

Wasserstoff aus Windenergie

Der zunehmende Anteil regenerativ erzeugten Stroms im bundesdeutschen Stromnetz macht sich in Norddeutschland besonders durch die massive Integration von Windkraftanlagen bemerkbar. Damit einhergehend werden im Norden die Auswirkungen des fluktuierenden Windstromdargebots im Stromnetz deutlich spürbar.

Die vom Kieler Wirtschaftsministerium beauftragte „Studie zur Dämpfung der Netzbelastung durch Wasserstoffsysteme“ beschreibt die mit dem Aufbau von Offshore-Windparks absehbare Netzproblematik und zeigt den Bedarf an großen Stromspeichern auf.

Die bekannten technischen Lösungen zur Speicherung großer Strommengen (Druckluftspeicher, Pumpspeicherwerke, Wasserstoffanlagen) werden bzgl. ihrer Kapazität betrachtet. Ein Vergleich der speziellen Speicherdichten, ausge-

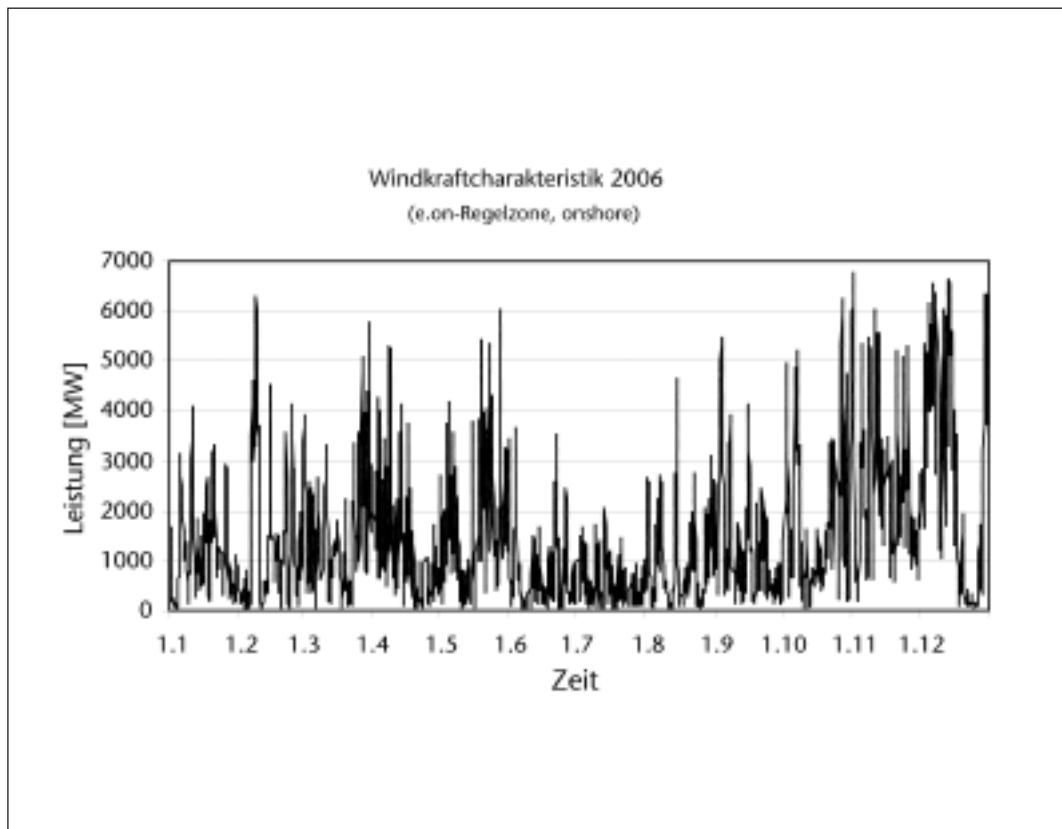
drückt in kWh/m³, zeigt, dass die chemische Energiespeicherung durch Wasserelektrolyse allein die Kapazität bietet, dämpfend auf die fluktuierende Windkrafteinpeisung einzuwirken.

Der hergestellte und gespeicherte Wasserstoff muss nicht zwingend zur netzunterstützenden Rückverstromung eingesetzt werden; vielmehr ist davon auszugehen, dass es für ihn (ggf. konkurrierende) Nutzungspfade auch im mobilen Bereich geben wird.

Wirtschaftliche und technische Betrachtungen zum vorgestellten System stehen einer Umsetzung nicht entgegen.

Das Kompetenzzentrum Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie der Fachhochschule Lübeck wird gefördert durch den Europäischen Sozialfonds und das Land Schleswig-Holstein.

R. Hamelmann
 Fachhochschule Lübeck
 hamelmann@fh-luebeck.de



Windkurve 2006

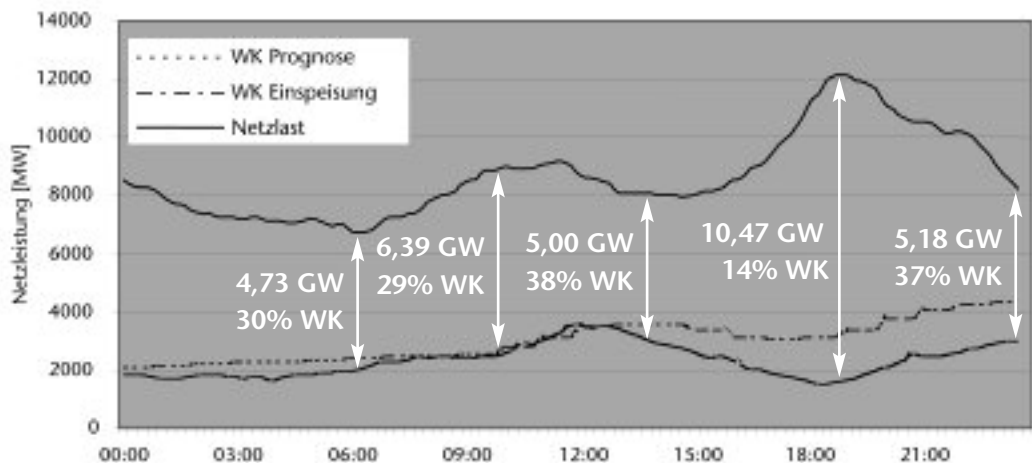
Wind-H₂: Studie Netz-
stützung



- „Studie zur Dämpfung der Netzbelastung durch Wasserstoffsysteme“ (MWV)
- **Bearbeitung der Fragestellungen:**
 - Stromnetzsituation
 - Perspektive Offshore-Windstrom
 - Elektrolyse
 - Virtuelles BZ-Kraftwerk
 - Anwendungsfelder
- **Grundlage weiterer F&E-Projekte**
 - Komponentenuntersuchung
 - Parameterstudien
 - Bilanzierung
 - n=1-Szenario


Tagesgang Windkraft

e.on-Regelzone 22. 10. 2006

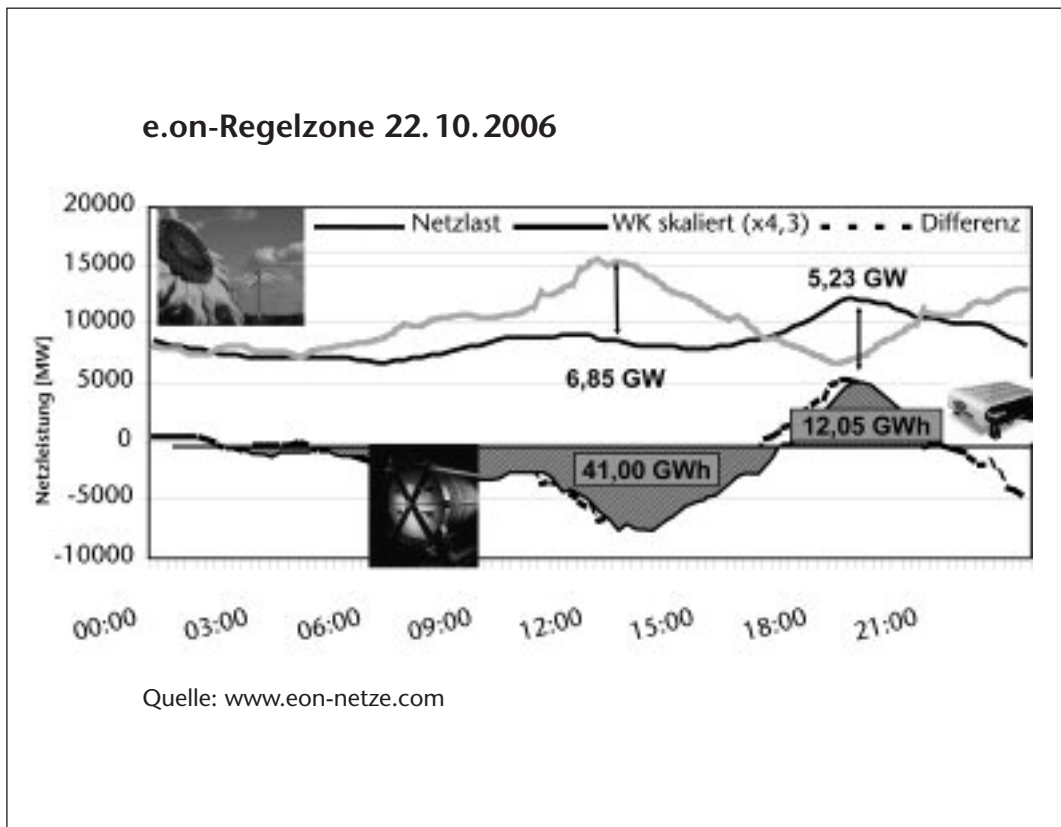


Quelle: www.eon-netze.com

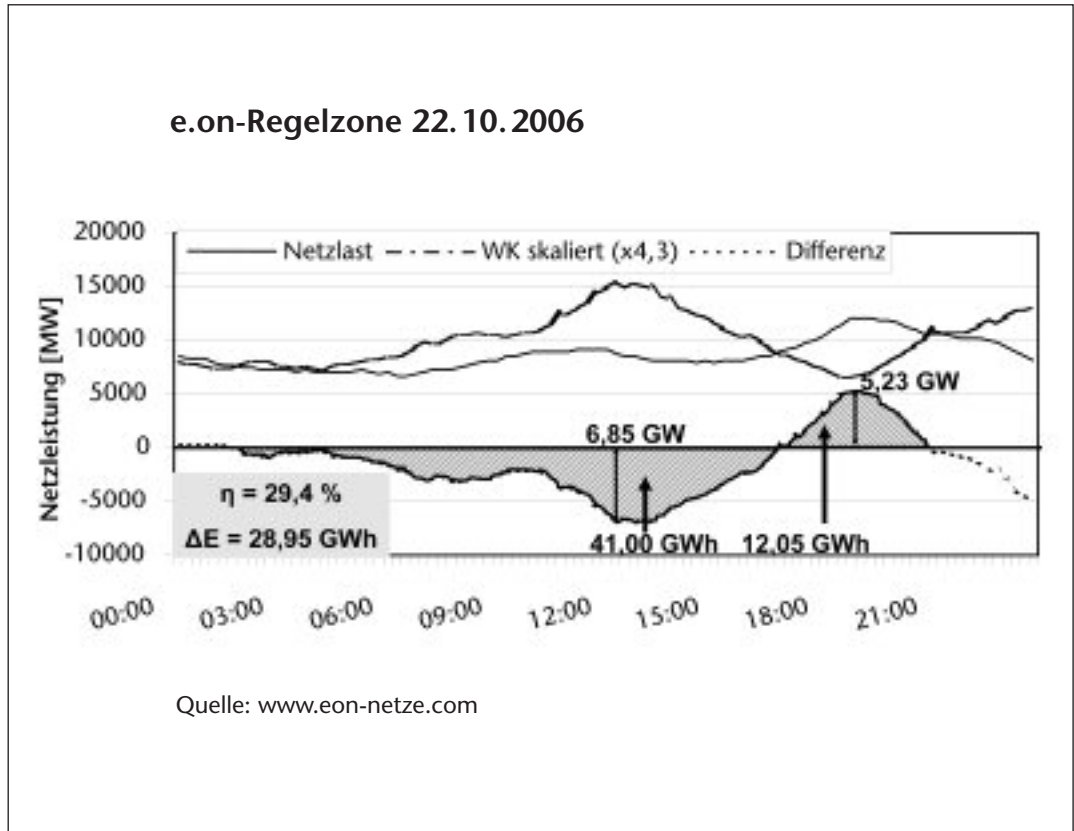
Stromspeicher
Wasserstoff

Elektrolyse	Speicherung	Verstromung
<p><i>Alkalisch</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • 80 Jahre • P = 100W ... 120MW • 4.000 €/kW • PEMFC: Reinigung <p><i>Sauer (PEM)</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • 15 Jahre • P = 100W ... 400 kW • 6.000 €/kW • Potenzial HD 	<p><i>Druckflaschen</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • 50 Liter @ 200 bar • Komposit @ 700 bar <p><i>Speichertanks</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • MD-Tanks @ 50 bar • HD-Tanks @ 400 bar <p><i>Flüssigspeicher</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • 100 Liter (PKW) • 3800 m³ (Raumfahrt) <p><i>Kavernenspeicher</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • ICI: Salz, 50 bar <p><i>MH-Speicher</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Frei konfigurierbar 	<p><i>Brennstoffzelle</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • P = 300W ... 250 kW • NT-Abwärme • Flexibel • Virtuelles Kraftwerk • Hoher Wirkungsgrad <p><i>Gasmotoren</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • P = 50 kW ... 20 MW • Machbar (Jenbacher) <p><i>Gasturbine</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • P = 1MW ... 100 MW • F&E <p style="text-align: right;">O₂-Nutzung?</p>

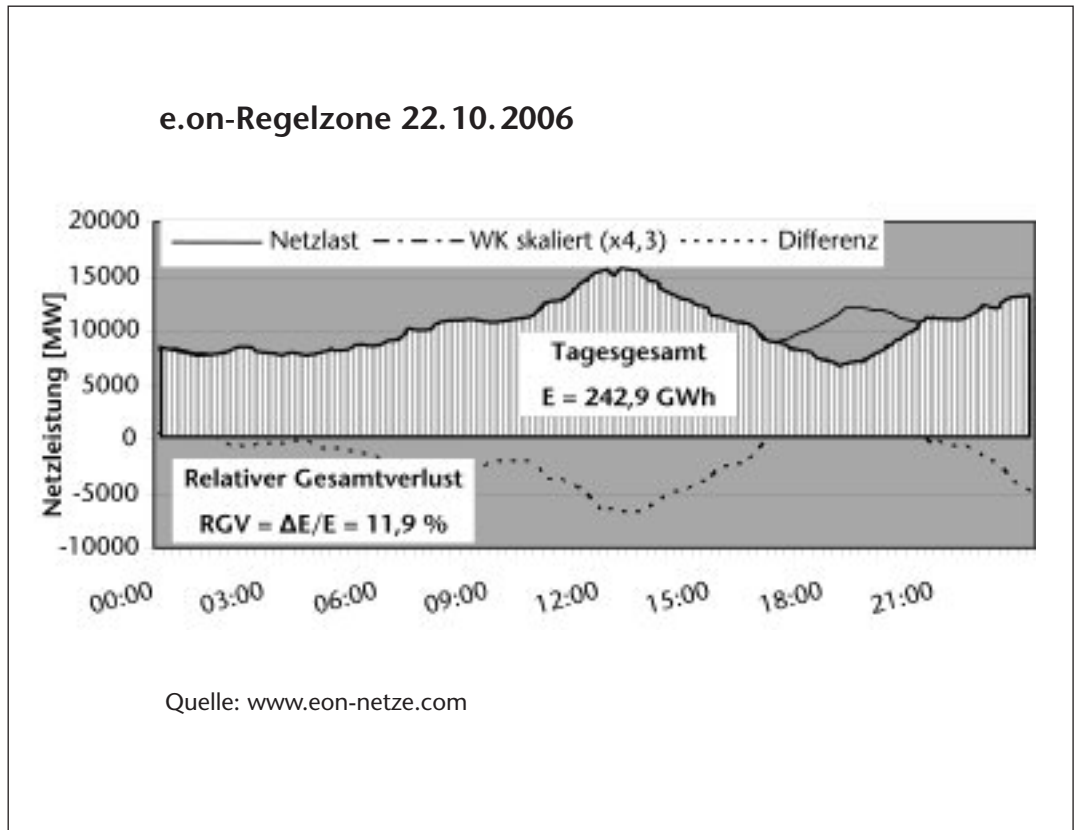
Ausblick Windkraft



Wirkungsgrad
Speicher



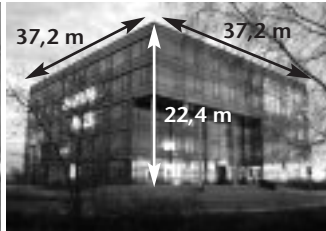


Wirkungsgrad
Tagesgang



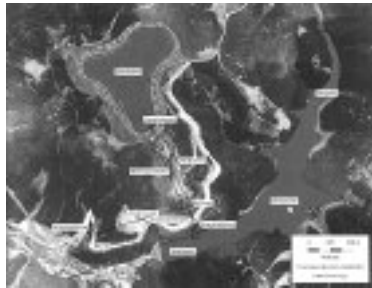
Große Stromspeicher

		Pumpspeicher	Druckluftspeicher	Wasserstoff
Speicherhöhe	[m]	100	-	-
Speicherdruck	[bar]	-	80	80
Speichertemperatur	[°C]	20	20	20
$\eta_{\text{Erzeugung}}$	[%]	-	7	75
$\eta_{\text{Einspeicherung}}$	[%]	90	85	85
$\eta_{\text{Auspeicherung}}$	[%]	90	85	85
η_{Wartung}	[%]	-	7	50
Heizwert	[kWh/Nm ³]	-	7	2,8
Mech. Speicherdichte	[kWh/m ³]	0,22	1,59	1,82
Chem. Speicherdichte	[kWh/m ³]	0,00	0,00	69,72
Gesamt Speicherdichte	[kWh/m³]	0,22	1,59	71,54
η_{Zyklus}	[%]	81	7	27
Nachhaltigkeit	[⊕/⊖/⊗]	⊕/⊖	⊕/⊗	⊕

Pumpspeicher Geesthacht	Druckluftspeicher Huntorf	„H ₂ -Speicher MFC“ (Dimension)
		
Quelle: www.elbetreff.de	Quelle: www.thema-energie.de	
V = 3,3 Mio m ³	V = 0,3 Mio m ³	V = 0,43 Mio Nm ³ H ₂
H = 83 m	p = 50-70 bar	= 10.361 m ³ H ₂ @
E _{Nutz} = 600 MWh	E _{Nutz} = 580 MWh	p = 50 bar
		E _{Nutz} = 600 MWh

Geesthacht –
Huntorf – H₂

Vergleich Goldisthal



Quelle: www.uni-weimar.de



Quelle: www.zueblin.de

$E_{\text{Nutz}} = 8.480 \text{ MWh}$

Zylinder-Speicher

1350 Stück

$\Phi = 2,8 \text{ m}$

$H = 19 \text{ m}$

$p = 50 \text{ bar}$

Halle

$L = 140 \text{ m}$

$B = 76 \text{ m}$

$H = 20 \text{ m}$



Vergleich Huntorf



Quelle: www.thema-energie.de

Speichervolumen Huntorf

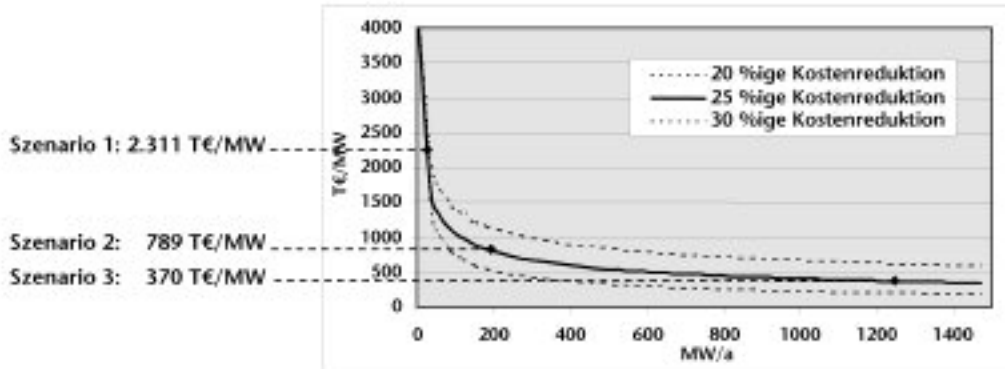
→ **Wasserstoffspeicherung**

- $V_{\text{geo.}} = 2 \times 150.000 \text{ m}^3$
- $p = 60 \text{ bar}$
- $V_N = 14,94 \text{ Mio Nm}^3$
- $E_{\text{therm.}} = 41.832 \text{ MWh}$
- $\eta_{\text{Verstromung}} = 40\%$

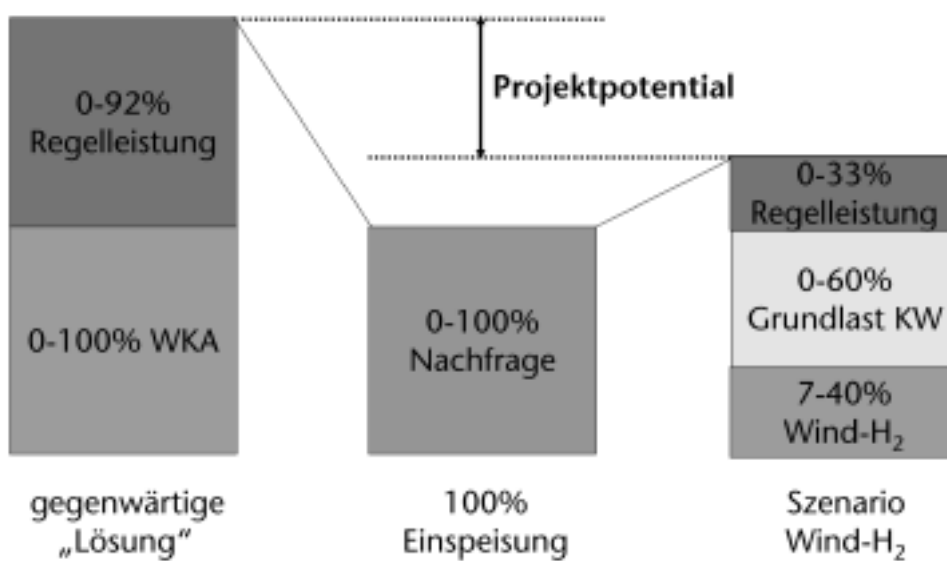
$E_{\text{elektr.}} = 16.733 \text{ MWh}$

Skaleneffekte
Elektrolyse

- Status: 10 Anlagen a 400 kW pro Jahr
- Systemkosten z. Zt. 4.000 €/kW
- Kostendegression 20–30 % bei Produktionsverdopplung



Wirtschaftlicher
Hintergrund



Zusammenfassung

- Chemisches Speicherpotenzial dem mechanischen hinsichtlich Kapazität deutlich überlegen
- Volkswirtschaftliche Strommengen mit Wasserstoff speicherbar
- Voll-Nachhaltiges Stromspeichersystem
- Installation unabhängig von geologischen Formationen
- Flexible Dimensionierung
- Komponenten am Markt erhältlich
- Skaleneffekte lassen wirtschaftliche Preisgestaltung erwarten
- Stoffwandlung mit zusätzlichen Wirkungsgraden behaftet
- Virtuelle Last- und Kraftwerke machbar

Pilotprojekt Wind-H₂



Demo-Anlage

Abgabeleistung	0,7 – 4,0 kW
12 Windräder (0,8 kW @ 12,5 m/s)	beschafft
Elektrolyseur (6 kW)	beschafft (Inbetriebnahme)
Druckspeicher 13/200 bar	beschafft
1 kW Brennstoffzelle	beschafft, in Betrieb
Netzeinspeisung Wind	beschafft (Inbetriebnahme)
Netzeinspeisung BZ	beschafft, in Reparatur
Regelung	definiert
Aufstellung	geklärt, Umsetzung DPA
Baugenehmigung	erteilt

Demonstrations-
anlage Wind-H₂



- Technische Zielsetzung: Verstetigung von Windstrom
- Containerisierte Pilotanlagen zum Kompetenzaufbau und -nachweis
- Dauerabgabe von n x 30–100 kW
- Aufbau:
 - Diverse WKA 0,2 (-1,0 MW), Netzknoten
 - n x 100 kW Elektrolyseur
 - mobile Druckspeicher 200 bar
 - n x 3 x 10 kW Brennstoffzelle, dezentral
 - Wechselrichter, Netzeinspeisung
 - Standort: diverse

Co-Generation



Quelle: www.gross-lengden.de

**Kraft-Wärme-Kopplung
in Siedlungsgebieten**

- Bsp. PEMFC, n x 10kW
- H₂ über Rohrnetz



Quelle: www.hydrogenics.com

Kraftstoff H_2



Quelle: www.daimlerchrysler.com



Quelle: www.daimlerchrysler.com



Conceptual design of a fuel cell engine applying 1.2 MW PEM fuel cells (blue) and six sets of 280 kW of hydrogen as a separate fuel to drive a turbine

Quelle: www.fuelcelltoday.de

Yacht-Beiboot



Technische Daten

- Länge 2,80 m
- Breite 1,25 m
- Tiefgang ca. 0,8 m
- 700 W Antrieb, Fa. Kräutler (A)
- „Tank“: 2 x 10 Liter (3,6 m³ H₂)
- BZ: Ballard Nexa (1,2 kW)
- Batterien: 2 x 12 V, 24 Ah
- Elektrik: 24 V-Schiene
- Max. Geschwindigkeit: 4,9 kn
- Betriebsdauer: ca. 6 h

→ **Nur Standardkomponenten!**