

Symposium der Wasserstoff-Gesellschaft Hamburg e. V.
24.10.2006, Handelskammer Hamburg

Windwasserstoff

- Perspektive eines Stromspeichers -

Dr.-Ing. Roland Hamelmann, Kompetenzzentrum Wasserstoff-
und Brennstoffzellentechnologie, IAO der FH Lübeck

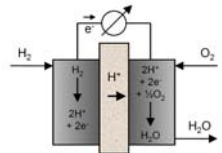
1. KWB
2. Wasserstofftechnik in Kürze
3. Stromspeicher: Vergleiche
4. Szenarien und Skaleneffekte
5. Konsequenzen
6. Zusammenfassung & Ausblick



⇒ Projektlaufzeit 01.08.2003 - 31.12.2006

⇒ Projektvolumen 1.776.000 €

- 37% ASH2000/ESF
- 32% Possehl-Stiftung
- 22% FH Lübeck
- 6% eonHanse
- 3% JessenLenz



⇒ Arbeitsschwerpunkte sind folgende Themen:

- Wasserstoff als Windkraftpuffer
- Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung mit BZ
- Maritime Anwendungen (BZ auf Schiffen, Algen-H₂)
- Ausbildung

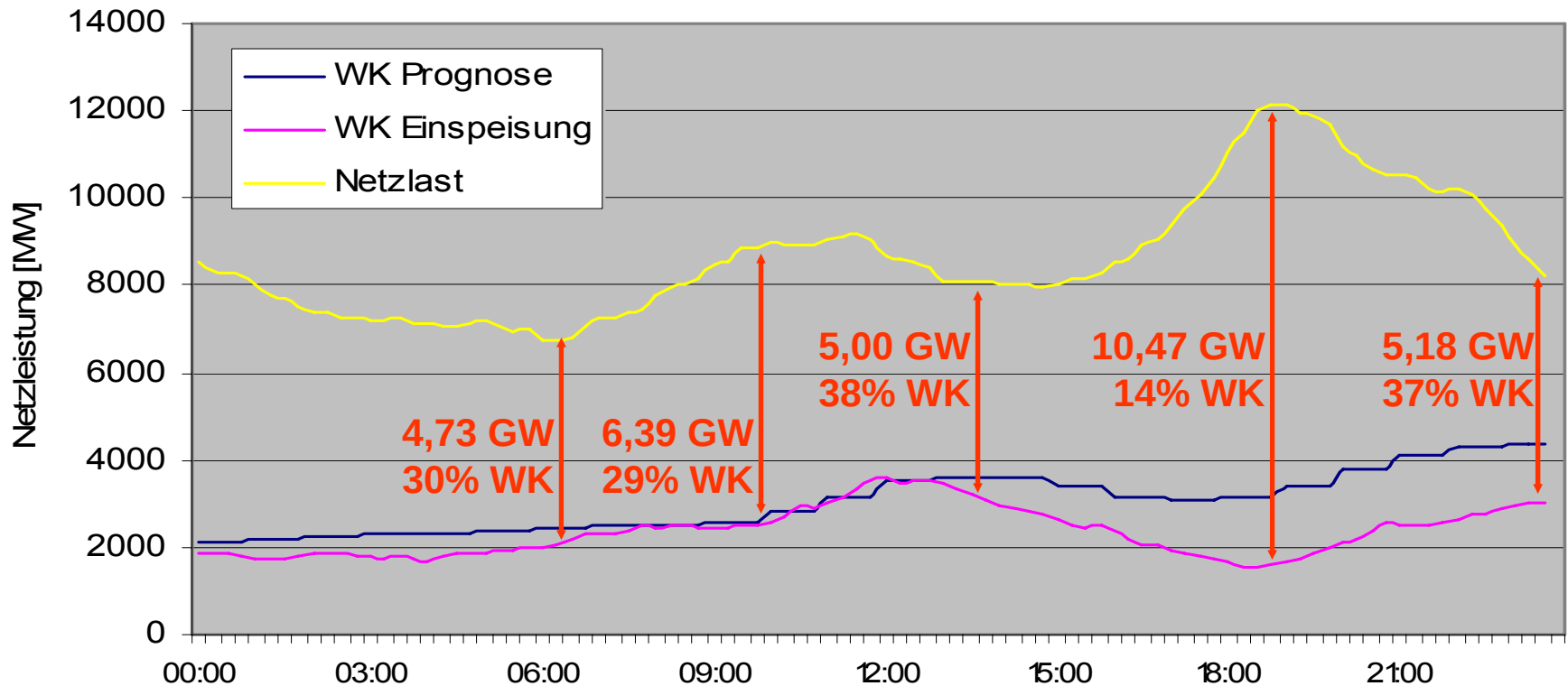


⇒ Mitarbeiter: 11 (3 Prof./4 Ing./4 Stud./0 Sek.)

Tagesgang Windkraft

Kompetenzzentrum Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie

e.on-Regelzone 22.10.2006



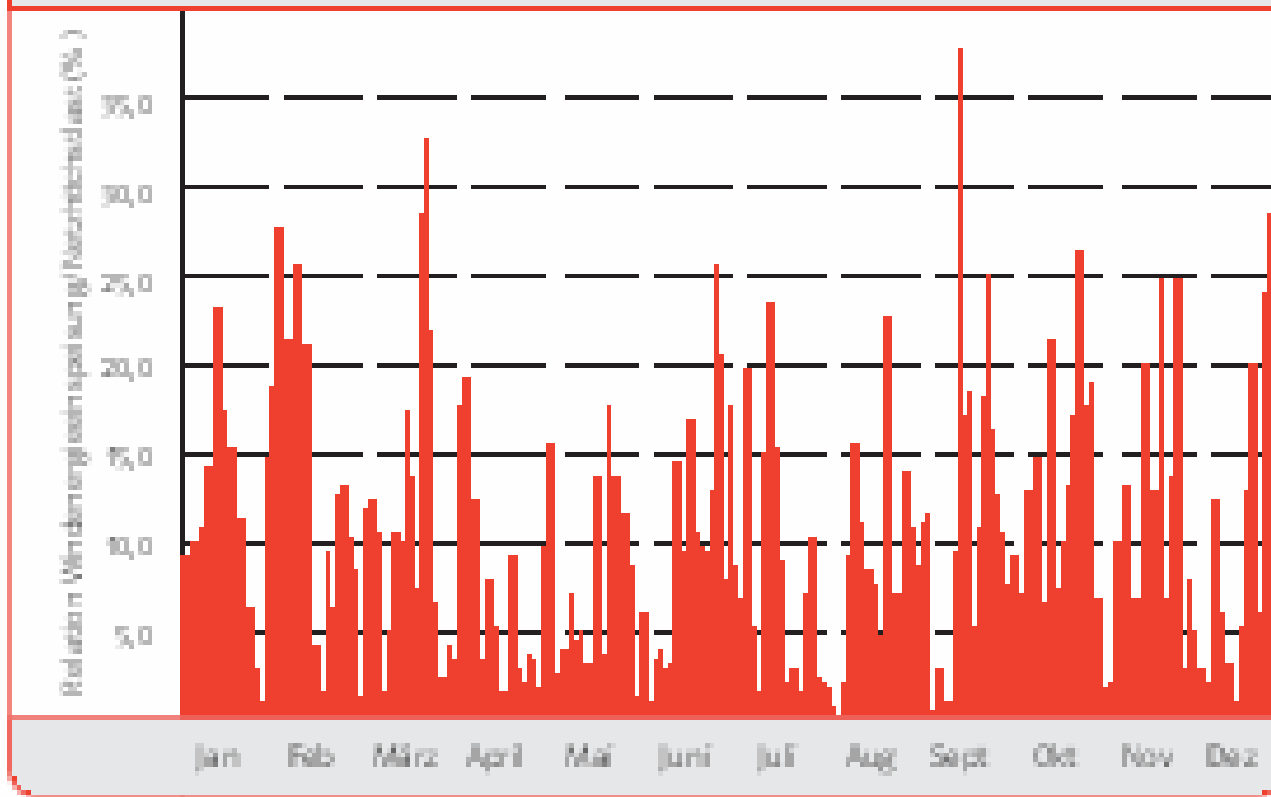
Quelle: www.eon-netze.com

Jahreskurve

Kompetenzzentrum Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie

3. Windstromproduktion E.ON-Regelzone

2004 zwischen 0,2 und 38 % der täglichen Netzhöchstlast



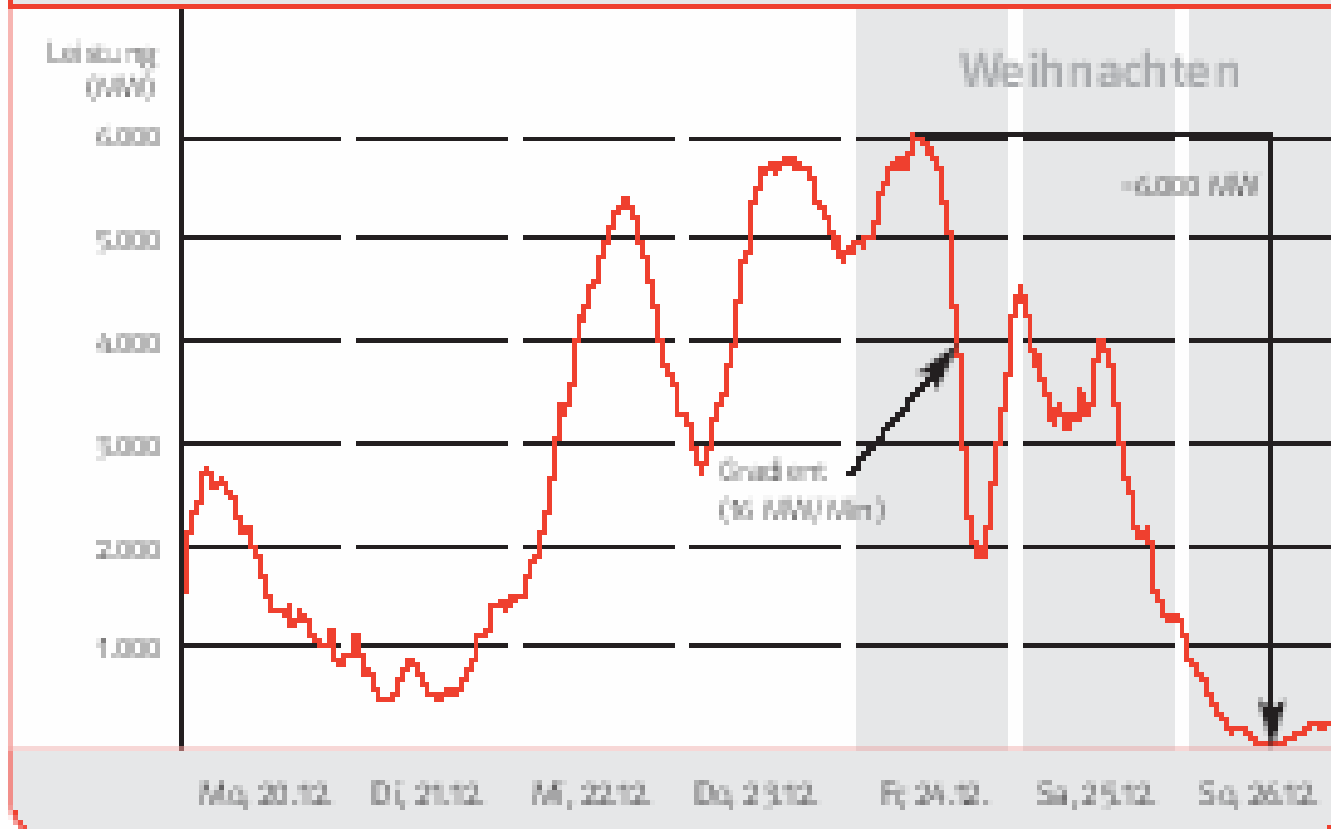
Quelle: www.eon-netze.com

„Worst Case“

Kompetenzzentrum Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie

6. Starke Schwankungen

der Windstromeinspeisung an den Weihnachtsfeiertagen 2004



Quelle: www.eon-netze.com

- Notwendigkeit bei weiterer Integration fluktuierender RE ins Netz (Lastschwankung $\Rightarrow$ Erzeuger- und Lastschwankung)
- Doppelter Nutzen: aufschaltbare Senke und Quelle
- Speicherung in Schwungmassen, Kondensatoren, Batterien und supraleitenden Spulen für Groß-Stromspeicher irrelevant
- Volkswirtschaftlich relevante Strommengen sind nach heutigem Stand der Technik nur in Pumpspeichern, Druckluftspeichern und Wasserstoffanlagen speicherbar

1. KWB
2. Wasserstofftechnik in Kürze
3. Stromspeicher: Vergleiche
4. Szenarien und Skaleneffekte
5. Konsequenzen
6. Zusammenfassung & Ausblick

Wasserstoff ist ...

Kompetenzzentrum Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie

- ... ein Sekundärenergieträger (wie elektrischer Strom auch)
- ... darstellbar aus wasserstoffhaltigen Rohstoffen
 - Erdgas (Reformierung)
 - Wasser (Elektrolyse; $3,5 \text{ kWh}_{\text{elektr.}}/\text{Nm}^3 \text{ H}_2$)
- ... technisch handhabbar
- ... z. Zt. fast ausschließlich in chemischer Nutzung
 - Deutschland ca. 20 Mrd. Nm^3 jährlich
 - Weltweit ca. 500 Mrd. Nm^3 jährlich
- ... im Gefährdungspotential vergleichbar mit Benzin oder Erdgas
- ... mit einem Heizwert von $2,8 \text{ kWh}/\text{Nm}^3$ ein voluminöser Brennstoff
- ... mit einem Heizwert von $33,3 \text{ kWh}/\text{kg}$ ein leichter Brennstoff

Stromspeicher Wasserstoff

Kompetenzzentrum Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie

Elektrolyse

Alkalisch

- 80 Jahre
- $P = 100\text{W} \dots 120\text{MW}$
- 4.000 €/kW
- PEMFC: Reinigung

Sauer (PEM)

- 15 Jahre
- $P = 100\text{W} \dots 400\text{ kW}$
- 6.000 €/kW
- Potenzial HD

Speicherung

Druckflaschen

- 50 Liter @ 200 bar



MH-Speicher

- Frei konfigurierbar

Verstromung

Brennstoffzelle

- $P = 300\text{W} \dots 250\text{ kW}$
- NT-Abwärme
- Flexibel
- Virtuelles Kraftwerk
- Hoher Wirkungsgrad

Gasmotoren

- $P = 50\text{ kW} \dots 20\text{ MW}$
- Machbar (Jenbacher)

Gasturbine

- $P = 1\text{MW} \dots 100\text{ MW}$
- F&E

O₂-Nutzung?

1. KWB
2. Wasserstofftechnik in Kürze
3. **Stromspeicher: Vergleiche**
4. Szenarien und Skaleneffekte
5. Konsequenzen
6. Zusammenfassung & Ausblick

Große Stromspeicher

Kompetenzzentrum Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie

		Pumpspeicher	Druckluftspeicher	Wasserstoff
Speicherhöhe	[m]	100	-	-
Speicherdruck	[bar]	-	80	80
Speichertemperatur	[°C]	20	20	20
$\eta_{\text{Erzeugung}}$	[%]	-	?	75
$\eta_{\text{Einspeicherung}}$	[%]	90	85	85
$\eta_{\text{Ausspeicherung}}$	[%]	90	85	85
$\eta_{\text{Verstromung}}$	[%]	-	?	50
Heizwert	[kWh/Nm ³]	-	?	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	?	27
Nachhaltigkeit	[😊/😐/😞]	😊/😐	😊/😐	😊

Geesthacht – Huntorf - H₂

Kompetenzzentrum Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie

Pumpspeicher Geesthacht



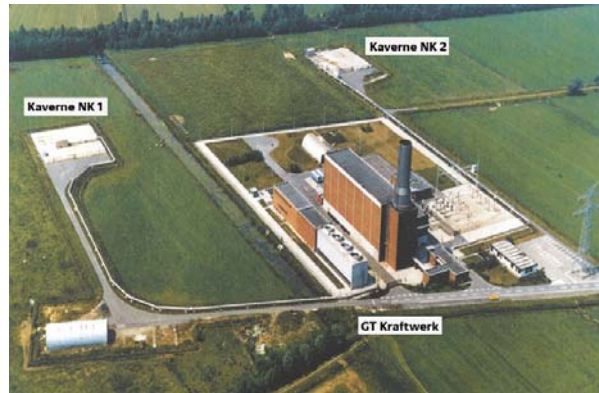
Quelle: www.elbetreff.de

$$V = 3,3 \text{ Mio m}^3$$

$$H = 83 \text{ m}$$

$$E_{\text{Nutz}} = 600 \text{ MWh}$$

Druckluftspeicher Huntorf



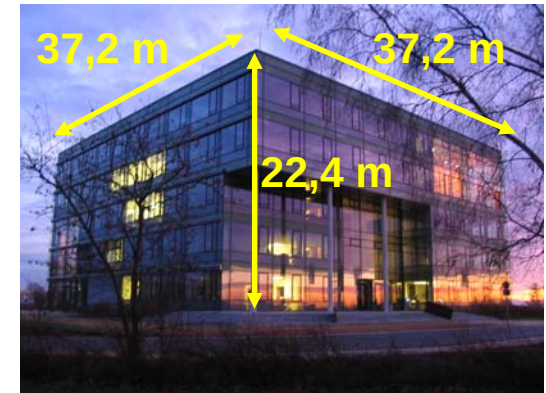
Quelle: www.thema-energie.de

$$V = 0,3 \text{ Mio m}^3$$

$$p = 50\text{-}70 \text{ bar}$$

$$E_{\text{Nutz}} = 580 \text{ MWh}$$

„H₂-Speicher MFC“ (Dimension)



$$V = 0,43 \text{ Mio Nm}^3 \text{ H}_2$$

$$= 10.361 \text{ m}^3 \text{ H}_2 @$$

$$p = 50 \text{ bar}$$

$$E_{\text{Nutz}} = 600 \text{ MWh}$$

Vergleich Goldisthal

Kompetenzzentrum Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie



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

$L = 140 \text{ m}$

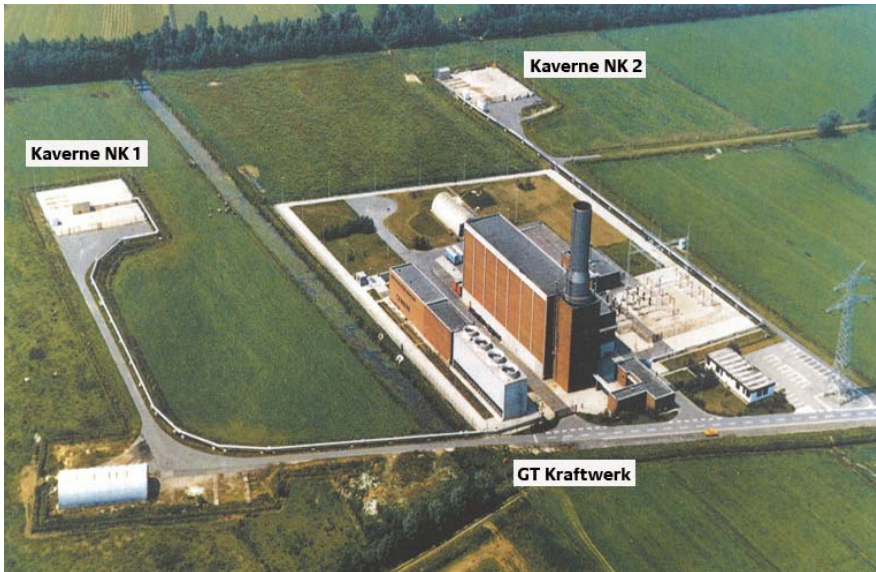
$B = 76 \text{ m}$

$H = 20 \text{ m}$



Vergleich Huntorf

Kompetenzzentrum Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie



Quelle: www.thema-energie.de

Speichervolumen Huntorf

⇒ Wasserstoffspeicherung

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

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

1. KWB
2. Wasserstofftechnik in Kürze
3. Stromspeicher: Vergleiche
4. **Szenarien und Skaleneffekte**
5. Konsequenzen
6. Zusammenfassung & Ausblick

Szenario 1: Stromglättung einer 3MW-Anlage

⇒ 1,5 MW Elektrolyseur, 10 Stück/Jahr

15 MW/a

Szenario 2: Netzdämpfung Schleswig-Holstein

⇒ 2,0 GW Elektrolyse, 10 Jahre Aufbauzeit

200 MW/a

Szenario 3: Ankopplung Offshore

⇒ 12,5 GW Elektrolyse, 10 Jahre Aufbauzeit

1.250 MW/a

Skaleneffekte Elektrolyse

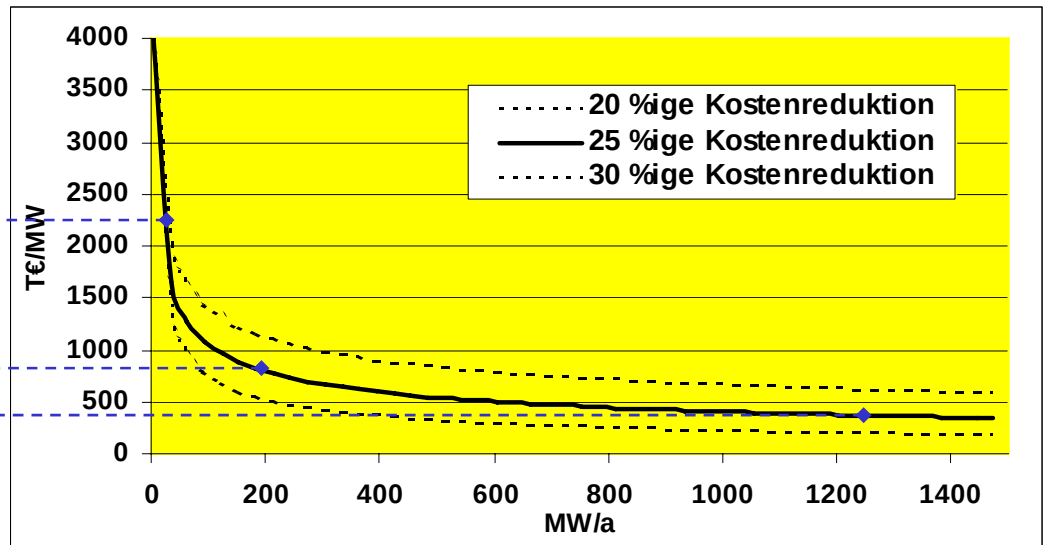
Kompetenzzentrum Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie

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

Szenario 1: 2.311 T€/MW

Szenario 2: 789 T€/MW

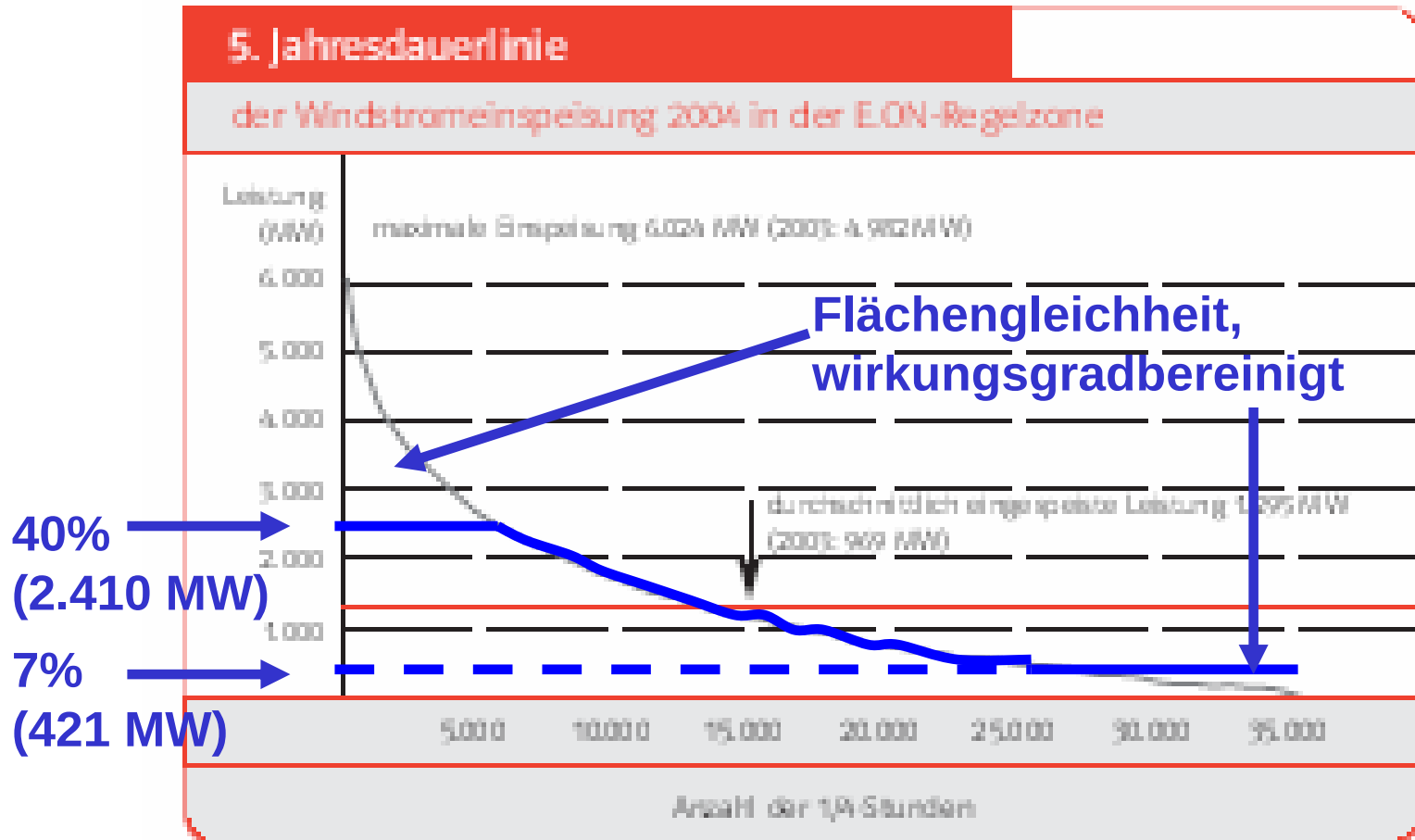
Szenario 3: 370 T€/MW



1. KWB
2. Wasserstofftechnik in Kürze
3. Stromspeicher: Vergleiche
4. Szenarien und Skaleneffekte
5. Konsequenzen
6. Zusammenfassung & Ausblick

Dämpfung Jahreskurve

Kompetenzzentrum Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie

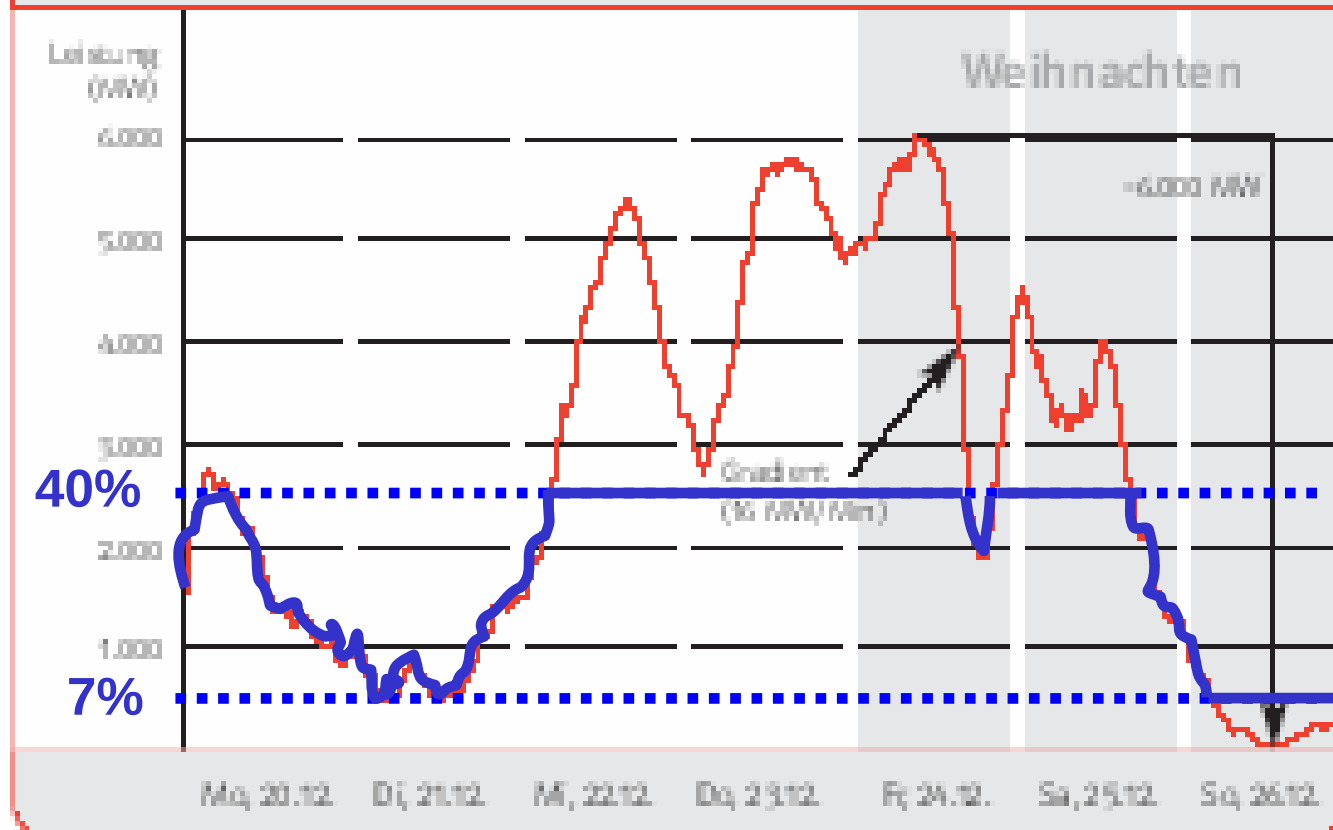


Konsequenz „Worst Case“

Kompetenzzentrum Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie

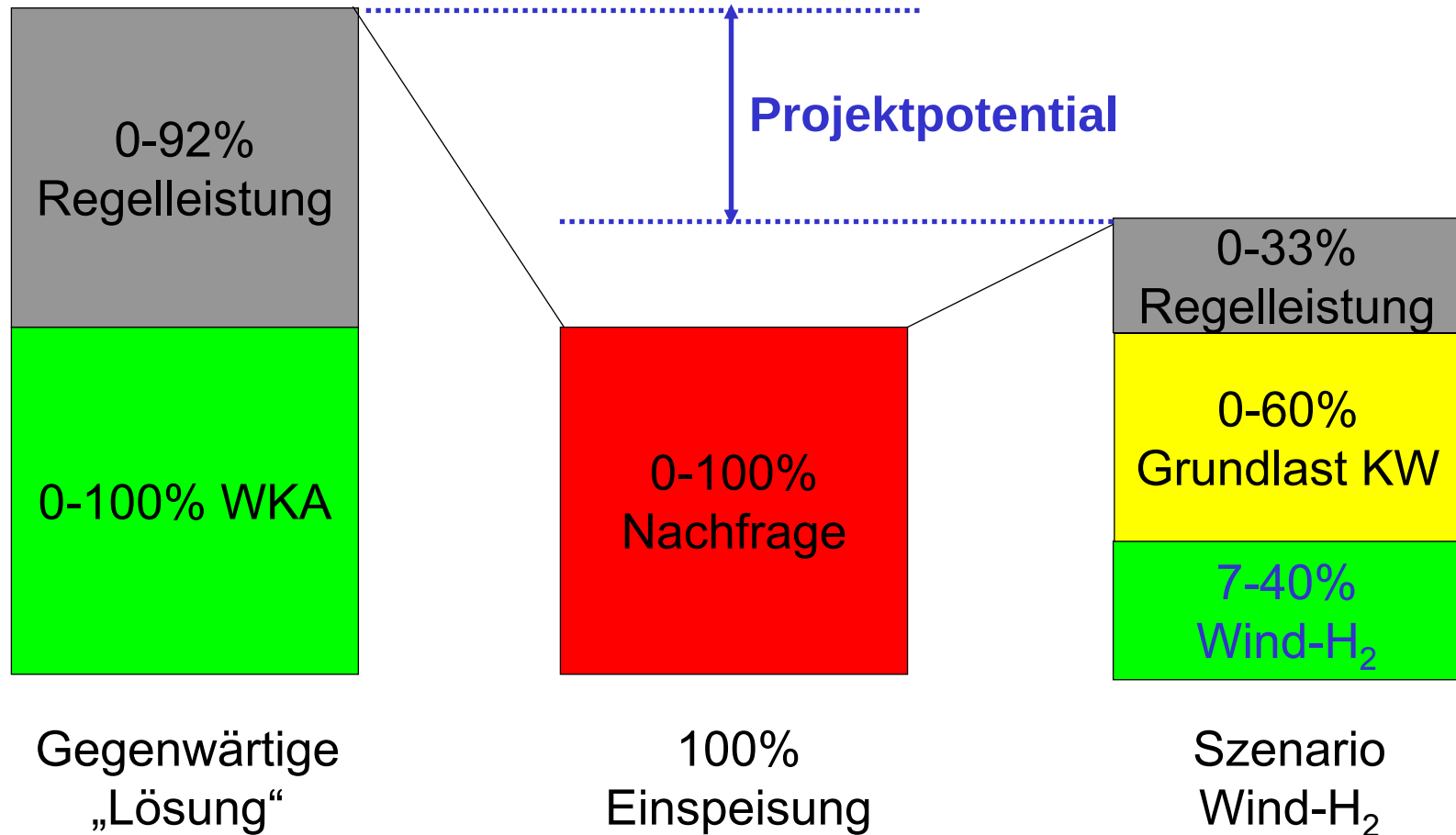
6. Starke Schwankungen

der Windstromeinspeisung an den Weihnachtsfeiertagen 2004



Wirtschaftlicher Hintergrund

Kompetenzzentrum Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie



1. KWB
2. Wasserstofftechnik in Kürze
3. Stromspeicher: Vergleiche
4. Szenarien und Skaleneffekte
5. Konsequenzen
6. Zusammenfassung & Ausblick

Zusammenfassung

Kompetenzzentrum Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie

- ⇒ Chemisches Speicherpotential 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

KWB: W-H₂ Demonstrator

Kompetenzzentrum Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie



- ⇒ Technische Zielsetzung: Verstärkung von Windstrom
- ⇒ Demonstrationsanlage zum Kompetenzaufbau und -nachweis
- ⇒ Leistung: Dauerabgabe von 0,7 - 4 kW
- ⇒ Aufbau:
 - 10 x 1 kW Windräder
 - 1 x 6 kW Elektrolyseur
 - Druckspeicher 200 bar
 - 1 kW Brennstoffzelle
 - Wechselrichter, Netzeinspeisung
 - Standort: MFC

KWB: W-H₂ Pilotanlage

Kompetenzzentrum Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie



- ⇒ Technische Zielsetzung: Verstärkung von Windstrom
- ⇒ Containerisierte Pilotanlage zum Kompetenzaufbau und -nachweis
- ⇒ Leistung: Dauerabgabe von 60 - 350 kW
- ⇒ Aufbau:



- Diverse WKA 0,6-1,0 MW, Netzknoten
- 1 x 250 kW Elektrolyseur
- mobile Druckspeicher 200 bar
- 6 x 10 kW Brennstoffzelle, dezentral
- Wechselrichter, Netzeinspeisung
- Standort: wechselnd

Vielen Dank für die Aufmerksamkeit!

www.kwb-sh.de

Co-Generation

Kompetenzzentrum Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie

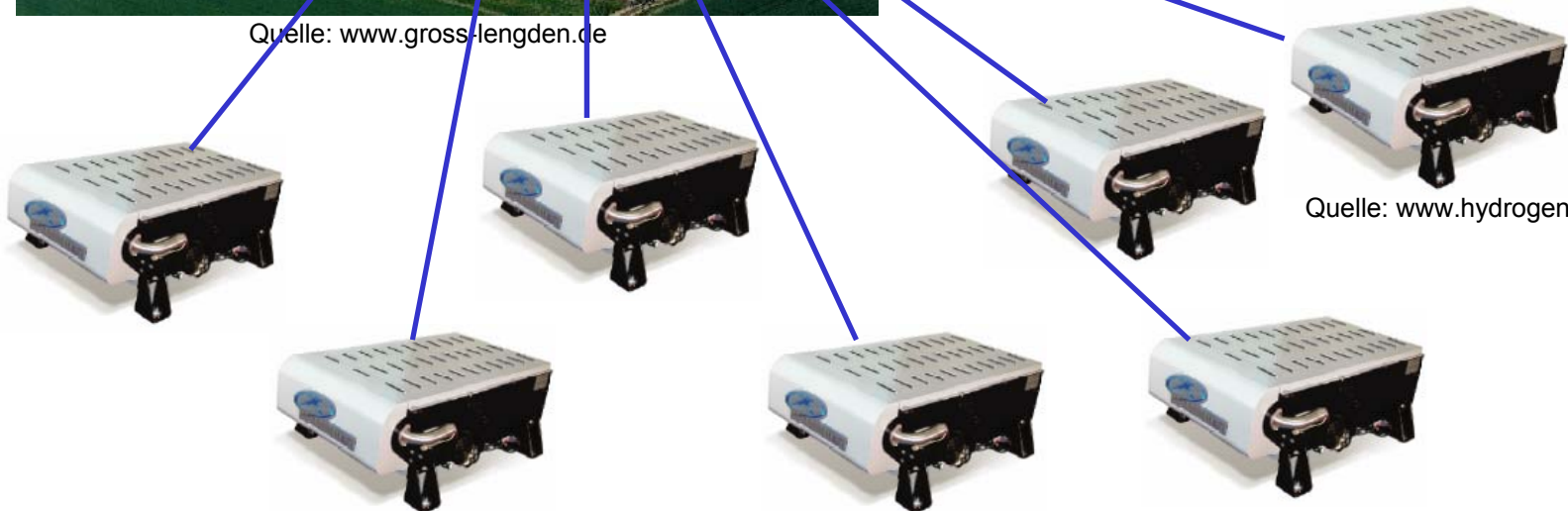


Quelle: www.gross-lengden.de

Kraft-Wärme-Kopplung in Siedlungsgebieten

⇒ Bsp. PEMFC, $n \times 10\text{kW}$

⇒ H_2 über Rohrnetz



Quelle: www.hydrogenics.com

Kraftstoff H₂

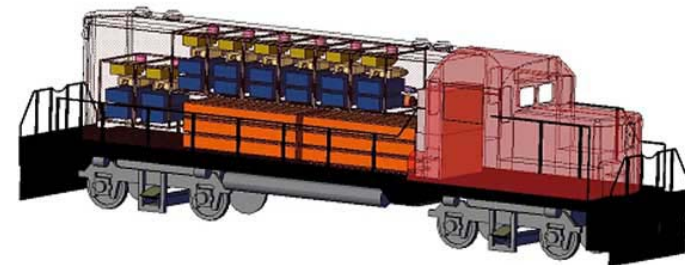
Kompetenzzentrum Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie



Quelle: www.daimlerchrysler.com



Quelle: www.daimlerchrysler.com



Conceptual design of fuelcell road-switcher employing 1.2 MW PEM fuelcells (blue) and storage of 250 kg of hydrogen as a reversible metal-hydride (orange)

Quelle: www.fuelcelltoday.de