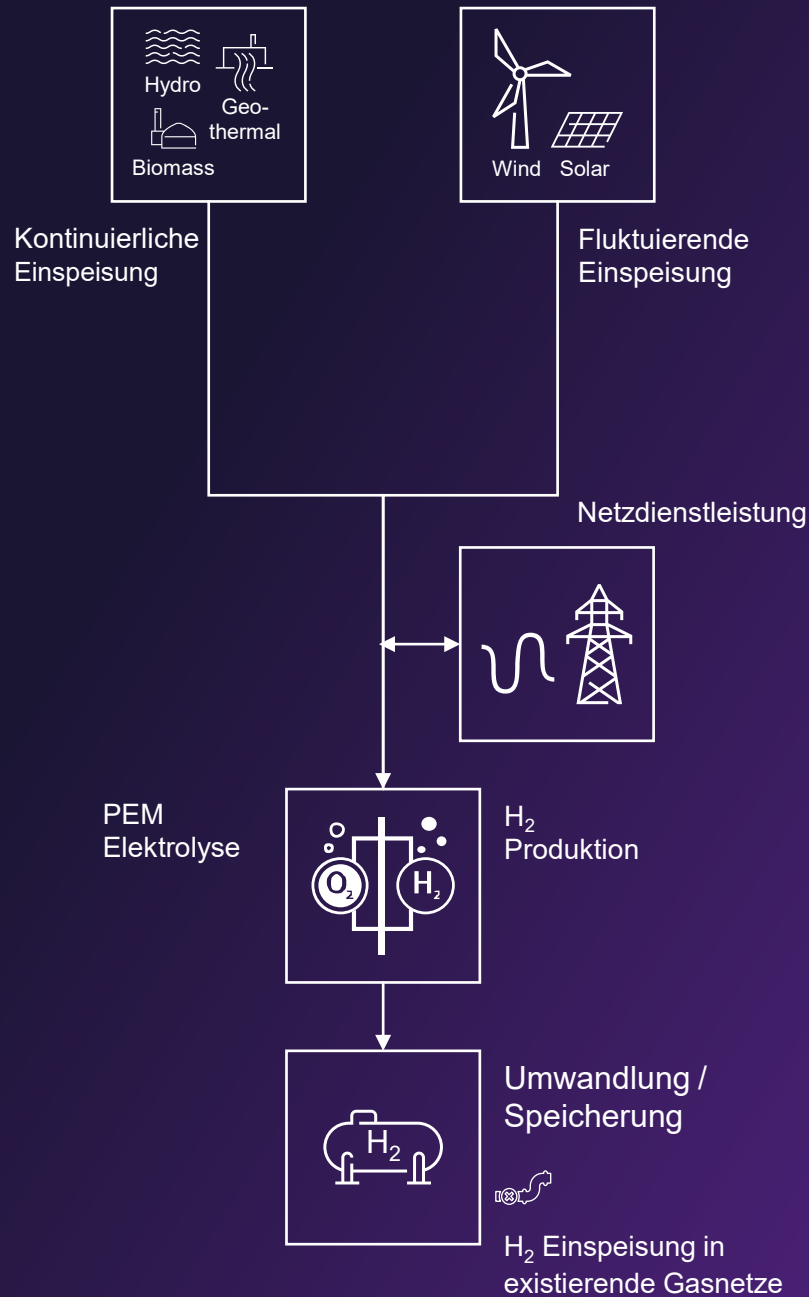
Fahrweise	Einspeisung ins Gasnetz?
Im Betrieb	Ja

Sekundärleistung

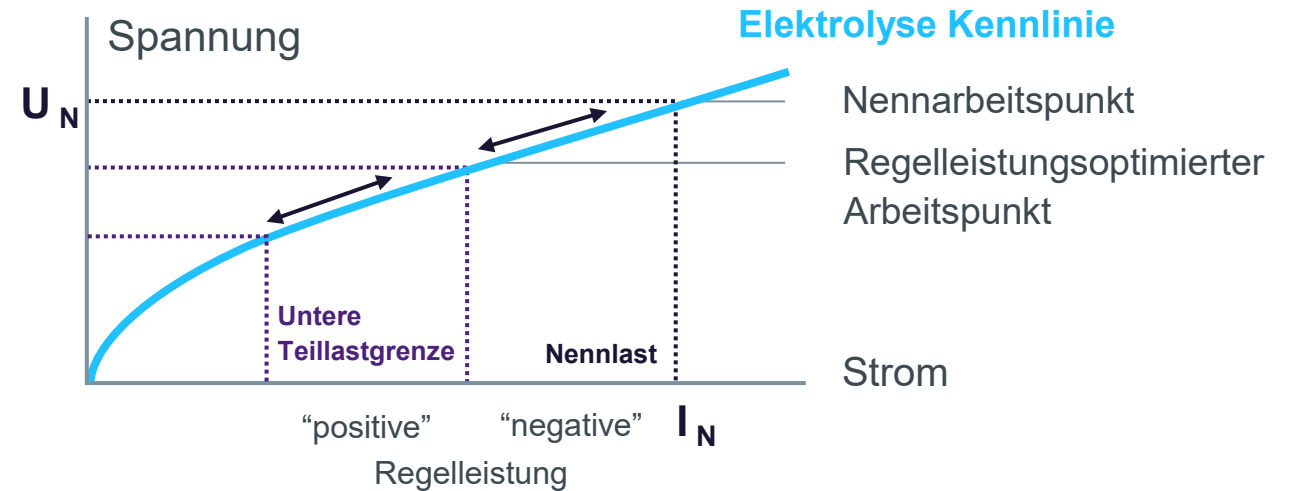
Fahrweise	Einspeisung ins Gasnetz?
Im Betrieb	Ja
Start Verdichter Warm	Ja
Start Verdichter Kalt	Nein
Start Verdichter Kalt inertisiertes System	Gas wird über Gaslanze ausgeblasen

Tertiärleistung

Fahrweise	Einspeisung ins Gasnetz?
Im Betrieb	Ja
Start Verdichter Warm	Ja
Start Verdichter Kalt	
Start Verdichter Kalt inertisiertes System	Nein
Start nicht-betriebsbereite Anlage	Gas wird über Gaslanze ausgeblasen



Optimaler Betrieb für Bereitstellung von Netzdienstleistungen bei Sektorkopplung



- Empfohlener Arbeitspunkt zwischen unterer Teillastgrenze und Nennlast
- + Hoch-dynamische Regelung $\pm 10\%$ Leistung / Sekunde
- + Hohe Gasqualität und geregelter Gasdruck
- + Hohe Effizienz der Anlage

Bereitstellung von “positive” und “negative” Primär-, Sekundär-, und Tertiärregelleistung möglich!

Beispiel S300

17,5 MW pro Array

Paralleler Betrieb beliebig vieler Arrays möglich

Jedes Array hat vorher gezeigten Möglichkeiten zur Erbringung von Netzdienstleistungen

Regelbereich steigt mit Anlagengröße!

Anlagengröße beeinflusst Regelbereich

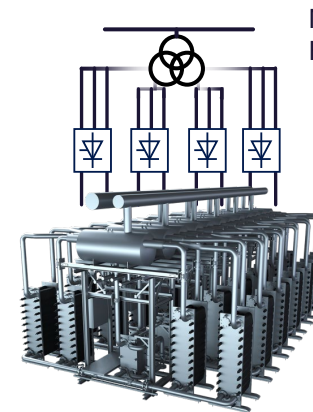


100 MW

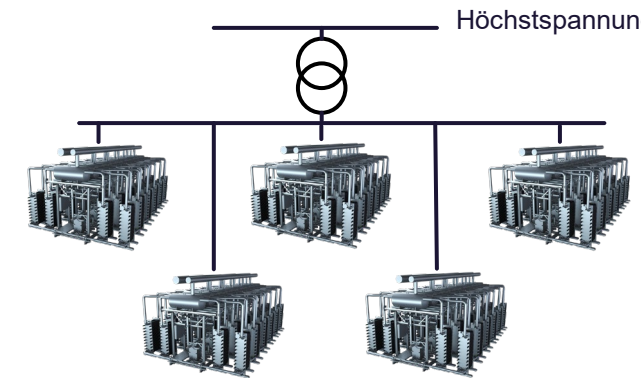
6x Array

3 GW

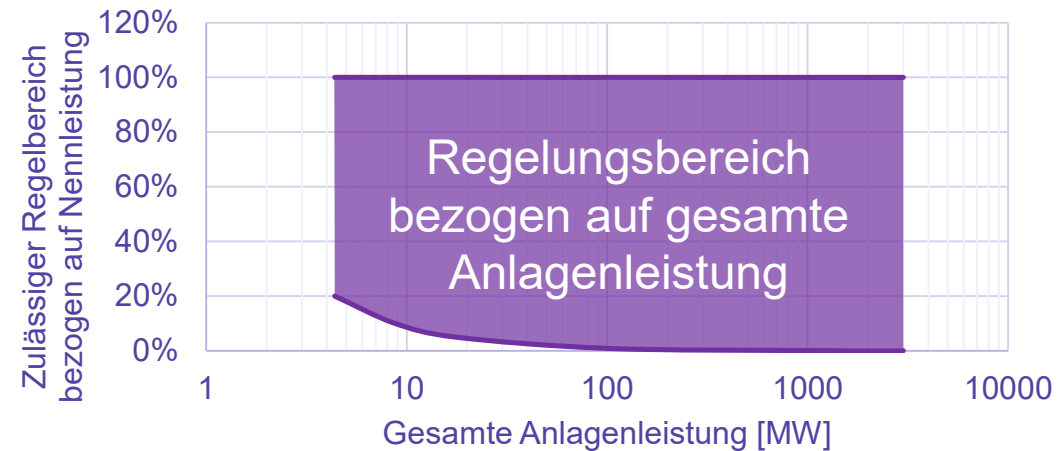
180x Array



Mittel- / Hochspannung



Höchstspannung





H2FUTURE

S300 Pilotanlage, Qualifiziert für Primär und Sekundärregelenergie in Österreich



6 MW Power demand
1,200 Nm³ of H₂/h



Wasserstoff zur Stahlgewinnung



Bereitstellung von Netzdienstleistungen

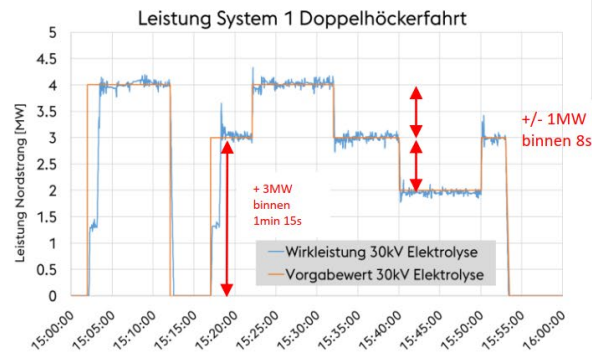
Installiert 2019



USE CASE 3: REGELENERGIEMARKT Präqualifizierung und Betrieb

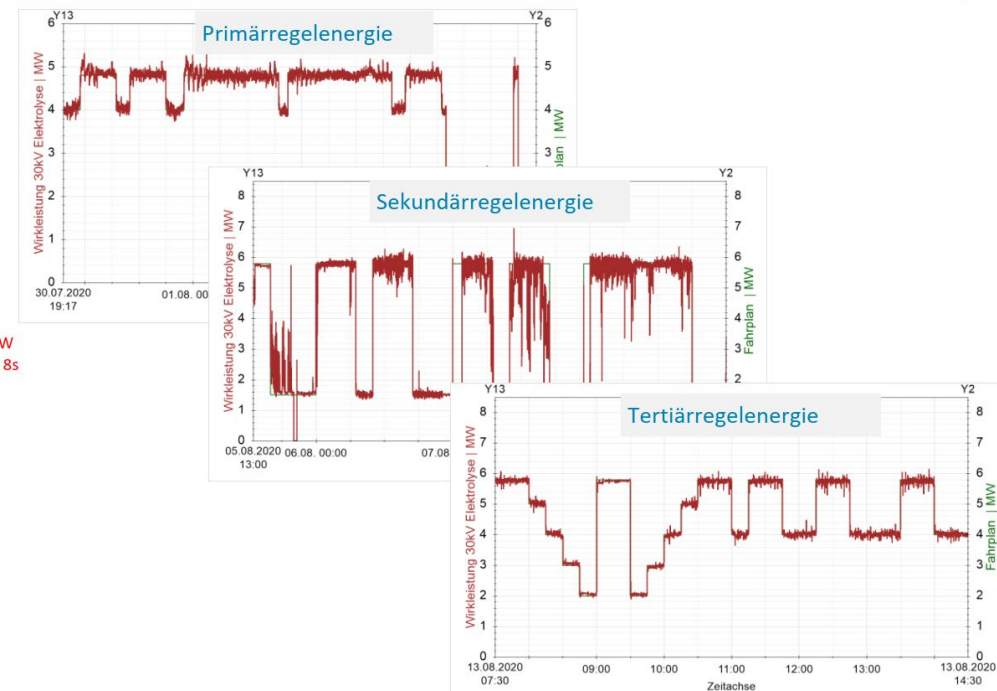
Präqualifizierung

- » „Doppelhöckerfahrt“
- » Primär- (<30s) und Sekundärregelenergie (<5min)



voestalpine Stahl GmbH

7 | 15.07.2020 | H2FUTURE



Dieses Projekt wurde von der gemeinsamen Unternehmung "Fuel Cells and Hydrogen 2" unter der Finanzhilfvereinbarung Nr. 735503 gefördert. Die Unternehmung wird durch das Forschungs- und Innovationsprogramm "Horizont 2020" der Europäischen Union sowie durch Hydrogen Europe und NERGHY unterstützt.

Stufenlos regelbarer Anlagenbetrieb

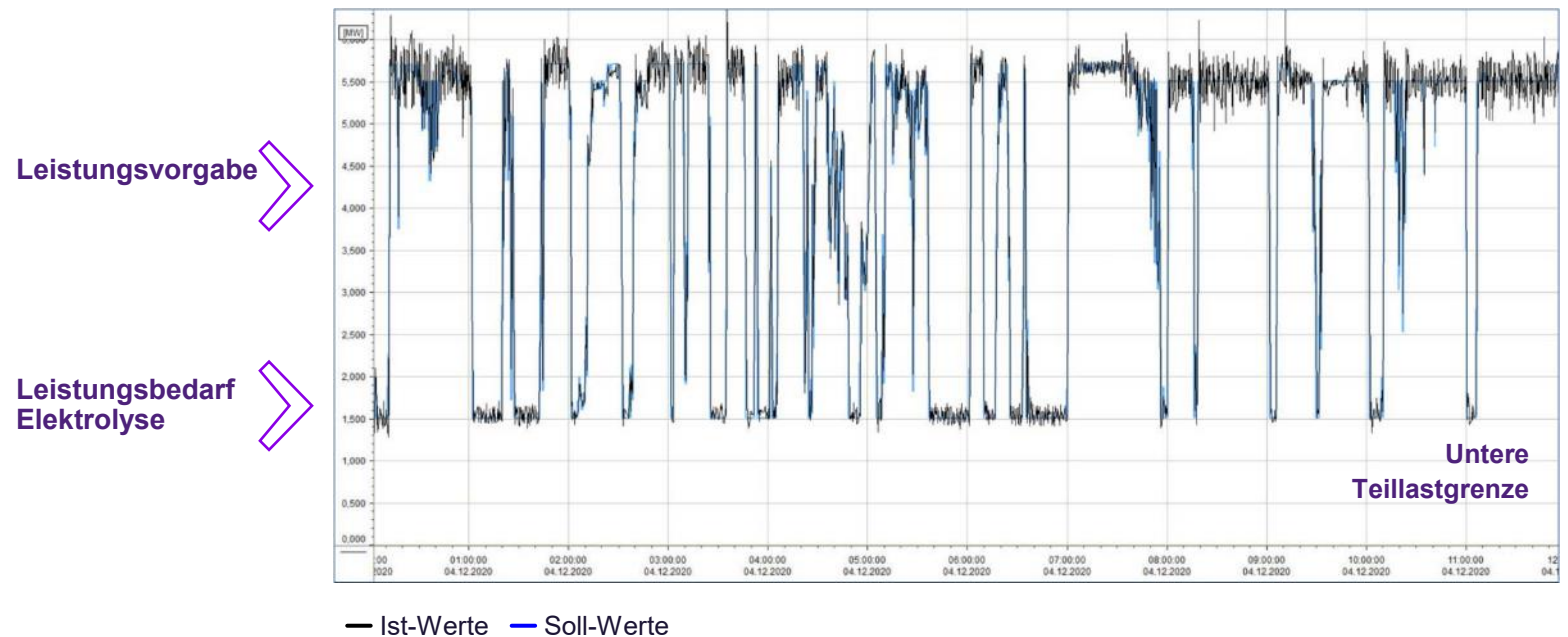
- Leistungsgesteuerter Betrieb auf der Grundlage des realen Strompreises mit 15-min. Zeitfenstern (nebenstehendes Beispiel)
- Dynamik: Maximale Rampenrate im Feld 10% pro Sekunde Leistungsänderung möglich
- Immer schnelles Hochfahren

Zukunftssichere flexible H₂-Produktion

Elektrolyseanlage unterstützt erneuerbare Energien und bietet Netzdienstleistungen

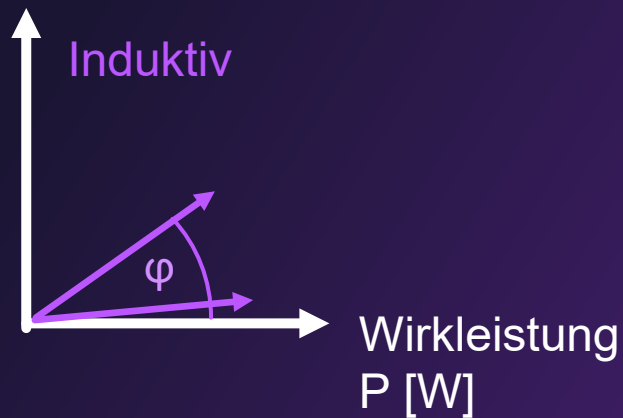


Reale Daten einer exemplarischen Elektrolyseanlage



Line-Commutated-Converter (LCC)

Blindleistung
Q [VAr]



Steuer-/Zündwinkel $\varphi > 5^\circ$
Anlage benötigt induktive
Blindleistung aus dem Netz
Typische Vorgaben: $\cos(\varphi) > 0,95$

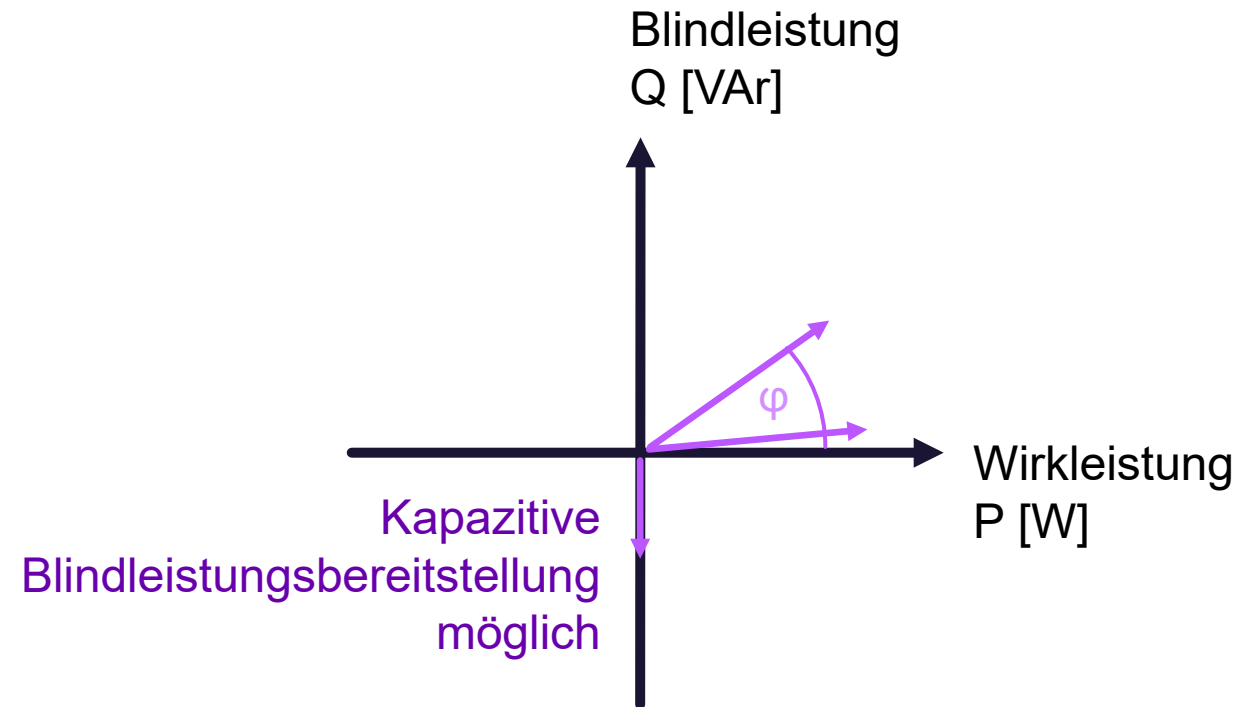
Blindleistungskompensation

Weitere Netzdienstleistungen möglich



LCC-Technologie benötigt kapazitive Kompensation

- Aktiver Filter kann bei Einbruch Netzspannung Überkompensieren (im regulären Betrieb nicht erlaubt!)



Integrierte FACTS kann bereitgestellt werden!

PEM-Elektrolyse

Ist die Wahl der Zukunft für die Erbringung von Netzdienstleistungen und zur dynamischen Sektorkopplung

- + Hoch-flexibler Betrieb
- + Bereitstellung von Primär-, Sekundär-, und Tertiärreserve technisch möglich
- + Induktive/Kapazitive Blindleistungsbereitstellung technisch möglich



Kontakt

SIEMENS
ENERGY

Veröffentlicht von Siemens Energy

Markus Engel

Leiter Systems Engineering

SE NEB TP SYS

Freyeslebenstr. 1

91058 Erlangen

Deutschland

Mobil: +49 (172) 1063764

markus.engel@siemens-energy.com

[siemens-energy.com](https://www.siemens-energy.com)



Backup



ENERGIEPARK MAINZ

World's largest PEM electrolysis facility in 2015



3.75 MW

Power demand/6.0 MW peak power (limited in time) based on three Silyzer 200

Project

Partners: Energiepark Mainz (JV of Linde and Mainzer Stadtwerke)
Country: Germany
Location: Mainz
Installation: 2015
Product: Silyzer 200

Challenge

- Installation of world's first PEM electrolysis plant in the multiple megawatt range
- Provision of balancing energy
- High degree of automation

Use cases



Green hydrogen is fed into the local natural gas grid



Hydrogen for regional filling stations



Delivery to surrounding industrial companies

Solutions

- Installation of three Silyzer 200 with a maximum power consumption of 6 MW
- Highly dynamic power consumption
- State-of-the-art process control technology based on SIMATIC PCS 7
- Hydrogen processing, condensing, and storage (provided by Linde)



1.25 MW

Power demand based on Silyzer 200

228 Nm³

of green hydrogen per hour

WINDGAS HAßFURT

First power-to-gas plant in Germany in 2016



Project

Partners: Windgas Haßfurt
Country: Germany
Location: Haßfurt
Installation: 2016
Product: Silyzer 200

Challenge

- Installation and integration into an existing setting at Stadtwerke Haßfurt GmbH
- Supply of a complete solution (water processing, drying, storage and feeding into the gas network)
- Demand-optimized operation harmonized with electricity costs

Use cases



Green hydrogen is fed into the local gas network



Re-electrification with a 140-kW hydrogen gas engine



Hydrogen is added to natural gas for a malthouse

Solutions

- Operation of a Silyzer 200
- Highly dynamic power consumption
- State-of-the-art process control technology based on SIMATIC PCS 7



HYDROGEN PARK SA (HYP SA)

Australian-first, integrated hydrogen-electricity-gas project to be built in Adelaide



1.25 MW

Power demand based on Silyzer 200

228 Nm³

of green hydrogen per hour


Project


Customer: Australian Gas Infrastructure Group (AGIG)
Country: Australia
Location: Adelaide, Tonsley
Installation: 2020 (planned)
Product: Silyzer 200

Challenge

- Installation in a high temperature location
- First overseas project with a significant local sourcing share of the auxiliaries
- First overseas transport of the Silyzer 200

Use cases

 Methane out of green hydrogen will be fed into the local gas network

 Supply of green hydrogen for mobility applications

Solutions

- Operation of one Silyzer 200
- State-of-the-art process control technology based on SIMATIC PCS 7



WORLD-FIRST POWER-TO-METHANE PROJECT

To inject green methane into the natural gas grid in Switzerland



2.5 MW

Power demand based on Silyzer 200

456 Nm³

of green hydrogen per hour


Project

Customer: Limeco
Country: Switzerland
Location: Dietikon ZH
Installation: 2020
Product: Silyzer 200

Challenge

- First industrial Power-to-Gas (Methane) project in Switzerland in collaboration with our project partner Schmack Biogas
- Hydrogen should also be usable for mobility use cases in the future

Use cases

-  Methane out of green hydrogen will be fed into the local gas network

Solutions

- Operation of two Silyzer 200 incl. process technology with a maximum of 2.5 MW
- By biological methanation sewage gas is refined with hydrogen – thus creating green methane
- Both Hydrogen and Methane technologies are in the same building
- State-of-the-art process control technology based on SIMATIC PCS 7 over the whole plant



6 MW

Power demand based on
Silyzer 300

1,200 Nm³
of green hydrogen per hour



H2FUTURE

A European Flagship project for generation and use of green hydrogen



Project

Partner: VERBUND (coordination),
voestalpine, Austrian Power
Grid (APG), TNO, K1-MET
Country: Austria
Installed: 2019
Product: Silyzer 300

Challenge

- Potential for “breakthrough” steelmaking technologies which replace carbon by green hydrogen as basis for further upscaling to industrial dimensions
- Installation and integration into an existing coke oven gas pipeline at the steel plant
- High electrolysis system efficiency of 80%



This project has received funding from the Fuel Cells and Hydrogen 2 Joint Undertaking under grant agreement No 735503. This Joint Undertaking receives support from the European Union’s Horizon 2020 research and innovative program and Hydrogen Europe and NERGHY

Use cases



Hydrogen for the steel making process



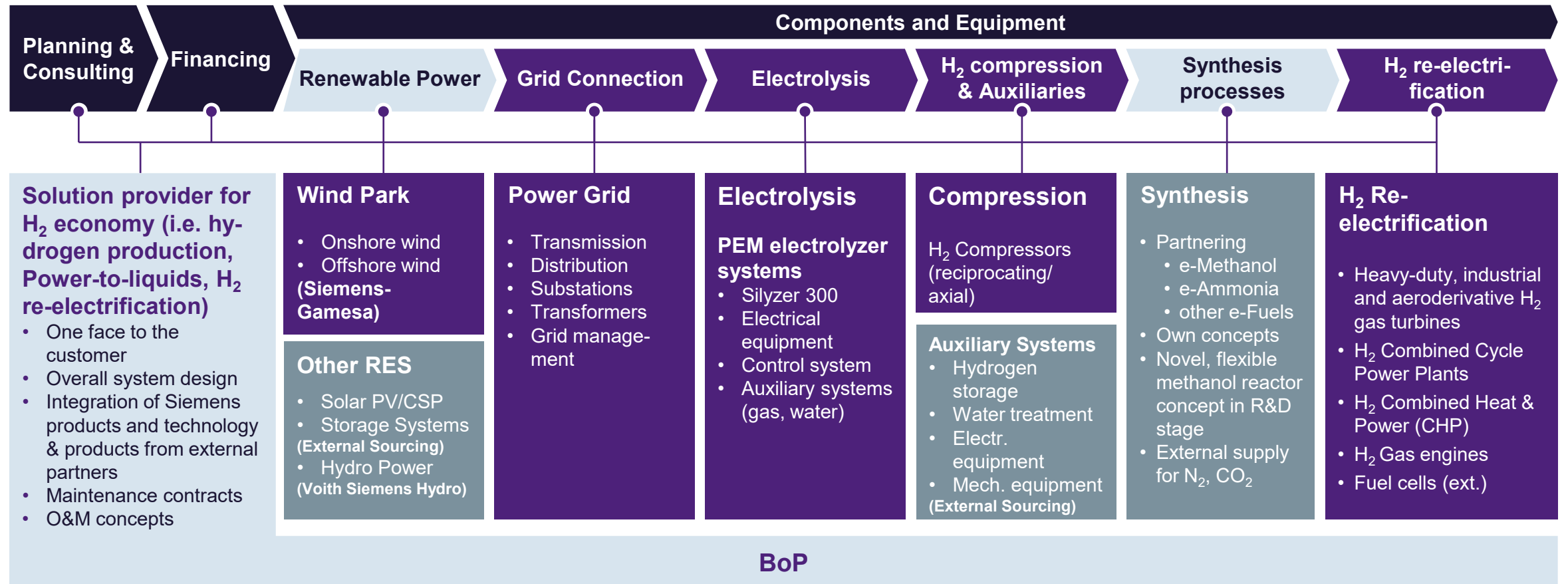
Supply grid services

Solutions







- Operation of a 12-module array Silyzer 300
- Highly dynamic power consumption – enabling grid services
- State-of-the-art process control technology based on SIMATIC PCS 7

Siemens Energy can offer products, solutions and services across the whole hydrogen/P2X value chain

Siemens Energy covers most value chain parts to deliver Hydrogen/Power-to-X projects on a turnkey basis.



Our references for Power-to-Gas as well as Power-to-Liquid plants have different end applications

Year	Country	Project	Customer	Power demand	Product offering	
2015	Germany	Energiepark Mainz	Municipality of Mainz	3.80 MW/6 MW (peak)	Pilot Silyzer 200	
2016	Germany	Wind Gas Haßfurt	Municipality of Haßfurt Greenpeace Energy	1.25 MW	Silyzer 200	
2020	Australia	Hydrogen Park SA (HyP SA)	Australian Gas Infrastructure Group (AGIG)	1.25 MW	Silyzer 200	
2020	Switzerland	Power-to-Gas (Methane)	Limeco	2.50 MW	Silyzer 200	
2020	Germany	Power-to-Liquid	Renewable Investor	1.25 MW	Silyzer 200	
2021	UAE	DEWA Expo 2020	Dubai Electricity and Water Authority (DEWA)	1.25 MW	Silyzer 200	



We have several references for our Silyzer portfolio in all applications ...