Herausforderungen für Windparkbetreiber und Chancen durch Power to Gas

Forum 16, 28. Windenergietage, Potsdam, 2019-11-06

Erik Wolf, Siemens Energy, Hydrogen Solution, Erlangen
Dr. Rainer Saliger, Siemens AG Dezentrale Energiesysteme, Nürnberg

© Siemens AG

Gliederung

SIEMENS
Ingenuity for life

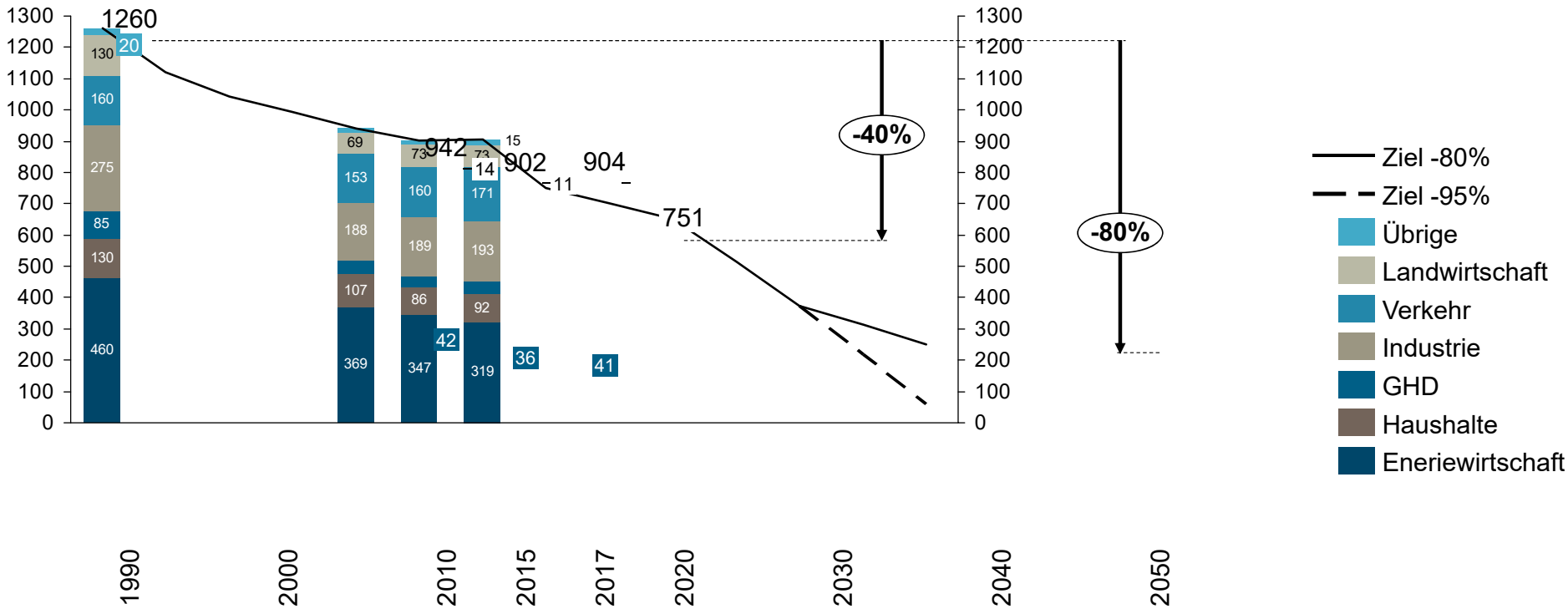
- Veränderungen des Energiesystems
- Siemens PEM Electrolyzer – Technik, Anwendungen und Wirtschaftlichkeit
- Power to Gas als Chance für die Windenergiebranche

Unrestricted © Siemens AG 2019

Senkung der CO_2-Emissionen als vorrangige Aufgabe -
Energiewende war in Deutschland bisher vor allem eine Stromwende

SIEMENS
Ingenuity for life

Treibhausgas-Emissionen in Mio t $CO_{2,\ eq.}$



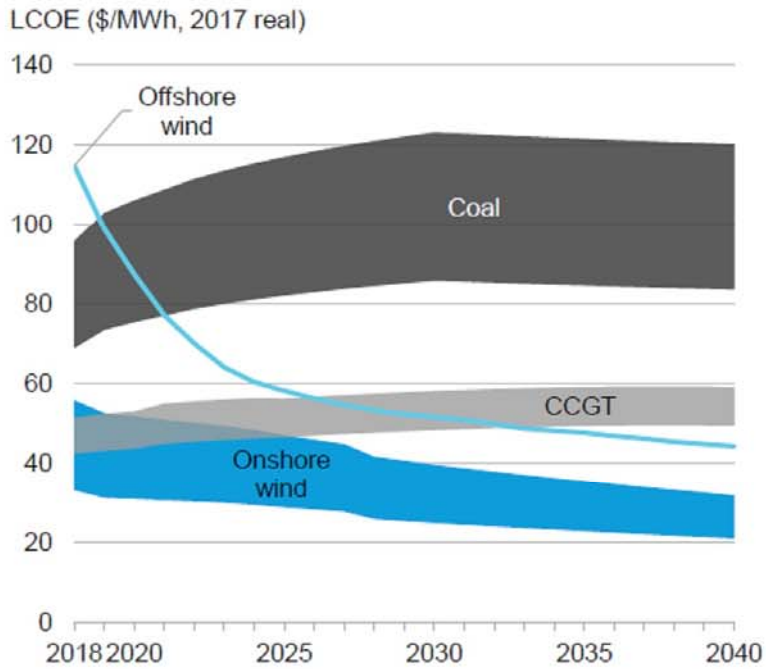
Quelle: Umweltbundesamt 2018

Unrestricted © Siemens AG 2019

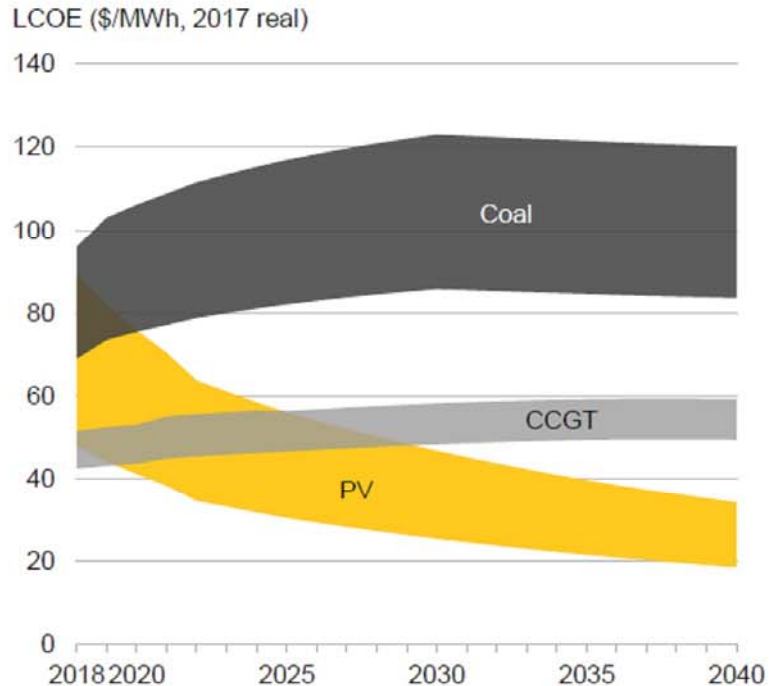
Wind- und Solar-PV in vielen Ländern bereits der günstigste Weg Energie bereit zu stellen

SIEMENS
Ingenuity for life

Stromgestehungskosten für Onshore Wind und große MW-PV-Anlagen im Vergleich zu konventioneller Erzeugung für Standorte in den USA



Source: Bloomberg New Energy Finance



Source: Bloomberg New Energy Finance

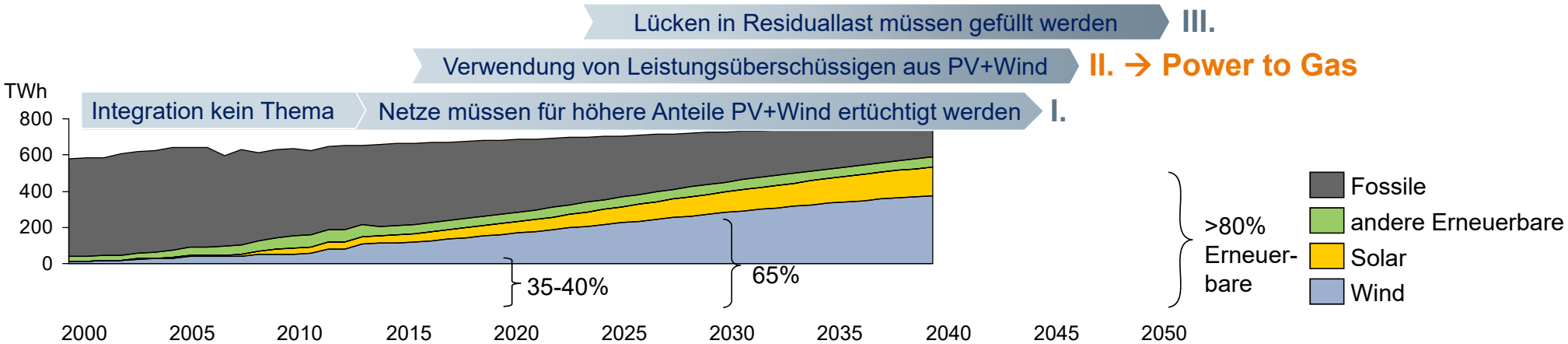
Unrestricted © Siemens AG 2019

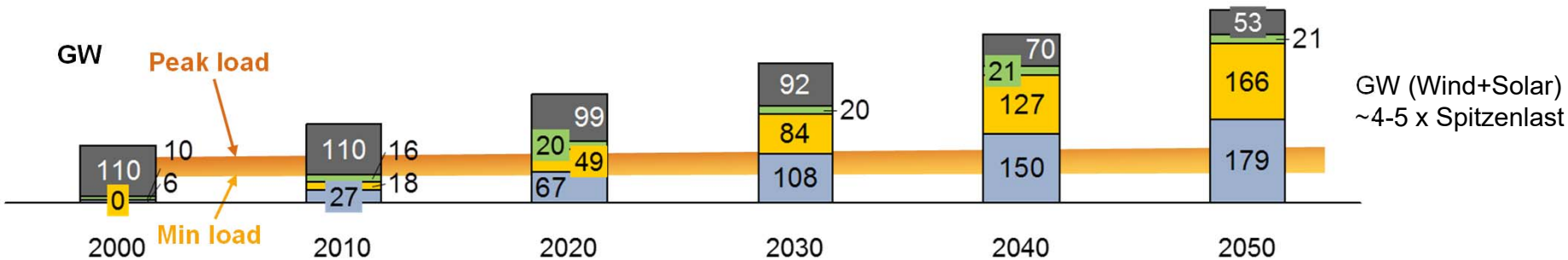
EE-Ziele im Stromsektor nur durch Wind und Solar erreichbar

Massive Überinstallation an Erzeugungsleistung notwendig

SIEMENS
Ingenuity for life

Verschiedene Stadien der Integration von volatilen Energien

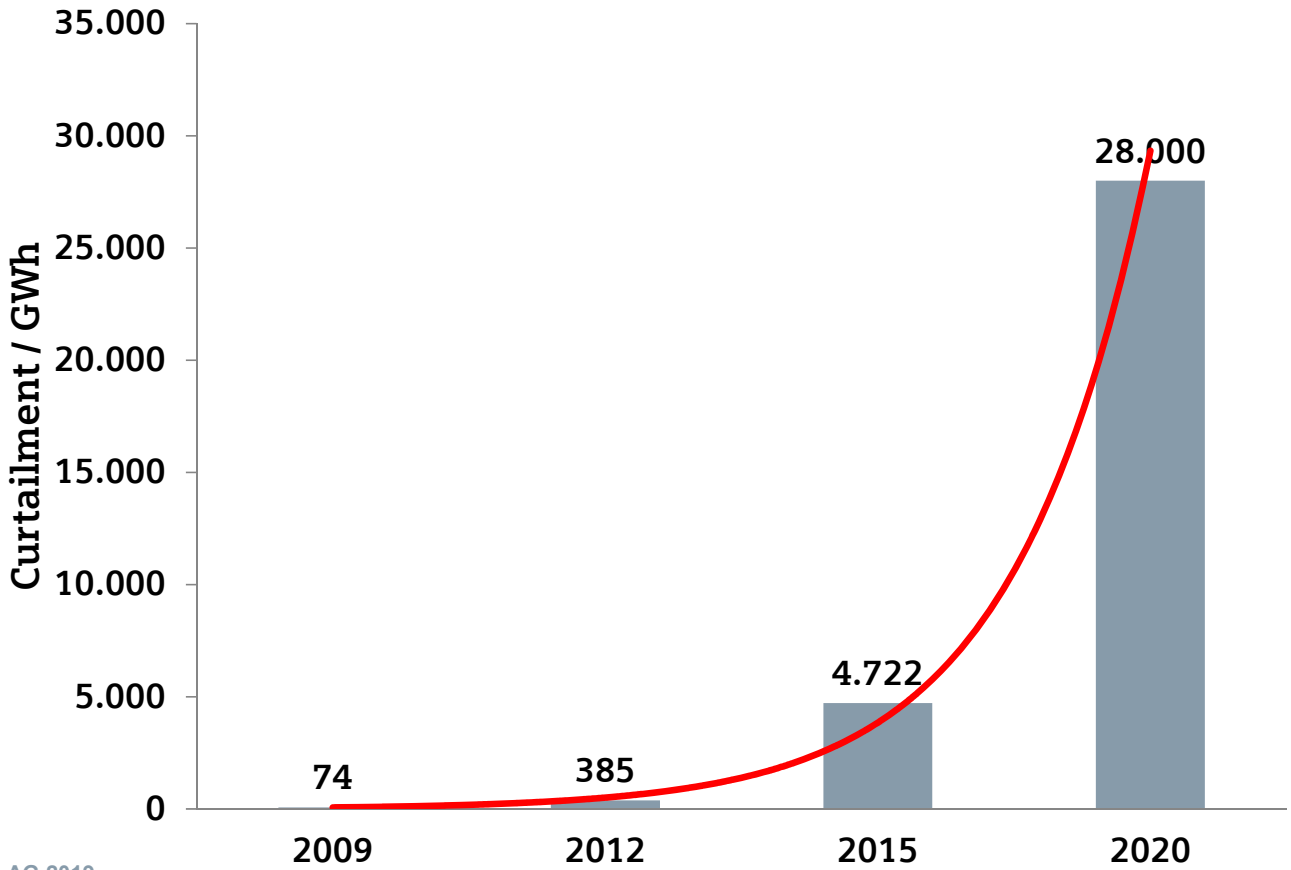




Unrestricted © Siemens AG 2019

Quelle: BMWi Energiedaten, Extrapolation auf EE-Ziele der Bundesregierung

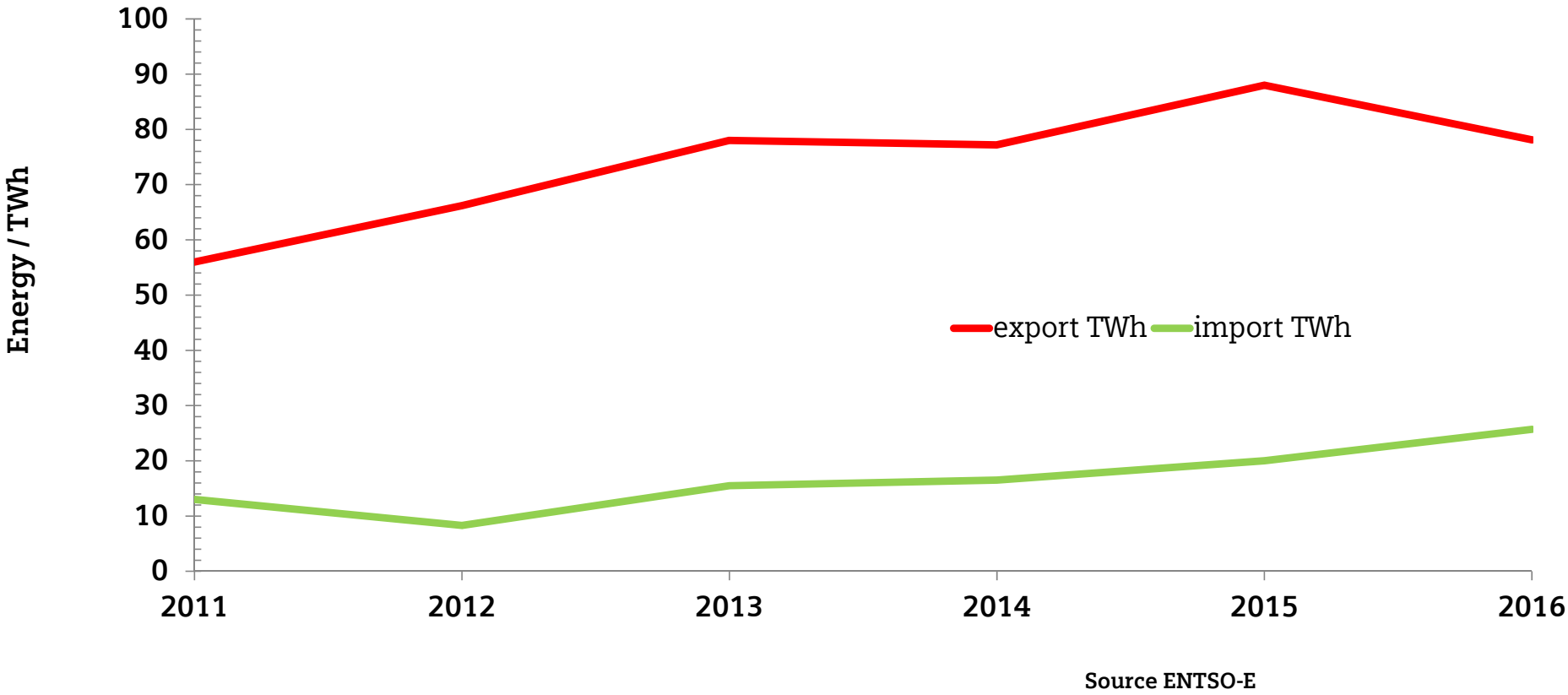
Abregelung
Deutschland ~ 6TWh



Unrestricted © Siemens AG 2019

Größter Energie-Exporteur Europas

Deutschland ~ 60TWh

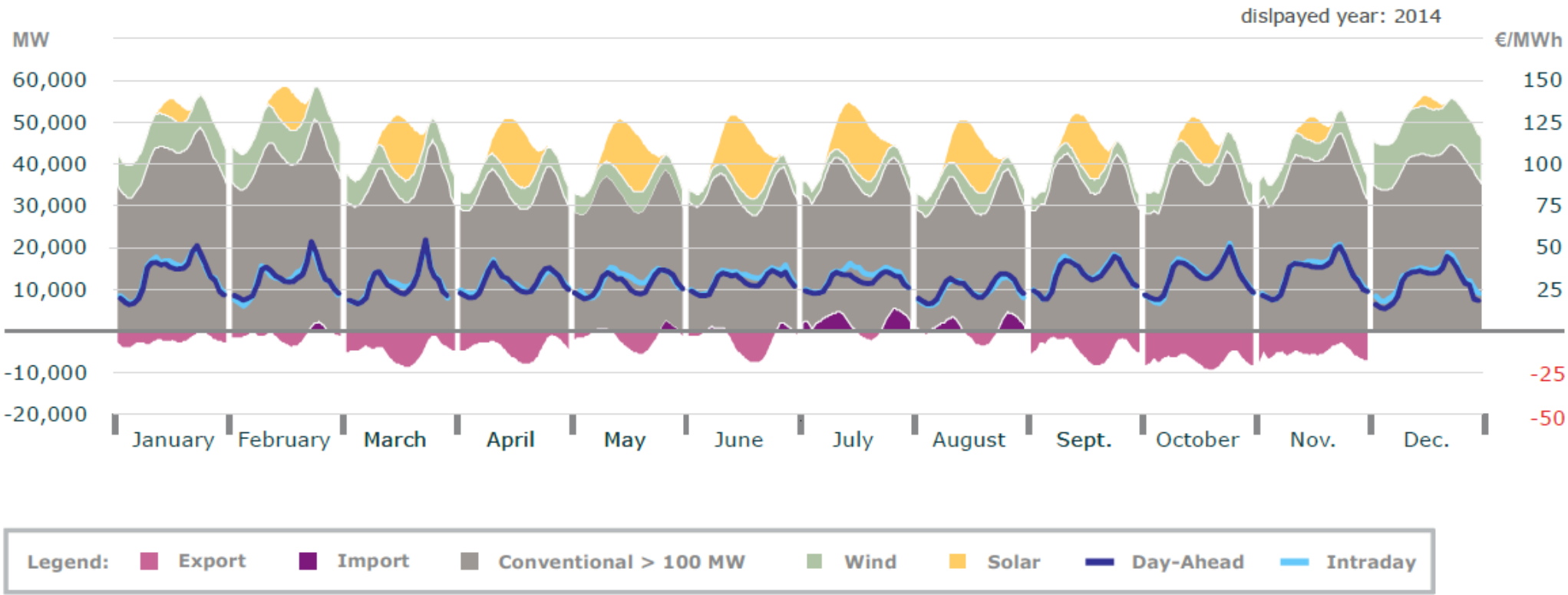


Unrestricted © Siemens AG 2019

Energieexporte

…korrelieren mit der Produktion der Erneuerbaren Energien

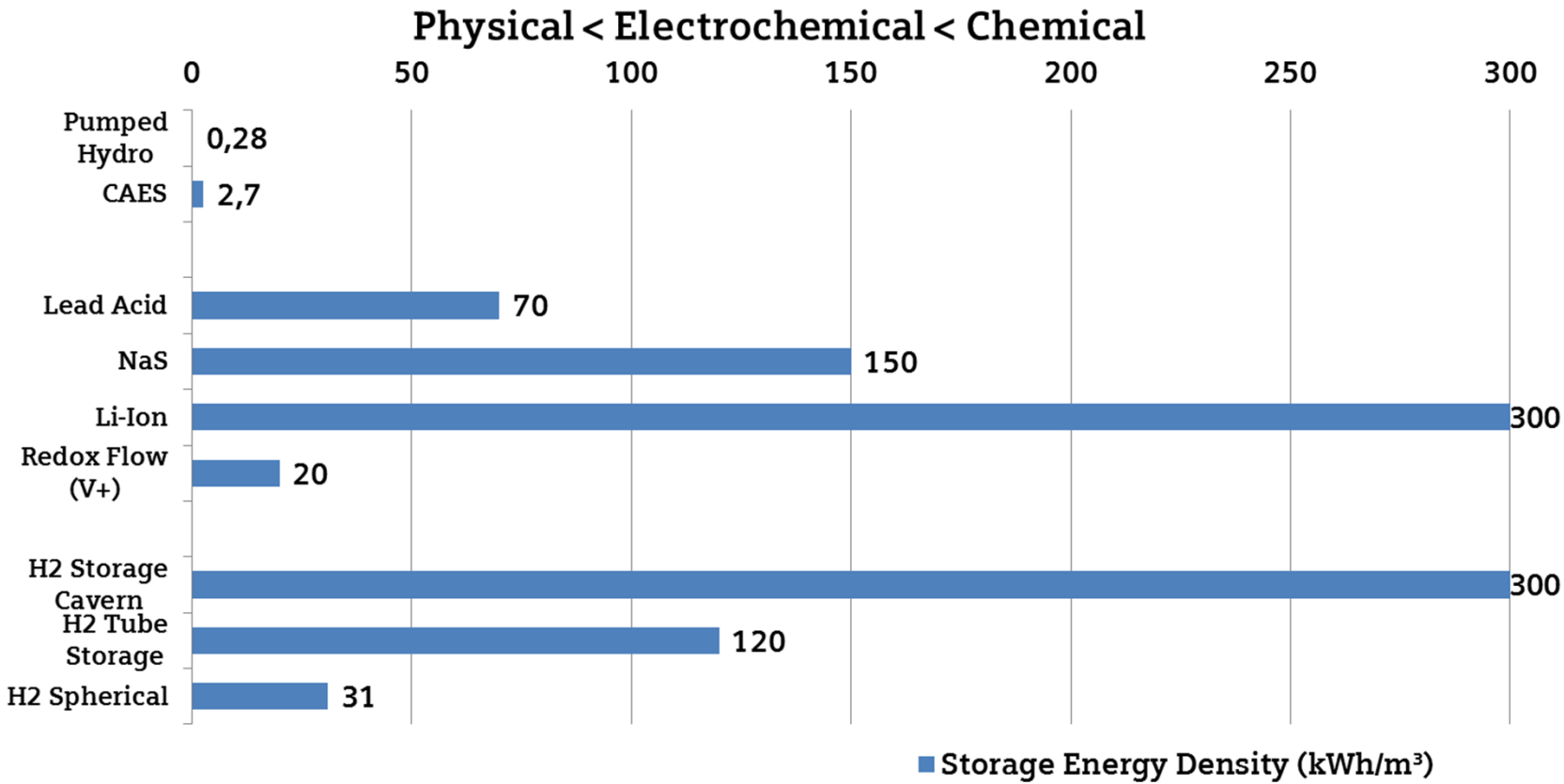
SIEMENS
Ingenuity for life



Source: https://www.energy-charts.de

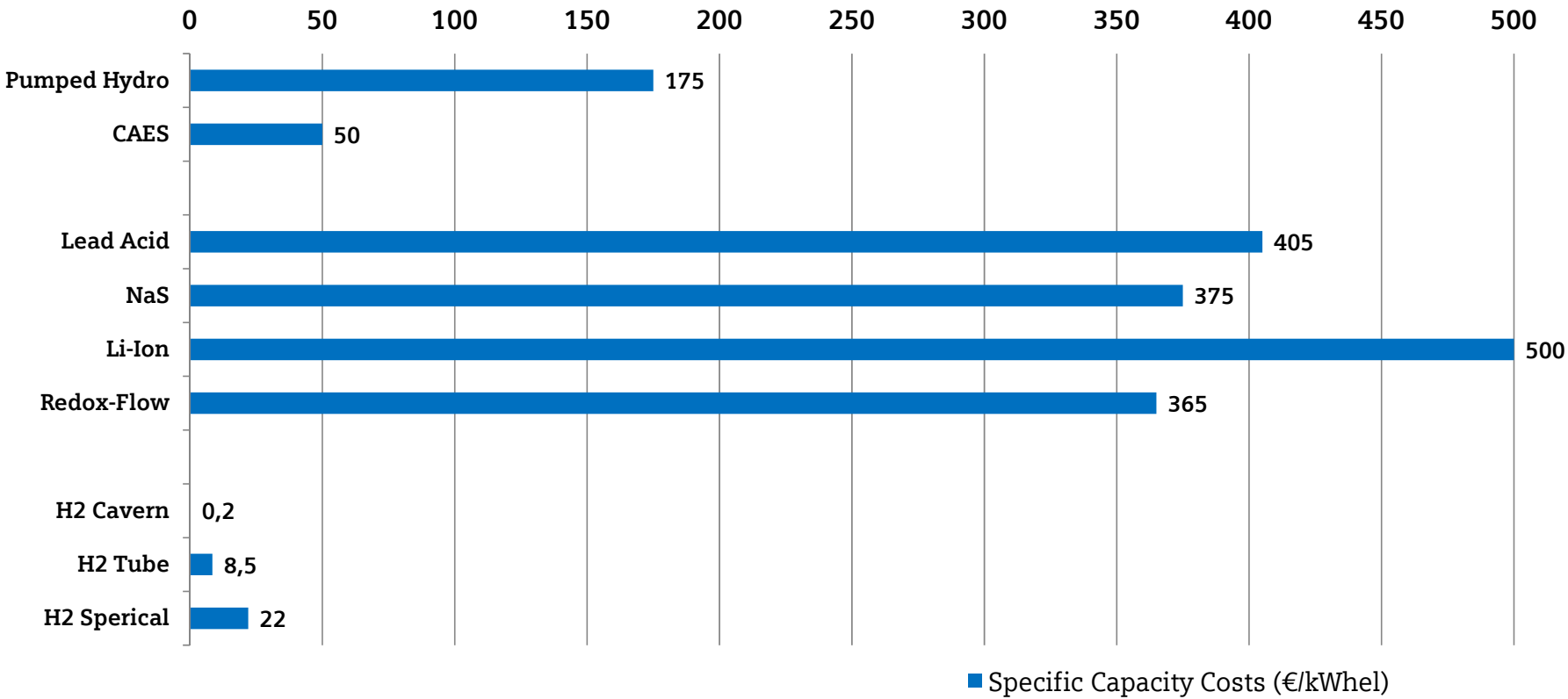
Unrestricted © Siemens AG 2019

Energy storage
Volumetric Energy Density



Unrestricted © Siemens AG 2019

Energy storage
Specific storage costs



Unrestricted © Siemens AG 2019

Elektrolyse spaltet Wasser in Sauerstoff und Wasserstoff mittels elektrischem Strom

SIEMENS
Ingenuity for life

1800

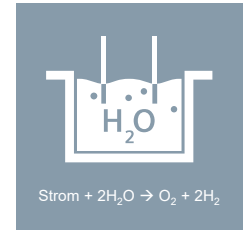
William Nicholson und Anthony Carlisle entdeckten die Elektrolyse, also die Spaltung von Wasser in Wasserstoff und Sauerstoff mithilfe von elektrischem Strom und begründeten damit ein neues Feld der Chemie: Die Elektrochemie

1888

Eine Methode zur industriellen Darstellung von Wasserstoff und Sauerstoff durch Elektrolyse wurde von Dmitry Lachinov entwickelt.

Wie funktioniert Elektrolyse?

- Eine **Gleichstromquelle** ist mit zwei **Elektroden** verbunden, die im **Wasser** platziert werden
- Ein **Elektrolyt** erlaubt den Ladungsaustausch und ist **Namensgeber** der verschiedenen Technologien
- **Wasserstoff** tritt an der **Kathode** hervor, **Sauerstoff** an der **Anode**
- Die **Produktionsrate** ist **proportional zur elektrischen Ladung**



Zahlen und Fakten

- **1 kg** Wasserstoff benötigt stöchiometrisch **9 Liter Wasser**
- Der **Energiegehalt** von **1 kg** Wasserstoff entspricht **39,4 kWh**

Brennwert in kWh/kg [1)]

39 Wasserstoff

16 Methan

13 Diesel

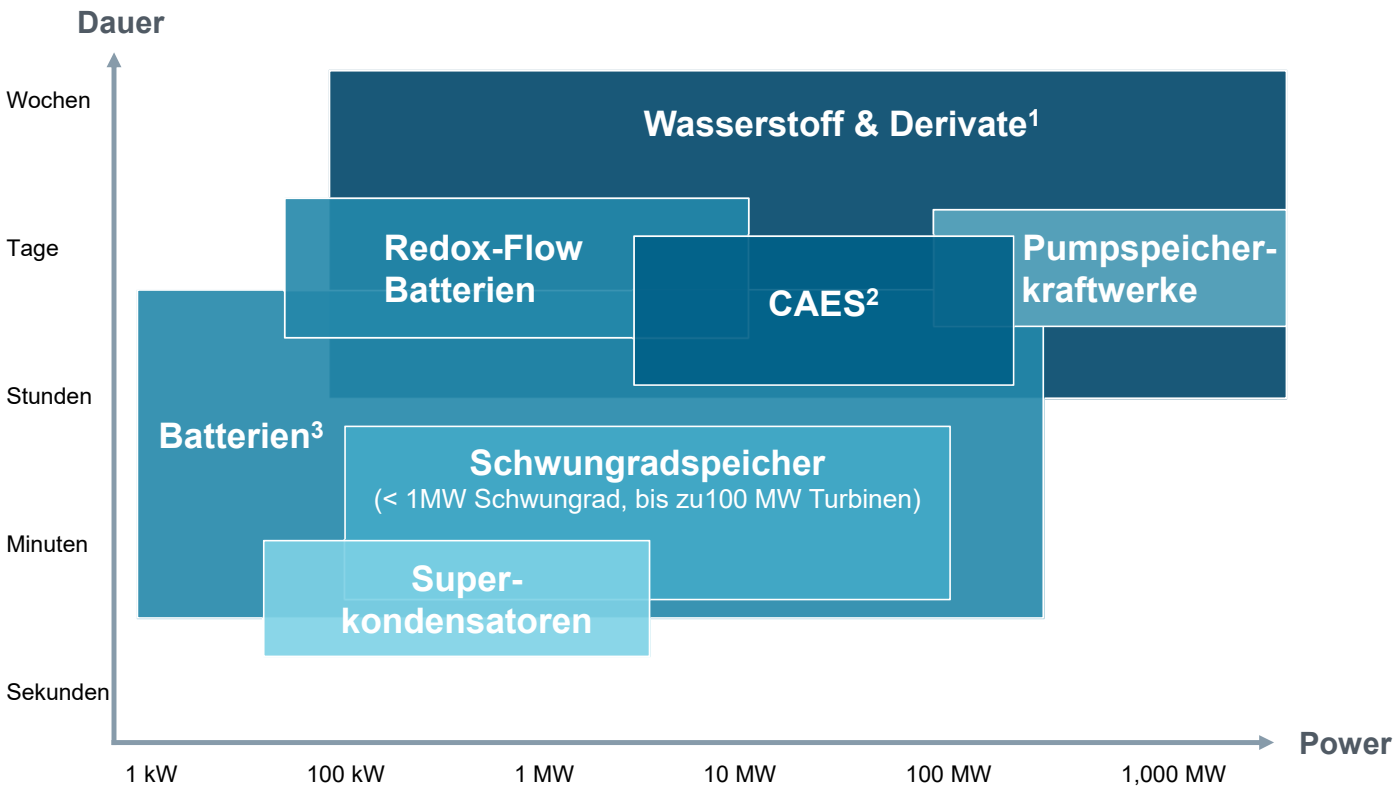
13 Benzin

[1] http://www.linde-gas.at/internet.lg.lg.aut/de/images/1007_rechnen_sie_mit_wasserstoff_v110550_169419.pdf

Unrestricted © Siemens AG 2019

Speichertechnikübersicht
Wasserstoffpfad einziger Langzeitspeicher

SIEMENS
Ingenuity for life



Wasserstoff ist kosteneffizient und in großem Umfang speicherbar.

Speichertyp
- Chemisch
- Elektrochemisch
- Mechanisch
- Elektrisch

[1] wie z.B. Ammoniak, Kohlenwasserstoffe
[2] Compressed Air Energy Storage;
[3] Li-Ion, NaS, Bleisäure, etc.

Unrestricted © Siemens AG 2019

Gliederung

SIEMENS
Ingenuity for life

- Veränderungen des Energiesystems
- Aktueller Status Siemens PEM Elektrolyseur – Technik, Anwendungen und Wirtschaftlichkeit
- Power to Gas als Chance für die Windenergiebranche

Unrestricted © Siemens AG 2019

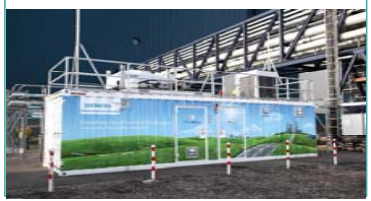
Evolution der Siemens' PEM Elektrolyse

SIEMENS
Ingenuity for life

0,1 MW → 1 MW → 10 MW → 100 MW → 1000 MW

2011

Silyzer 100
Small-scale
~150k Nm³ H_2



2015

Silyzer 200
~86.500 Bh
~7.3 mio Nm³ H_2

Weltgrößte Power-to-Gas-Anlage

2018

Silyzer 300

Weltgrößte PEM-Zelle

2023+

Nächste Generation
In Entwicklung

2030+

Untersuchungen
und Machbarkeitsstudien

1) Bh.: Betriebsstunden; Daten Bh & Nm³ ab Jan. 2019

Unrestricted © Siemens AG 2019

Silyzer 200
Mit Hochdruck effizient in den MW-Bereich

SIEMENS
Ingenuity for life

5 MW

Weltgrößte PEM-Elektrolyseanlage – Im Betrieb in Hamburg

65 %

Wirkungsgrad bei Nennleistung

20 kg

Wasserstoffproduktion pro Stunde

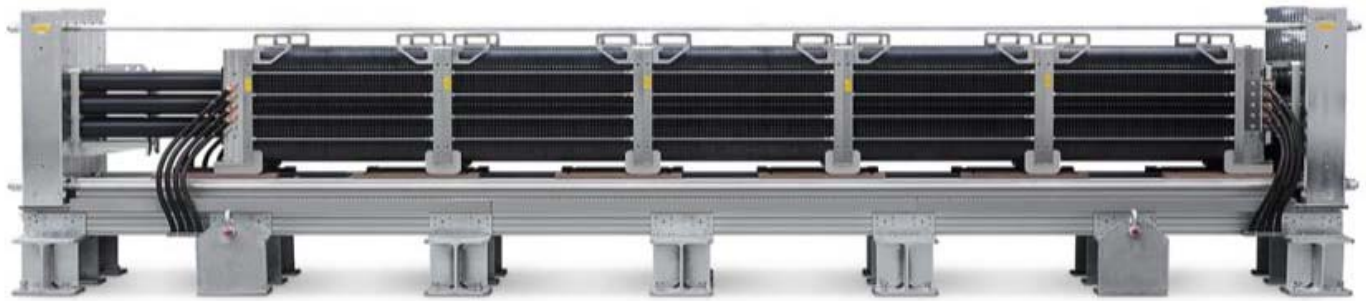
1.25 MW

Elektrische Energieaufnahme im Nennpunkt

Unrestricted © Siemens AG 2019

Silyzer 200
Technische Daten

SIEMENS
Ingenuity for life



Main technical data			
Electrolysis type / principle	PEM	Rated H_2 production	20.5 kg/h
Rated Silyzer 200 power	1.25 MW	Stack efficiency	> 68 %
Dimension skid	6.3 x 3.1 x 3.0 m	Rated Silyzer 200 efficiency	65 % @ rated power
Start up time (from hot stand-by)	10 sec	Stack design life time	80,000 OH[2]
Output pressure	Up to 35 bar	Weight per skid	17 t
Purity H_2 (depending on operation)	99.5 % - 99.9 %	CE-Conformity	Yes
H_2 quality 5.0[3]	DeOxo /Dryer option	Rated tap[4] water requirement	300 l/h

All values calculated for ISO conditions: T_{amb}=15°C, 60 % rel. humidity, 1.013 bar, air cooled, new and clean, HHV[1] of hydrogen= 39.41 kWh/kg

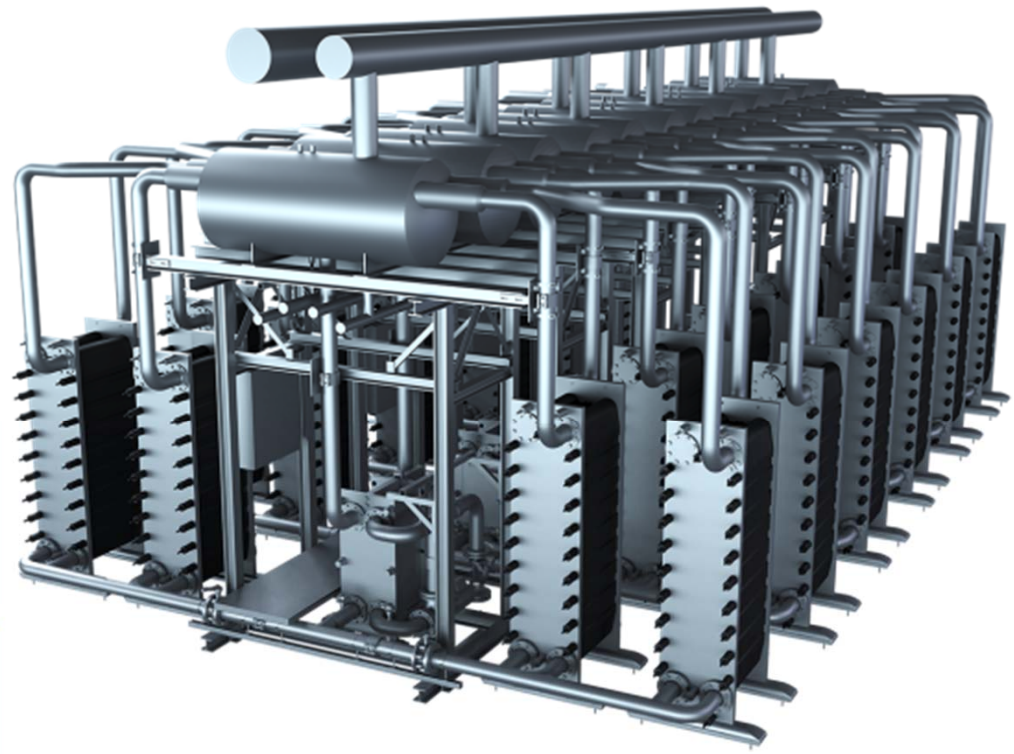
[1] Higher Heating Value [2] Operating Hours [3] 99,999% purity [4] about 600-1000 µS/cm

Unrestricted © Siemens AG 2019

Silyzer 300
the next paradigm in PEM electrolysis

SIEMENS
Ingenuity for life

17.5 MW	Power demand per full Module Array (24 modules)
75 %	System efficiency (higher heating value)
24 modules	to build a full Module Array
340 kg	hydrogen per hour per full Module Array (24 modules)



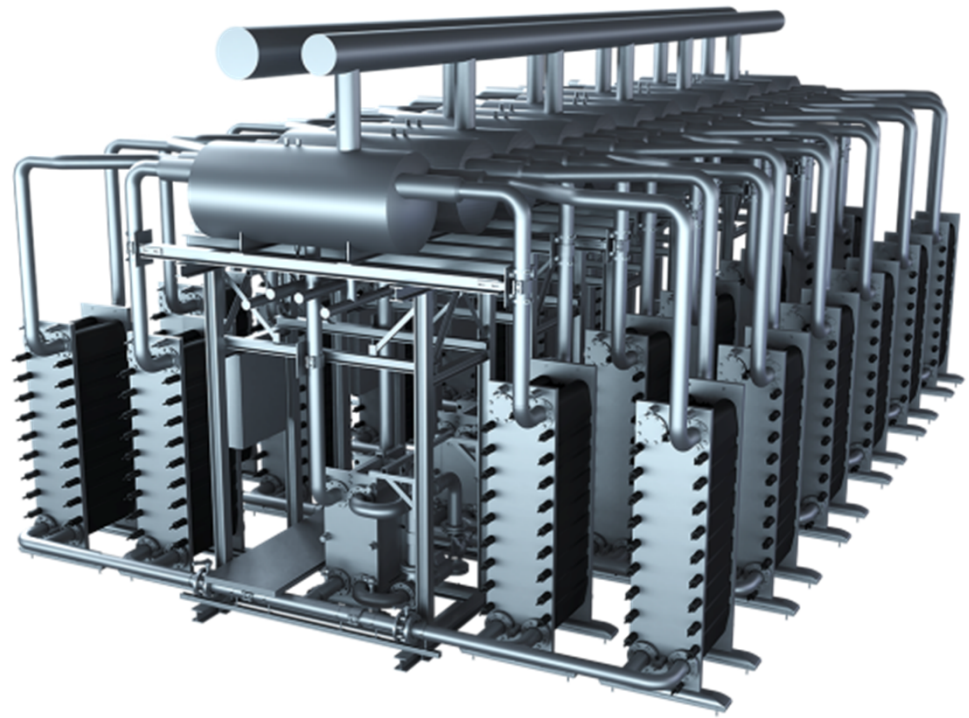
Silyzer 300 – Module Array (24 modules)

Unrestricted © Siemens AG 2019

Silyzer 300
Technische Daten

SIEMENS
Ingenuity for life

Hydrogen production	340 kg/h
Plant efficiency (HHV[1])	> 75 %
Power demand	17.5 MW
Start up time	< 1min, enabled for PFRS[2]
Dynamics in range	10 %/s in 0-100 %
Minimal load	20 % single module
Dimension full Mod. Array	13.0 x 6.0 x 3.0 m
Array lifetime	> 20 a (Module ≈ 10 a)
Plant availability	~ 95 %
Demin water consumption	10 l/kg H_2
Dry gas quality[3]	99.999 %
Delivery pressure	customized



[1] Plant efficiency includes rectifier, transformer, transformer cooling and gas cooling [2] Primary Frequency Response Service [3] w/ DeOxo

Unrestricted © Siemens AG 2019

Power to Gas (Hydrogen)
Hydrogen Electrolysis

SIEMENS
Ingenuity for life

Power to Gas (Hydrogen)

Gas Storage (price estimates per $kWh_{(th)}$)

Low pressure vessel	**150MWh** **15€ - 60€**
High pressure vessel	**2.250MWh** **13€ - 50€**
High pressure tube	**4.300MWh** **5€ - 30€**
Cavern	**240.000MWh** **0,12€ - 0,3€**

Unrestricted © Siemens AG 2019

Energie Park Mainz

H2 Storage 700kg / 23MWh$_{(th)}$

SIEMENS
Ingenuity for life

- 2x Gasspeicher 80 bar
- ~700kg H2 mit einem Heizwert von 23 MWh

Unrestricted © Siemens AG 2019

6MW PEM Electrolyzer Energy Park Mainz

SIEMENS
Ingenuity for life

Power grid connection 20kV

Transformer-Rectifier Unit

Electrolysis 2-3.5 MPa

DeOxo Unit

Ionic Compressor

Condensate trap

Compressor 1st stage

Compressor 2nd stage

Gas storage (max. 8 MPa)

NG grid injection

Final drying

Trailer filling 22.5 MPa

Water purification

Condensate recycle

Public© Siemens AG 2016

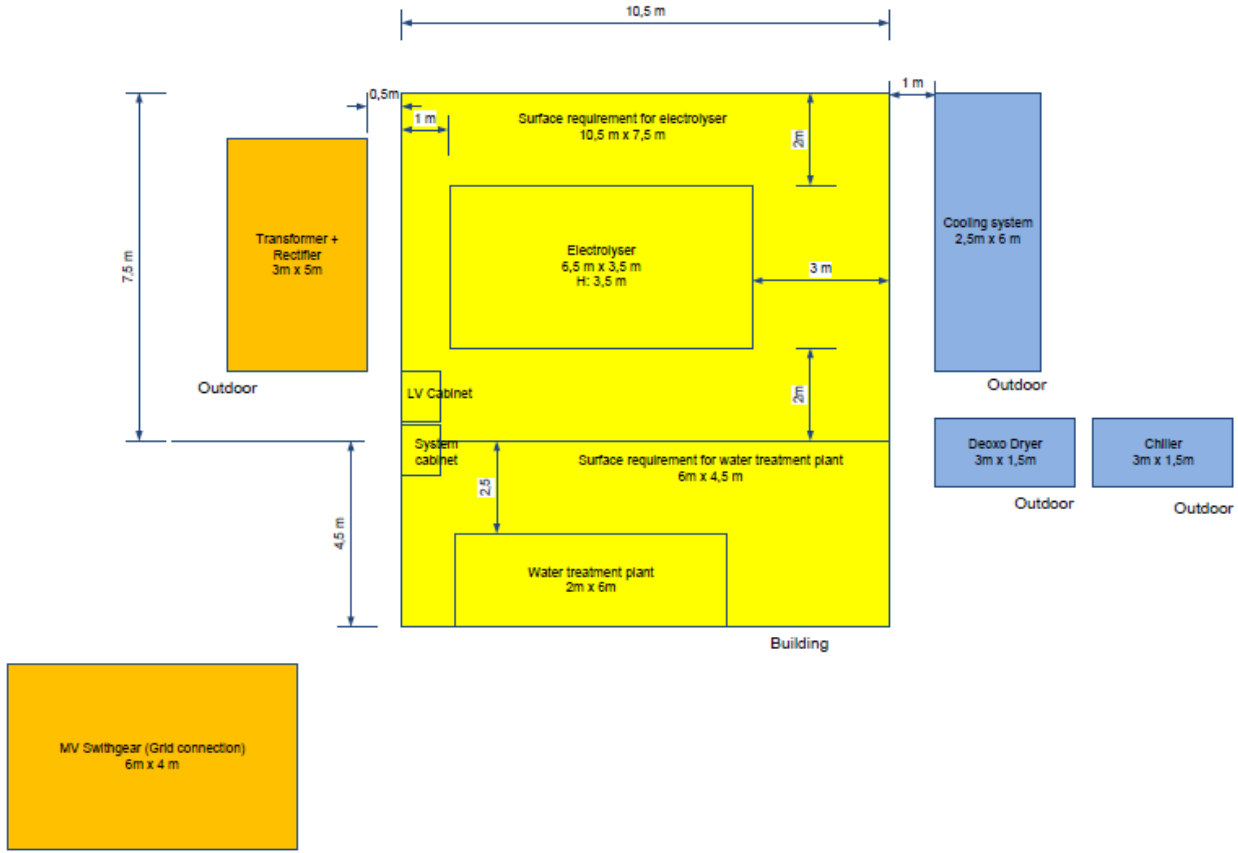
Unrestricted © Siemens AG 2019

Übersicht ausgeführter Anlagen

SIEMENS
Ingenuity for life

Unrestricted © Siemens AG 2019

Hallenaufstellung 1,25MW
1 x Silyzer 200 (10m x 10m)

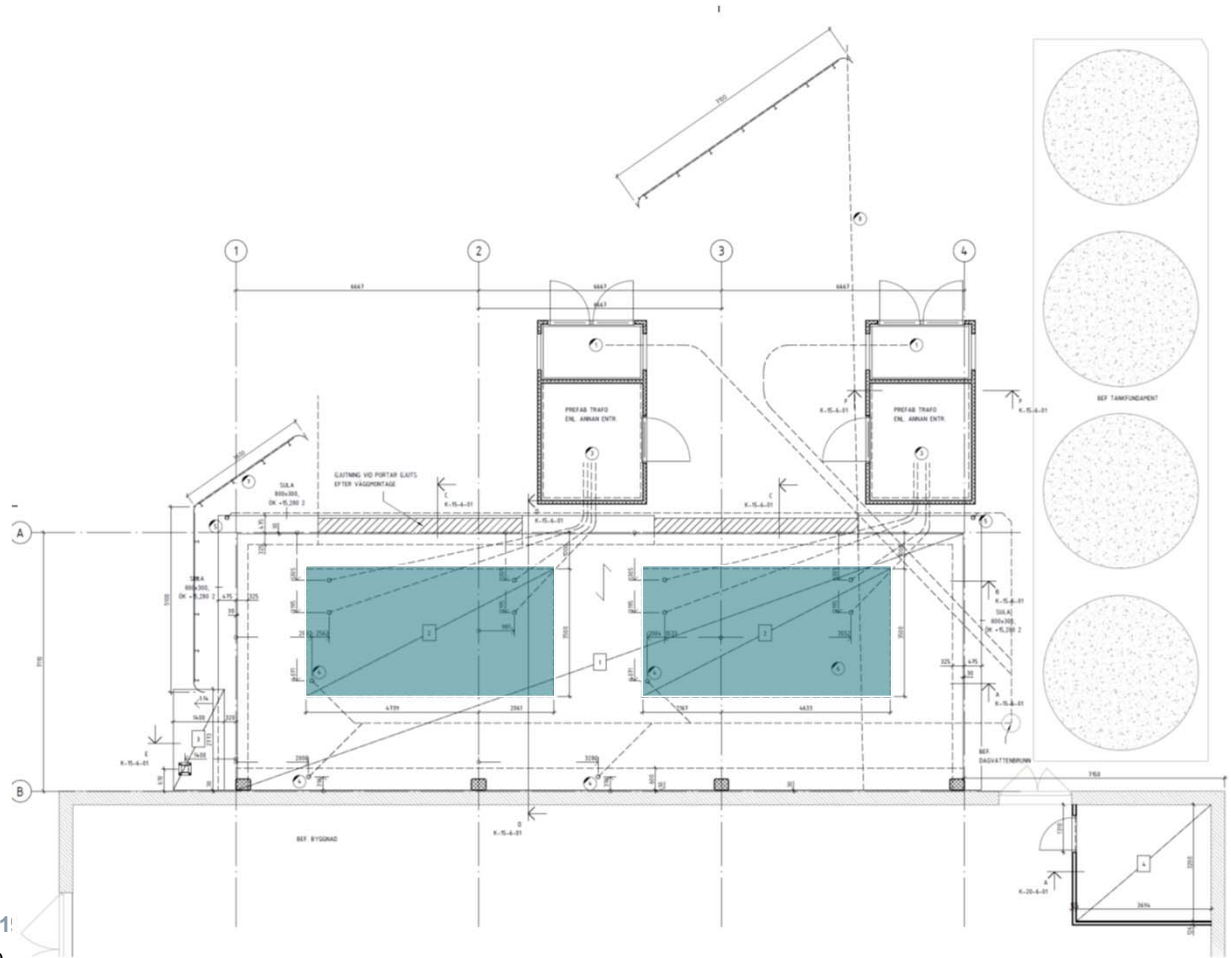


Unrestricted © Siemens AG 2019

Hallenaufstellung 2,5MW

2 x Silyzer 200, (14m x 20m)

SIEMENS
Ingenuity for life



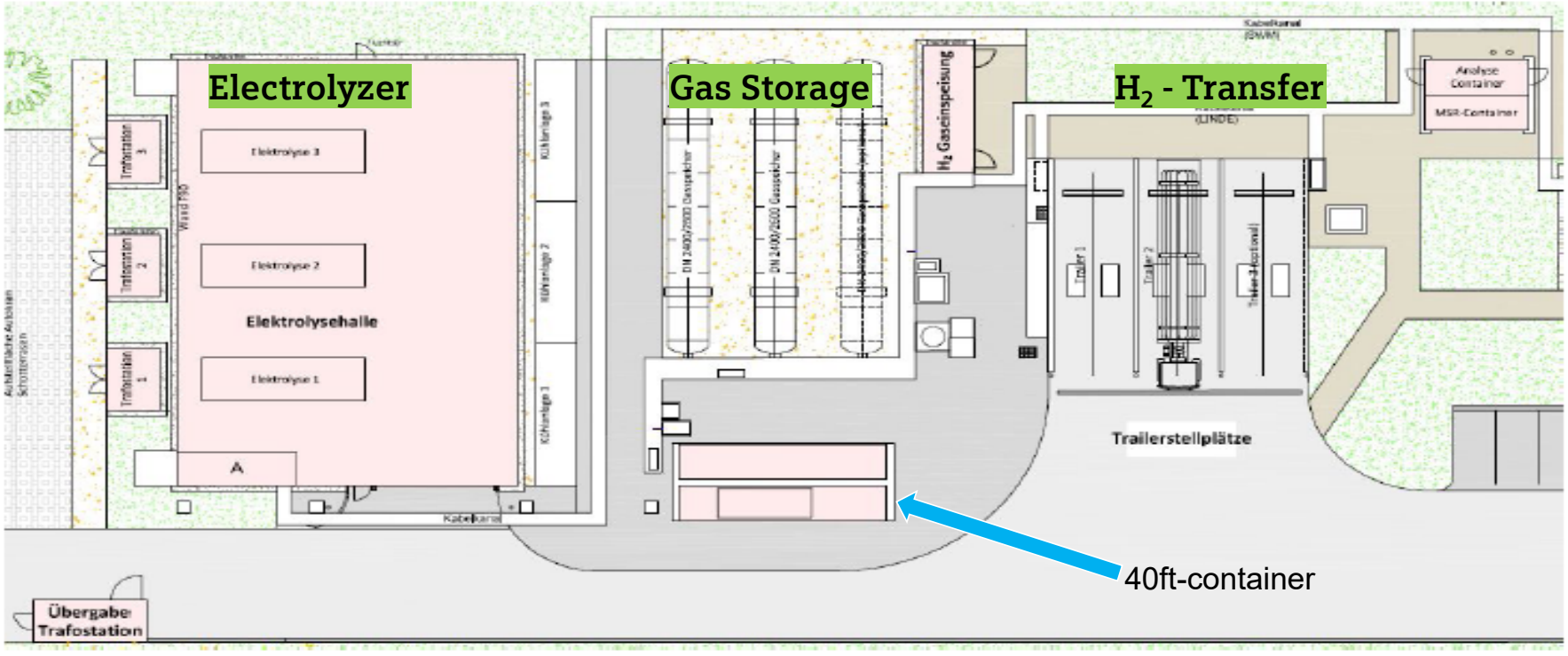
Unrestricted © Siemens AG 201

Hallenaufstellung 3,75MW / 6MW

3 x Silyzer 200

SIEMENS
Ingenuity for life

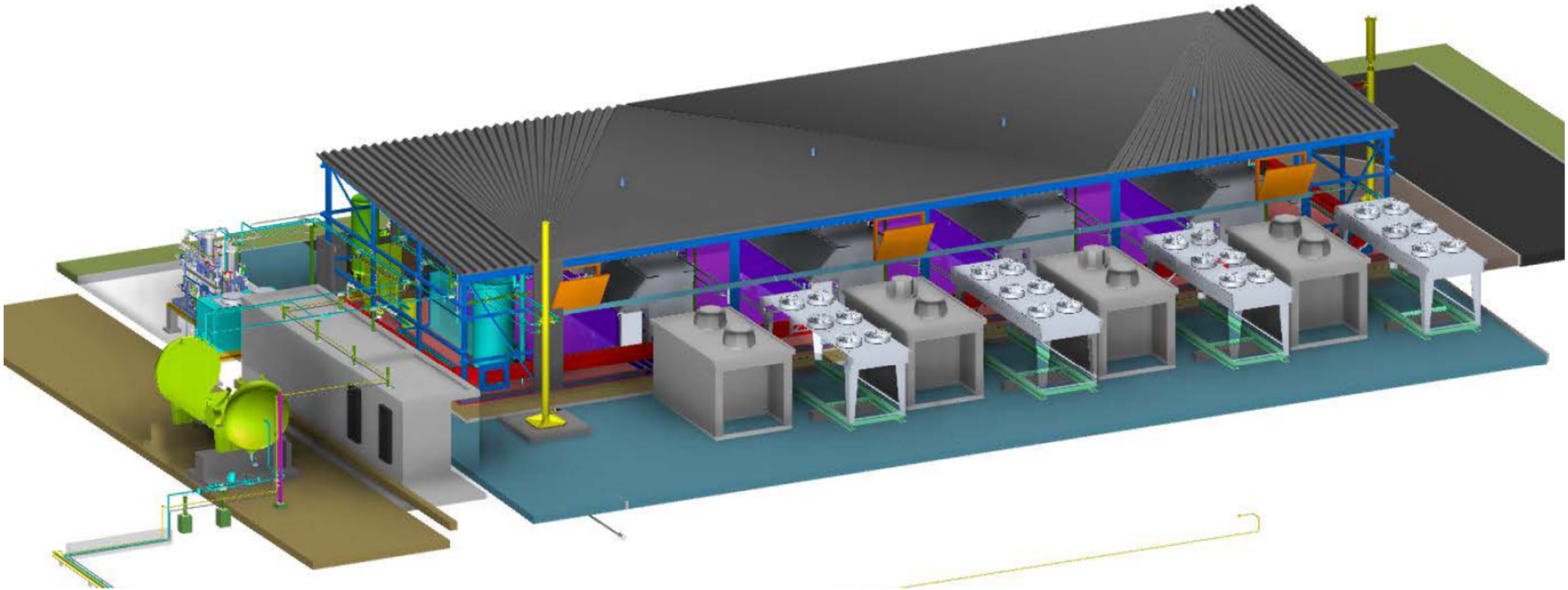
Planning of infrastructure and civil engineering



Ein Forschungsprojekt von STADTWERKE MAINZ AG · Hochschule RheinMain University of Applied Sciences Wiesbaden Rüsselsheim Geisenheim · Linde · SIEMENS · Gefördert durch Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages · ENERGIESPEICHER Forschungsinitiative der Bundesregierung

Hallenaufstellung 5MW
4 x Silyzer 200 (40m x 10m)

SIEMENS
Ingenuity for life



Unrestricted © Siemens AG 2019

Erweiterter Lieferumfang

SIEMENS
Ingenuity for life

Unrestricted © Siemens AG 2019

Kleinverdichter
Membranverdichter für Betankung

SIEMENS
Ingenuity for life

Verdichter
2-stufiger Membranverdichter direkt an 35bar auf 350bar, scheint kostenminimal zu sein. Schätzung <400k€
Technische Machbarkeit ist zu klären (Metering, Druckamplituden, SAE, Protokolle, Qualität…)

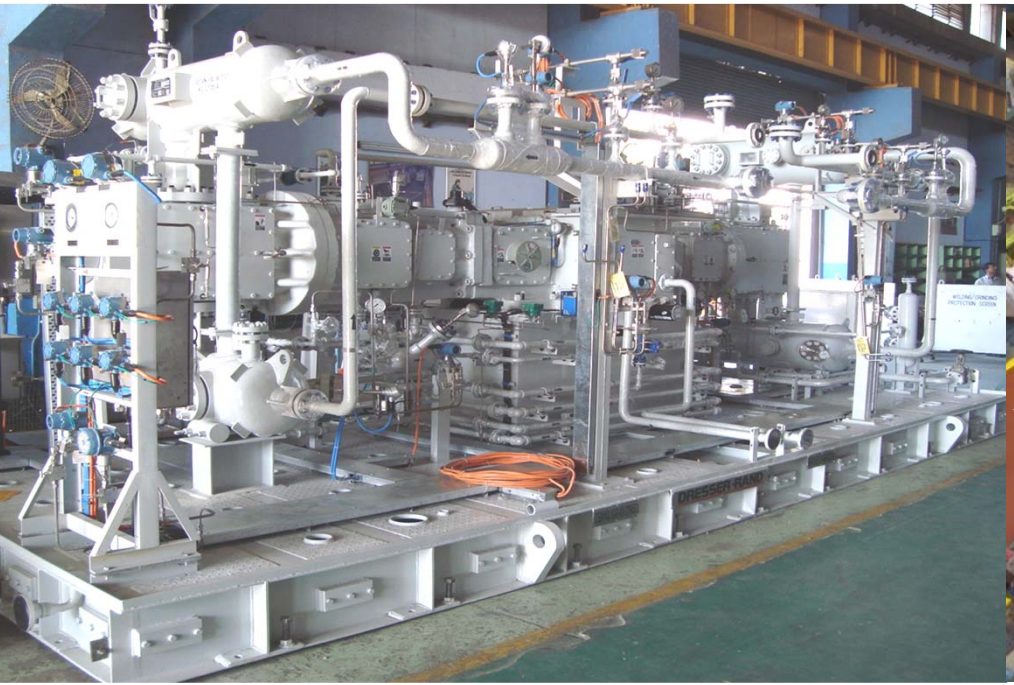
Hofer 2st. Membranverdichter
Fördervolumen: 213Nm³/h
Leistung: 42kW
Kühlwasser: 2,5m³/h
Lebensdauer der Membrane: ca. 3000-4000h (8h/d Dauerbetrieb)
LxBxH = 2900x1600x1700
Gewicht: 3000kg
Schalldruck, 1m: 80dB(A)
Container: +60.000€

Quelle: Fa. Hofer

Unrestricted © Siemens AG 2019

Großverdichter
Schnell- und Langsamläufer

SIEMENS
Ingenuity for life



Unrestricted © Siemens AG 2019

Rückverstromung
Gasmotor

2G
BHKW Typ: agenitor 408g
elektrische Leistung: 170kW
thermische Leistung: 183kW

Auf Basis des **Gasspeichers mit 95Nm³** und ca. 320kg Gasspeicherung ergib sich eine Laufzeit von **ca. einem Tag bei Nennleistung**. Auch hier wäre eine Wärmeauskopplung möglich.

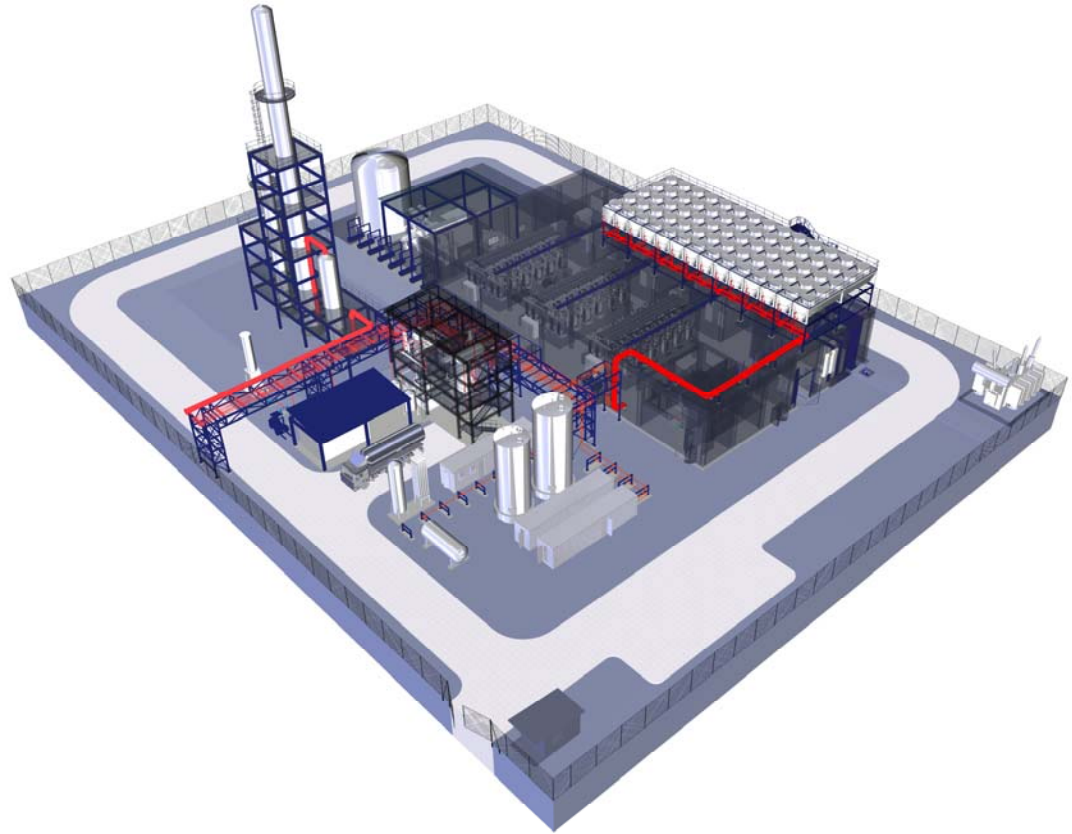
Quelle: Fa. 2G

Unrestricted © Siemens AG 2019

Methanisierung
50 MW Power to Methane

SIEMENS
Ingenuity for life

Technology	
Electrolysis type	PEM
Methanation type	Catalytic
CO_2 separation	Amine gas treating
Footprint	
Plant space requirements	85m x 100m
Input	
el. Power @ electrolysis:	55 MW
Carbon Dioxide (CO_2) [1]	5.1 t/h
Water (m^3H_2O/m^3CH_4)	4
Output	
Methane (CH_4) [2]	1.8 t/h (@ 80 bar)
Hydrogen (H2)	11100 Nm^3/h
Oxygen (O_2) [3]	7.3 t/h
Saturated Steam @ 270°C, 55barg	5 t/h



[1] @ CO_2 >95%, H_2O <5%, SO_2 ≤0,01 ppm; [2] @ CH_4 >95%, H_2 + CO_2 <5%; [3] @ 99.95% purity

Unrestricted © Siemens AG 2019

Netzintegration von PtG/X Anlagen

Zentral, dezentral - egal -

SIEMENS
Ingenuity for life

Application cases by location of storage

Central	Decentral
Large Utilities	Small utilities, municipalities, industry – prosumer

Pumped storage

Power to Power

Grid balancing and stability

H2

Electricity | H2/ Methane FC Mobility | Heat

Power to Gas / X
Power to Power
Power to Heat
O_2

Battery

Power to Power

Grid stability and self-supply

Thermal

Heat

Power-to-Heat

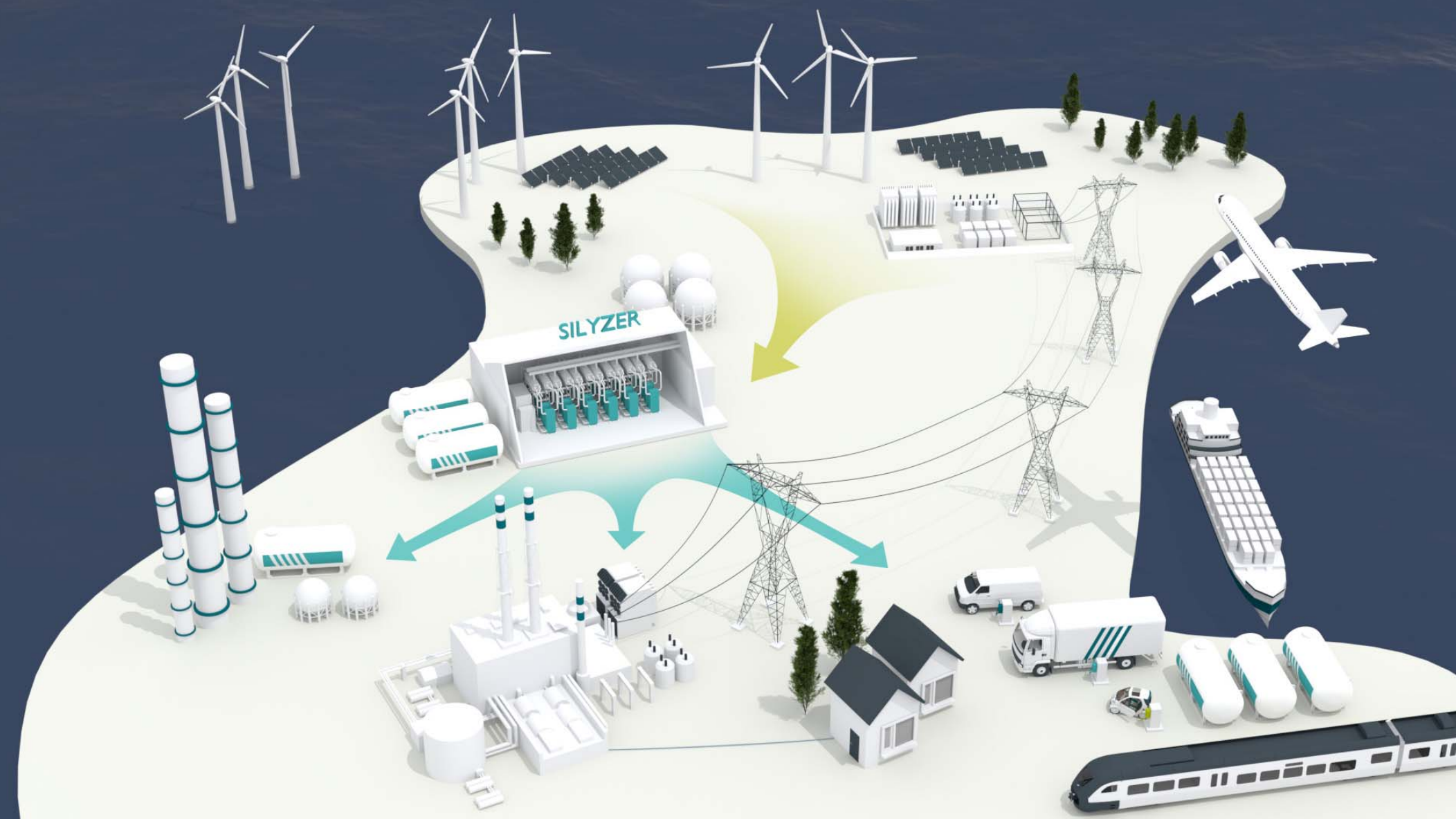
Unrestricted © Siemens AG 2019

Gliederung

SIEMENS
Ingenuity for life

- Veränderungen des Energiesystems
- Aktueller Status Siemens PEM Electrolyzer – Technik, Anwendungen und Wirtschaftlichkeit
- Power to Gas als Chance für die Windenergiebranche

Unrestricted © Siemens AG 2019


SILYZER

Womit verdienen Windparkbetreiber in Zukunft ihr Geld ?

SIEMENS
Ingenuity for life

Gestern

Heute

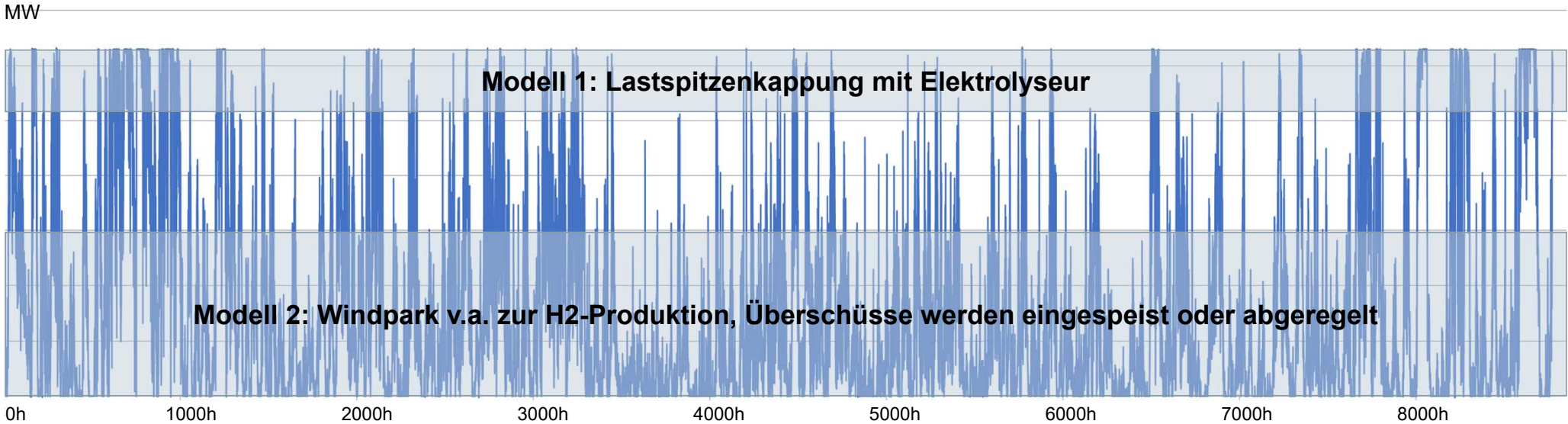
Morgen ?

H2 /
Biokraftstoff

Unrestricted © Siemens AG 2019

Typisches Onshore-Windprofil für einen Binnenstandort in Deutschland – mögliche Betriebsmodi für Elektrolyseur

SIEMENS
Ingenuity for life



Modell 3: Ausgleich Prognosefehler für Direktvermarktung

Unrestricted © Siemens AG 2019

Auf Basis von Energiekosten und jährlichen Nutzungsstunden lassen sich Anwendungsfälle für Wind-H2-Lösungen bewerten

SIEMENS
Ingenuity for life

Modell 1.
Pel: 10%*Wind → 1,25MW
→Vollaststunden 1000
→Stromkosten: ~0ct/kWh
→ H2-Kosten von 11€/kg

Modell 2.
Pel: ~50%*Wind → 6MW
→Vollaststunden 4000
→Stromkosten: 6ct/kWh
→ H2-Kosten von 6€/kg

Modell 3.
Pel: 10%*Wind → 1,25MW
→Vollaststunden 3500
→Stromkosten: 2ct/kWh
→ H2-Kosten von 4€/kg

Electricity Costs [€/kWh] \ [h/a]	500	1000	1500	2000	2500	3000	3500	4000	4500	5000	5500	6000	6500	7000	7500	8000	8500
0	21,3	10,7	7,1	5,4	4,3	3,6	3,1	2,7	2,4	2,2	2,0	1,8	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3
0,01	22,1	11,4	7,8	6,0	4,9	4,2	3,7	3,3	3,0	2,8	2,6	2,4	2,3	2,2	2,1	2,0	1,9
0,02	22,8	12,0	8,4	6,7	5,6	4,9	4,3	4,0	3,7	3,4	3,2	3,1	2,9	2,8	2,7	2,6	2,5
0,03	23,5	12,7	9,1	7,3	6,2	5,5	5,0	4,6	4,3	4,1	3,9	3,7	3,6	3,4	3,3	3,2	3,2
0,04	24,2	13,4	9,7	7,9	6,8	6,1	5,6	5,2	4,9	4,7	4,5	4,3	4,2	4,1	3,9	3,9	3,8
0,05	24,9	14,0	10,4	8,6	7,5	6,7	6,2	5,8	5,5	5,3	5,1	4,9	4,8	4,7	4,6	4,5	4,4
0,06	25,7	14,7	11,0	9,2	8,1	7,4	6,9	6,5	6,2	5,9	5,7	5,6	5,4	5,3	5,2	5,1	5,0
0,07	26,4	15,4	11,7	9,8	8,7	8,0	7,5	7,1	6,8	6,5	6,3	6,2	6,0	5,9	5,8	5,7	5,6
0,08	27,1	16,0	12,3	10,5	9,4	8,6	8,1	7,7	7,4	7,2	7,0	6,8	6,7	6,5	6,4	6,3	6,3
0,09	27,8	16,7	13,0	11,1	10,0	9,3	8,7	8,3	8,0	7,8	7,6	7,4	7,3	7,1	7,0	7,0	6,9
0,1	28,5	17,4	13,6	11,8	10,6	9,9	9,4	9,0	8,7	8,4	8,2	8,0	7,9	7,8	7,7	7,6	7,5
0,11	29,3	18,0	14,3	12,4	11,3	10,5	10,0	9,6	9,3	9,0	8,8	8,7	8,5	8,4	8,3	8,2	8,1
0,12	30,0	18,7	14,9	13,0	11,9	11,2	10,6	10,2	9,9	9,7	9,4	9,3	9,1	9,0	8,9	8,8	8,7
0,13	30,7	19,3	15,6	13,7	12,5	11,8	11,2	10,8	10,5	10,3	10,1	9,9	9,8	9,6	9,5	9,4	9,3
0,14	31,4	20,0	16,2	14,3	13,2	12,4	11,9	11,5	11,1	10,9	10,7	10,5	10,4	10,2	10,1	10,0	10,0
0,15	32,1	20,7	16,9	15,0	13,8	13,0	12,5	12,1	11,8	11,5	11,3	11,1	11,0	10,9	10,8	10,7	10,6

! Sobald Umlagen für eigenverbrauchten Strom fällig werden, leidet der Business Case

Unrestricted © Siemens AG 2019

Kommt zukünftig die Primärenergie aus Offshore-Windparks kombiniert mit Power to Gas/Power to Fuel Anlagen?

SIEMENS
Ingenuity for life

- Offgrid Wasserstoff-Produktion 100% Verwendung Windenergie zu jeder Zeit = keine Netzanbindung
- Einfache Speicherung durch variable Drücke und ggf. Gasspeicher
- Elektrolyseur kann On- oder Offshore angebunden werden
- Wasserstoff-Transport über Pipeline oder mit Drucktanks an Bord der Versorgungsschiffe
- Kapazität mehrerer 100-1000 MW Anlagen – Machbarkeitsstudien mit verschiedenen Versorgern laufen

HVDC converter platform SylWin alpha in the North Sea.

Unrestricted © Siemens AG 2019

Nächste Schritte

Vorschläge für weiterführende Gespräche und Arbeitstreffen

SIEMENS
Ingenuity for life

Power to Fuel

- Definition des Leistungs- und Lieferumfangs der HRS (hydrogen refueling station)

Power to Heat

- Nahwärme / kalte Fernwärme, Direktnutzung oder über Hochtemperaturwärmepumpe (HTWP)

Power to Power

- Spitzenlastbereitstellung (Last erreicht Kapazitätsgrenze der Stromanbindung, Quartierautarkie)

Sauerstoffnutzung

- Industrie, Wasseraufbereitung, Ozonierung, medizinischer Sauerstoff

Unrestricted © Siemens AG 2019

Kontakt

SIEMENS
Ingenuity for life

Erik Wolf
Produkt Portfolio
Hydrogen Solutions

Guenther-Scharowsky-Str. 1
91058 Erlangen

E-Mail: erik.wolf@siemens.com
Mobile: +49 174 1584469

E-Mail: rainer.saliger@siemens.com
Mobile: +49 172 4757509

siemens.com

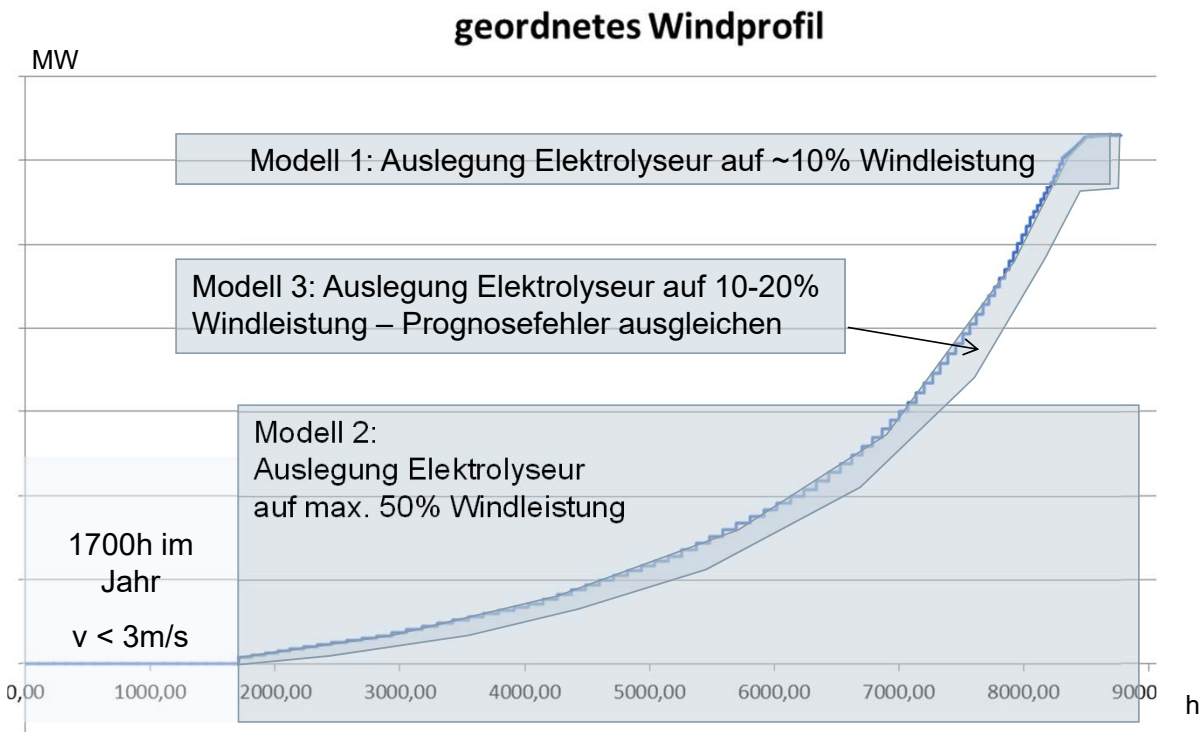
Unrestricted © Siemens AG 2019

Back-up

Unrestricted © Siemens AG 2019

Wirtschaftlichkeit einer Wind+H2-Lösung wird sehr stark von Auslegung und Betriebsmodus des Elektrolyseurs beeinflusst

SIEMENS
Ingenuity for life



Modell 1.
Pel: 10%*Wind
<1000 Vollaststunden
Stromkosten: ~0ct/kWh

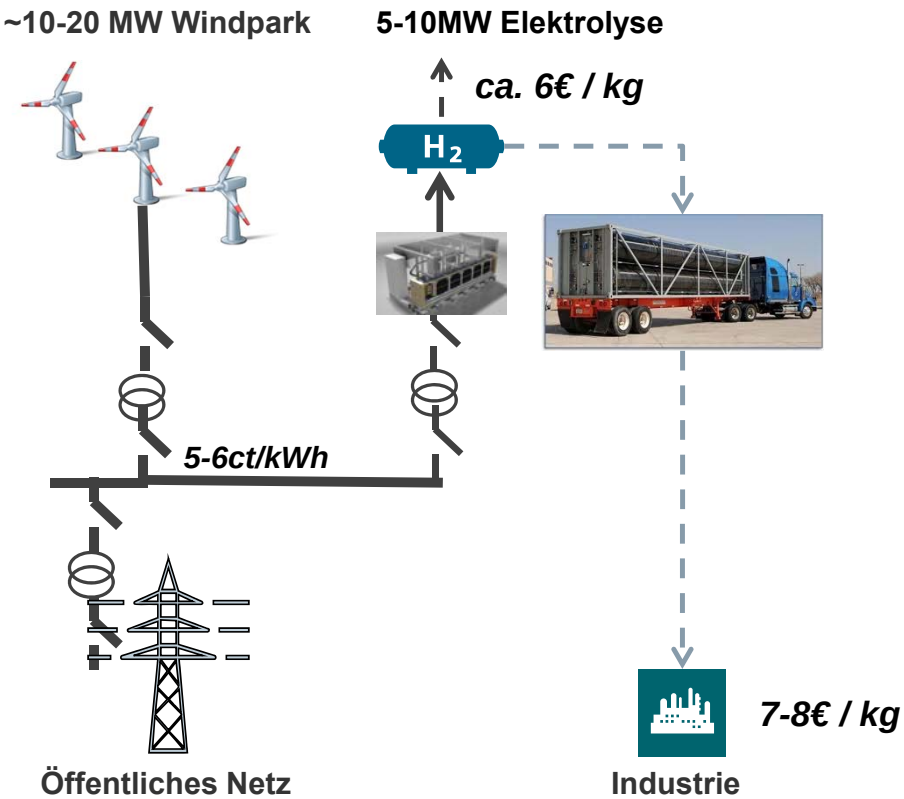
Modell 2.
Pel: 50%*Wind
~4000 Vollaststunden
Stromkosten: 6ct/kWh

Modell 3.
Pel: 10%*Wind
4000 Vollaststunden
Stromkosten: 2ct/kWh

Unrestricted © Siemens AG 2019

Layout eines Wind+H2-Systems (Modell 2)

SIEMENS
Ingenuity for life

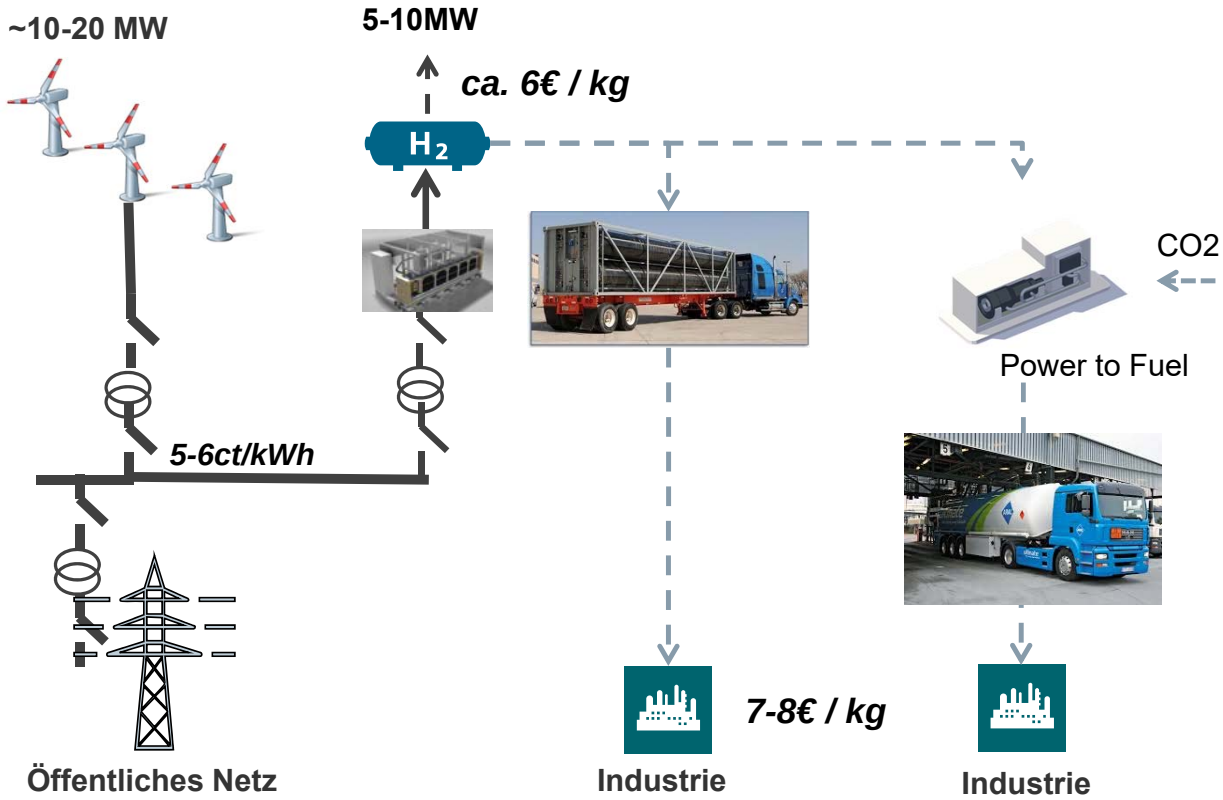


Unrestricted © Siemens AG 2019

Layout eines Wind+H2-Systems (Modell 2)

Erweiterung um Power to Fuel Konzept

SIEMENS
Ingenuity for life



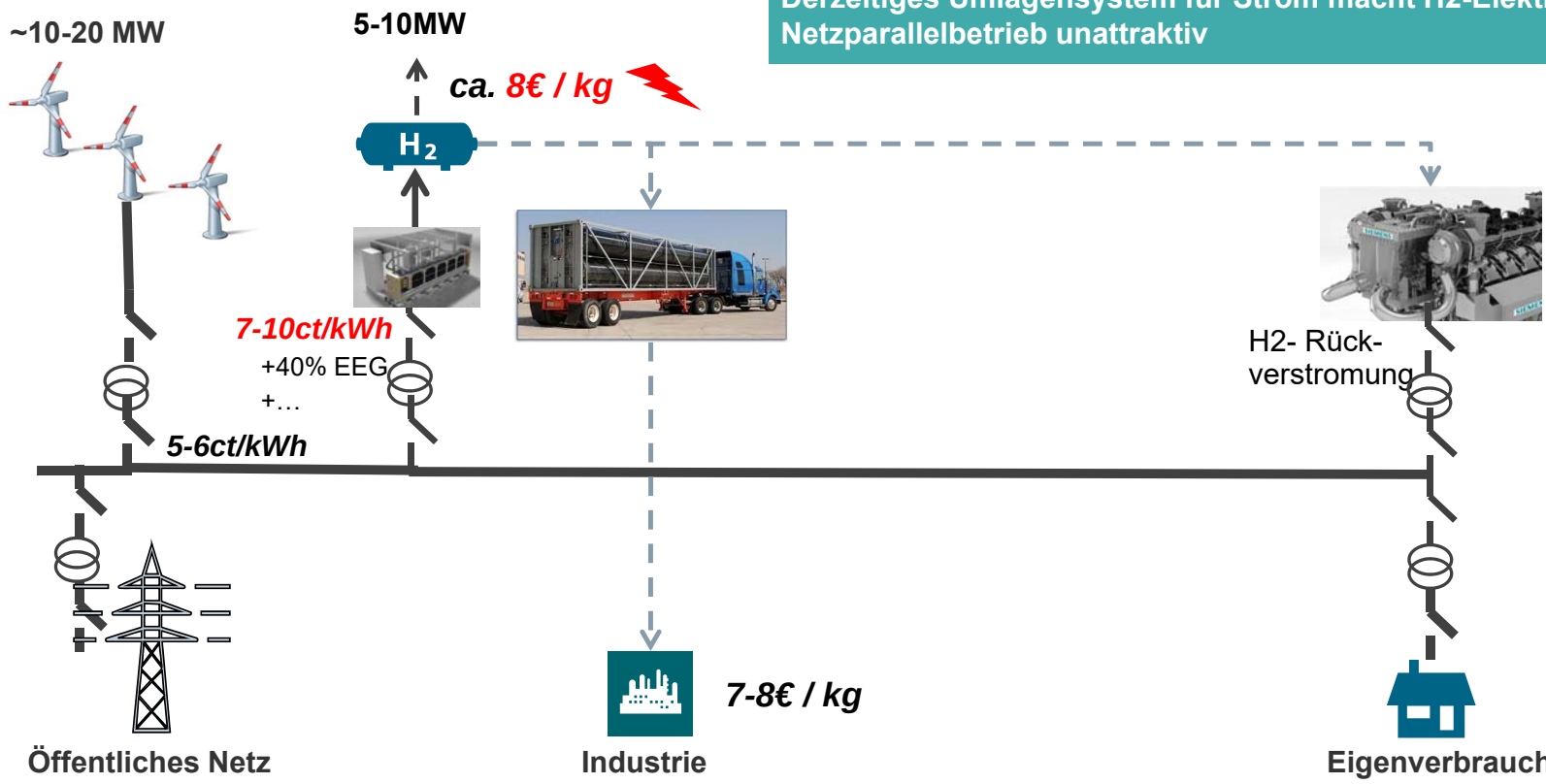
Unrestricted © Siemens AG 2019

Layout eine Wind+H2-Systems (Modell 2)

Option einer H2-Rückverstromung für Eigenverbrauch

SIEMENS
Ingenuity for life

Derzeitiges Umlagensystem für Strom macht H2-Elektrolyse im Netzparallelbetrieb unattraktiv



Unrestricted © Siemens AG 2019

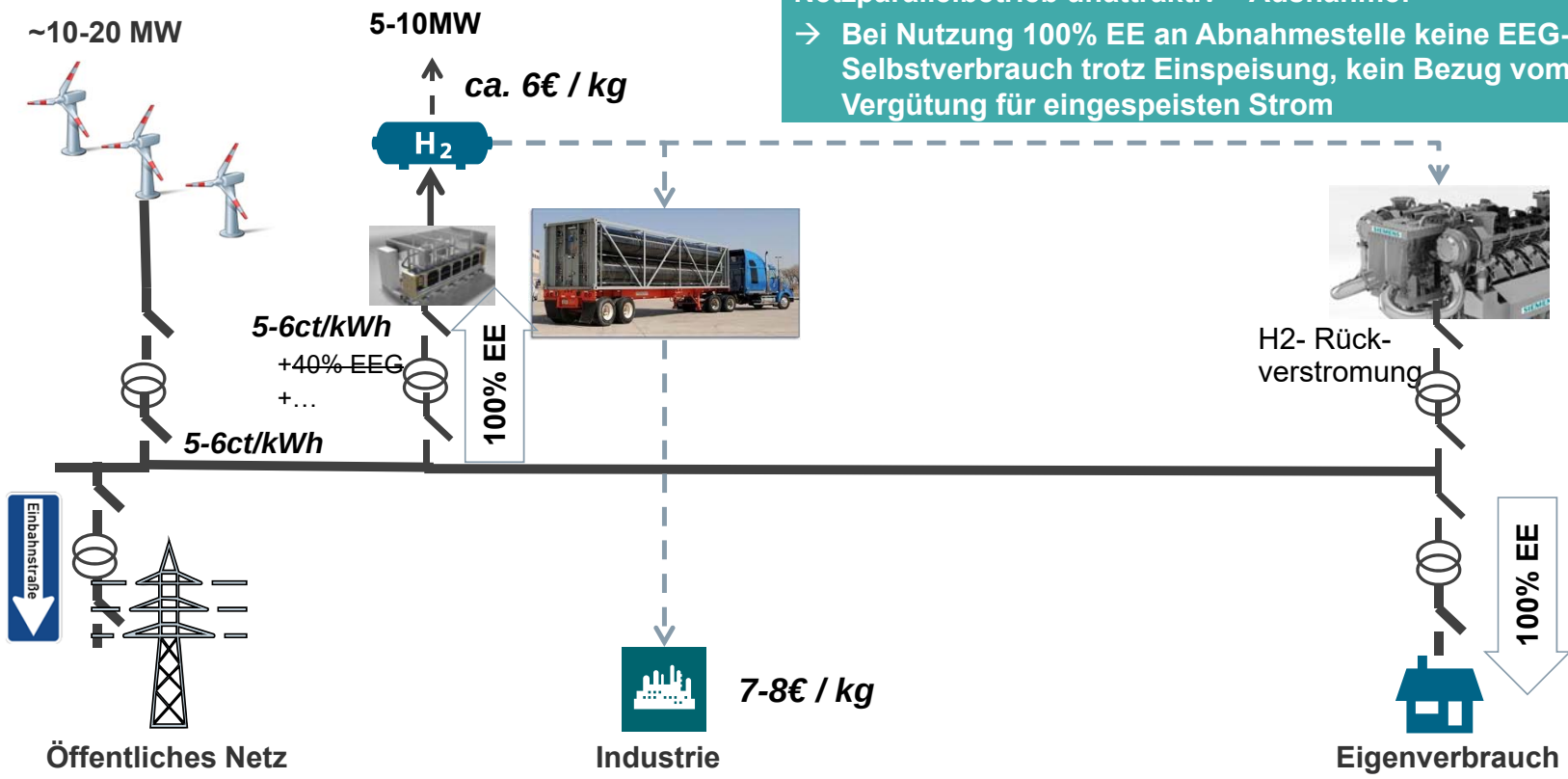
Layout eine Wind+H2-Systems (Modell 2)

Überschüssiger Windstrom kann eingespeist werden (EEG §61a)

SIEMENS
Ingenuity for life

Derzeitiges Umlagensystem für Strom macht H2-Elektrolyse im Netzparallelbetrieb unattraktiv – Ausnahme:

→ **Bei Nutzung 100% EE an Abnahmestelle keine EEG-Umlage für Selbstverbrauch trotz Einspeisung, kein Bezug vom Netz, keine EEG-Vergütung für eingespeisten Strom**



https://www.gesetze-im-internet.de/eeg_2014/__61a.html

Unrestricted © Siemens AG 2019