

Offshore-Wasserstoff

11. Symposium „Nutzung regenerativer Energiequellen und Wasserstofftechnik“, 04.- 06.11.2004, FH Stralsund

Dipl. Ing. Michael Wenske, Stuart Energy Europe

Dr. Hans Sandlaß, IEE Ingenieurbüro Energieeinsparung GmbH

Das Unternehmen

- Pionier und Weltmarktführer auf dem Gebiet des Baus und Vermarktung von kommerziellen Wasserstoffinfrastrukturlösungen auf Basis der Wasserelektrolyse.
- Bisher wurden über 1100 Elektrolyseure in über 100 Ländern installiert.
- Mutterhaus in Toronto (CAN) mit Vertretungen in Belgien, Deutschland, USA, China, Indien und Russland mit insgesamt ca. 140 Mitarbeitern und einem Netzwerk von Verkaufsagenten.
- Erweiterung des Technologieportfolios durch Akquisition der Vandendorre Technologies N.V. im Februar 2003

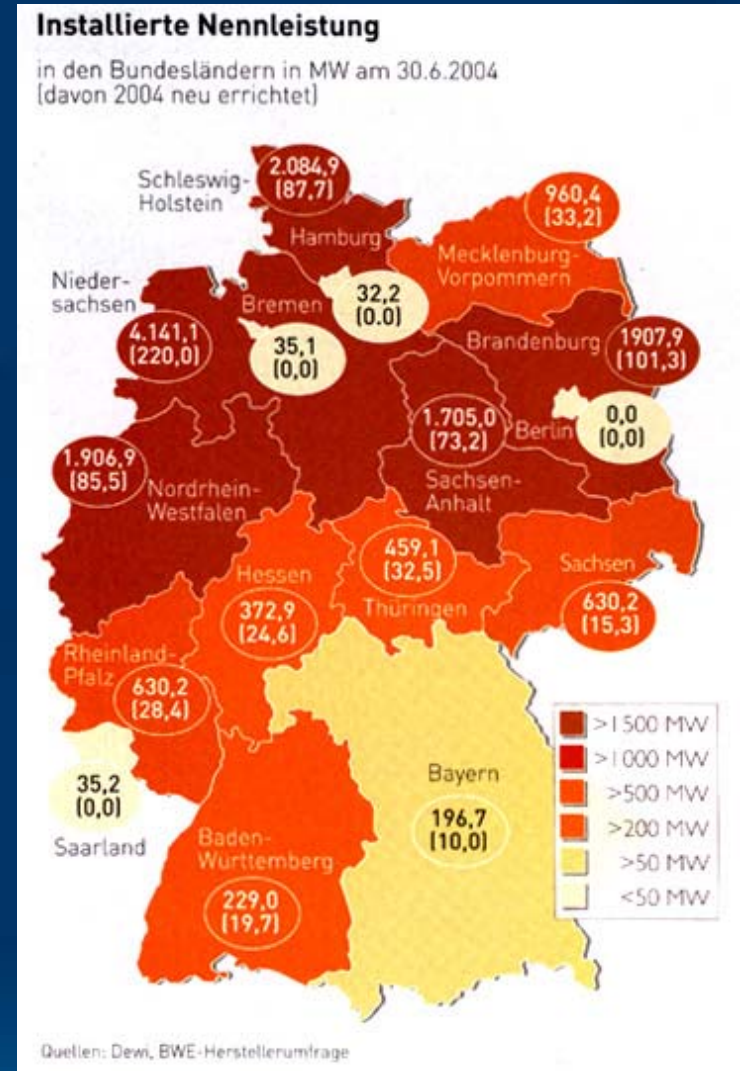
Inhalt

- Windstandort Deutschland
- Technologische Herausforderungen
- Lösungsansätze für eine nachhaltige Wasserstoffwirtschaft
- Visionen

Übersicht

Lösungsansatz: Wasserstoff statt Netzausbau

- Status Deutschland
 - Installierte Leistung: 15 GW
 - Ziel: + 20 GW bis 2020
 - Leistungserhöhung durch:
 - „Repowering“
 - Offshore-Installation
 - Probleme:
 - Netzengepässe
 - Netzmanagement
- ⇒ Lösung: H₂-Erzeugung und Speicherung bietet sich als Vorzugslösung der Netzmanagement- und Netzkapazitätsprobleme und zur Treibstoffbereitstellung an



Kraftstoff für Fahrzeuge

- Alle bedeutenden Industriestaaten und Automobilhersteller weltweit sehen in der Wasserstofftechnologie die bedeutendste Lösung der Energieversorgung- und Kraftstofferzeugung (USA, Japan, China, Europa).
- Deutschland (Verkehrswirtschaftliche Energiestrategie VES):
 - Bis 2010 sollen ca. 2000 öffentliche Tankstellen mit H₂- Versorgung ausgestattet sein. Hierbei ist noch offen, welcher Anteil auf welche Art der H₂ Versorgung (ELY, REF, Lieferung per LH₂ oder CGH₂ Trailer oder Pipeline) entfallen wird.
 - 10% Anteil aller Neufahrzeuge bis 2010 sind Wasserstoffautos
 - Substitution von 2,5% herkömmlicher Kraftstoffe durch Markteinführung von Wasserstoffautos bis 2010, 15% bis 2015 [Heuer 2001]
 - Wasserstoffverbrauch in 2010: 500.000 t/a; 2,4Mio t/a in 2020 [MWV 2001]

Wasserstoff wird zunehmend attraktiver ...

■ Triebfedern

- Unabhängigkeit von Energieimporten
 - Instabilität und tendenzieller Anstieg der Erdölpreise
 - Verknappung Reserven
 - Erhöhte Förder- und Transportkosten
- CO₂-Emissionsreduktion
- Schadstoffemissionen in Großstädten
- Wachstum Individualverkehr
 - Steigende Nachfrage

- Zunehmend attraktive Stromgestehungskosten aus regenerativen Energiequellen (Wasserkraft, Windenergie, Biogas)



Quelle: NYMEX, Oktober 2004

***Untersuchung ausgewählter
geeigneter Standorte***

Potentielle Standorte

■ Geplante Projekte Nordsee (AWZ):

- Amrumbank (Nordsee-Ost) 1.250MW
- Amrumbank West 400MW
- Borkum Riffgrund 746MW
- Borkum Riffgrund-West 1.800MW
- Borkum West 1.040MW
- Butendiek 240MW
- Hochsee WP "He dreiht" 535,5MW
- Hochsee WP "Nordsee" 2.286MW
- Dan-Tysk 1.500MW
- Meerwind 819MW
- North Sea Windpower 1.255MW
- Sandbank 24 4.720MW
- Weiße Bank 600MW
- Globaltech I 1.440MW
- Nördlicher Grund 2.195MW
- Gode Wind 896MW
- Uthland 400MW
- H2-20 400MW

■ Geplante Projekte Nordsee (12-SMZ):

- Dollart (Ems-Emden) 9MW
- Nordergründe 125MW
- Riffgat 200MW
- Wilhelmshaven 4,5MW

■ **Summe: 22.861MW**

■ Geplante Projekte Ostsee (AWZ):

- Adlergrund 720MW
- Arkona-Becken Südost 1.005MW
- Beltsee 415MW
- Kriegers Flak 320,5
- Pommersche Bucht 1000MW
- Ventotec Ost 2 600MW

■ Geplante Projekte Ostsee (12-SMZ):

- Baltic I 54MW
- Sky 2000 100MW
- Breitling 2MW
- Klützer Winkel 2MW

■ **Summe: 4.425,5MW**

Technologische Herausforderungen und Probleme

- Problem Netzanschluß und Leistungsabführung
- Probleme der Seekabelübertragung
- Probleme Regelenergie

Problem Netzanschluss und Leistungsabführung

- Leistung einzelner Windparks über 2.000 MW
- Genehmigungsbehörden fordern Bündelung der Trassen aus einzelnen Windparks (Übertragung von bis zu 4.000MW erforderlich)
 - Abhilfe sollen Hochspannungsnetze (220kV/380kV) schaffen
 - Bisher nicht über das Stadium des Planfeststellungsverfahrens hinausgekommen
 - Hohe Kosten
- Beschränkte Anzahl verfügbarer Netzanbindungspunkte
- Abtransport nur über neu zu errichtende Nord-Südtrassen
 - Trassenlänge ca. 1.000km
- Offshore-Wind reduziert die Transitzkapazität im Hochspannungsnetz



Hochspannungsnetz der Vattenfall Europe Transmission

Technologische Herausforderungen und Probleme

- Problem Netzanschluß und Leistungsabführung
- Probleme der Seekabelübertragung
- Probleme Regelenergie

Probleme der Seekabelübertragung

- Spezifische höhere Leitungskosten als Onshore
- Bei herkömmlicher Drehstromübertragung:
 - Leistungsverluste durch Widerstand bei zunehmender Leitungslänge (größere Blindleistung)
- Ausweg Hochspannungs-Gleichstromübertragung (HGÜ)?
 - zusätzliche Kosten (Wechselrichterstationen)
 - Ökologische Einflüsse auf marine Lebenswelt
 - Wärme
 - Künstliche elektrische und magnetische Felder

Technologische Herausforderungen und Probleme

- Problem Netzanschluß und Leistungsabführung
- Probleme der Seekabelübertragung
- Probleme Regelenergie

Probleme Regelenergie

- Zunehmende Schwankungen entstehen durch fluktuierende Windstrom-Einspeisung
 - Kosten der Regelenergie lt. EON Energie AG:
 - Gegenwärtig: 2,4 ct/kWh
 - Kapitalbindung von 8 Mrd. Euro (80 Mio. Euro/a)
 - ab 2016 fallen jährlich 850 Mio. Euro Regelenergiekosten an
- Vorschau der installierten Windenergie-Leistung bis 2011 und Auswirkungen lt. Vattenfall Europe:
 - Das EEG verpflichtet zum Netzausbau. Die Kosten dafür können auf Netzentgelte umgelegt werden.
 - Windstarke Standorte liegen im lastschwachen Norden.
 - Zum Transport müsste für 30 – 40 Starkwindtage im Jahr erhebliche Netzverstärkungen realisiert werden.
 - Kosten tragen die Verbraucher.
 - Eine Reihe von Netzausbaumaßnahmen ist wegen geringer Benutzungsstunden betriebswirtschaftlich nicht vertretbar.

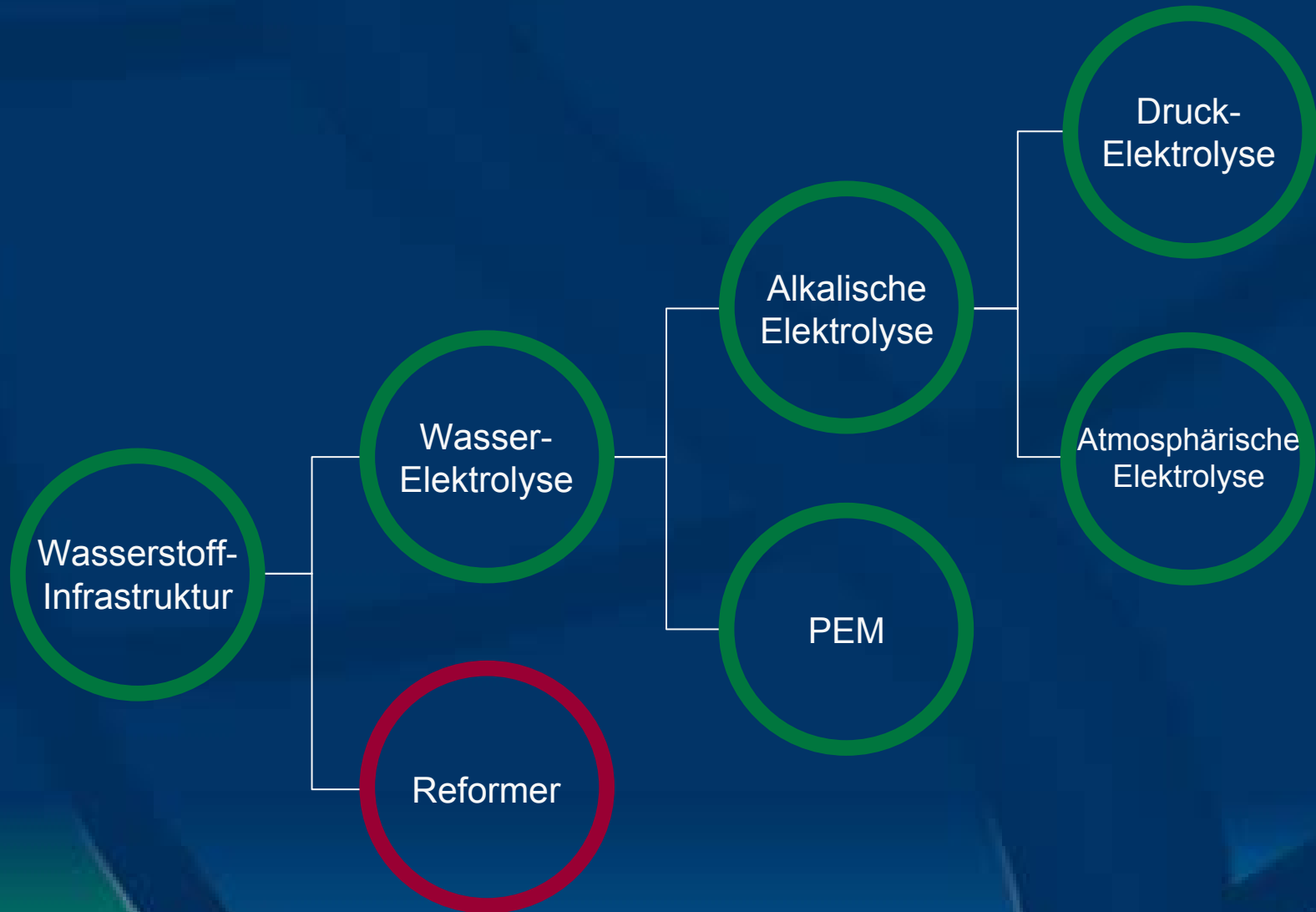
Schlussfolgerungen für eine Wasserstoffinitiative

Was können wir mit Wind-Wasserstoff erreichen?

- Die wichtigste Eigenschaft ist seine Speicherbarkeit.
- Fluktuierender Windstrom kann der Ganglinie des Bedarfs angepasst werden.
- Die Diskussion um die Regelernergie wird hinfällig.
- Netzausbaumaßnahmen werden zumindest teilweise hinfällig.
- Wind-Wasserstoff für die Mobilität belastet nicht das Übertragungsnetz.
- Bereitstellung von Offshore-Wind-Wasserstoff beschleunigt den Aufbau einer Kraftstoff-Infrastruktur mit CO₂-freiem Wasserstoff.
- Wasserstofferzeugungs-Standorte bilden neue Kristallisationspunkte für die wirtschaftliche Entwicklung einer Region.
- Die Nutzung dieser neuen innovativen Technologie führt zu einem Aufschwung in der Forschung und Entwicklung führen.
 - Profilierung der FH Stralsund zur führenden Einrichtung.
- Schaffung neuer Arbeitsplätze und Akzeptanz der Windenergie.
- Die Bereitstellung von CO₂-freiem Wasserstoff wird zu einem neuen Markenzeichen des Landes Mecklenburg-Vorpommern.

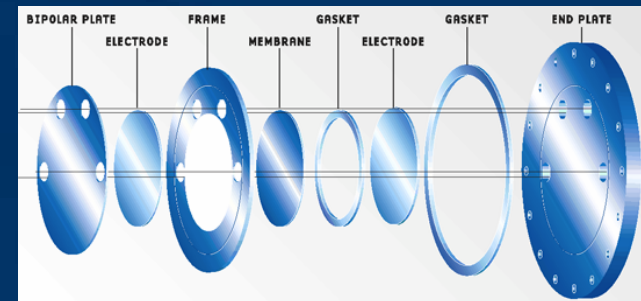
Stand der Technik

Herstellung von Wasserstoff

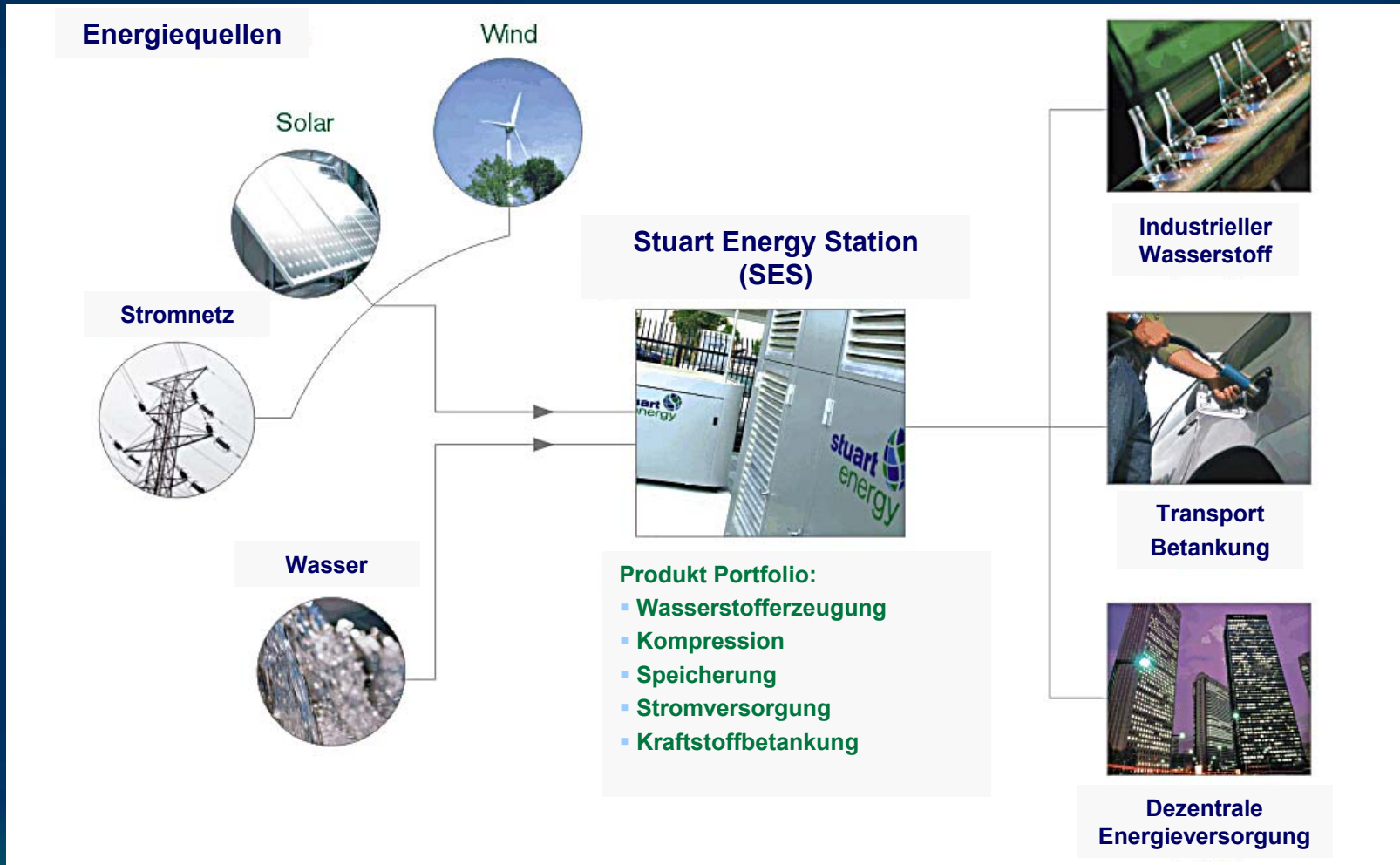


Technologievergleich

- PEM-Elektrolyse:
 - ungünstiges Preis/Leistungsverhältnis >10kW
 - rel. hoher spezifischer Energieverbrauch
- Hochtemperaturelektrolyse
 - Frühes Entwicklungsstadium
- Alkalische Elektrolyse
 - weltweit etablierte Technologie
 - SES: ca. 1.100 Anlagen in über 100 Ländern
 - Druckelektrolyseure mit einer Produktionskapazität von 20.000Nm³/h → installierte Leistung: 90MW
 - Vergleichsweise hoher Gesamtwirkungsgrad (ca. 65..68% LHV)
 - Hohe Verfügbarkeit
 - Gutes PreisLeistungsverhältnis mit Verbesserungspotential



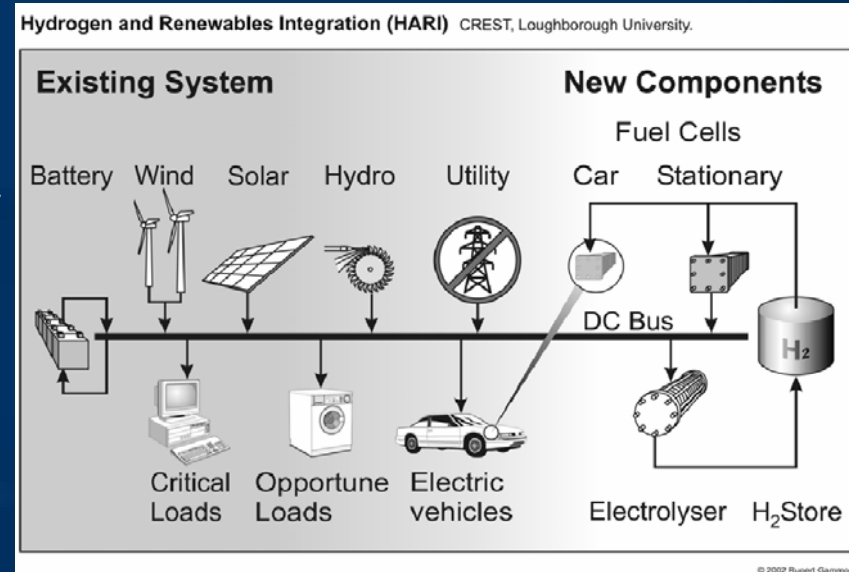
Modulare Infrastrukturlösungen auf der Basis von Elektrolysetechnik



Kopplung Windkraft-Elektrolyse

Ausgewählte Projektbeispiele (1)

- Fachhochschule Wiesbaden, 20kW Elektrolyseanlage (FH Wiebaden), Installation 1988
- Fachhochschule Stralsund, 20kW Elektrolyseanlage (ELWATEC), Installation 1995
- West Beacon Farm „HARI Projekt“, 34kW Elektrolyseanlage (Vandenborre Hydrogen Systems), Installation 2003



Systemkomponenten HaRI Project

- ✓ Untersuchung von Konzepten für Mikrosysteme
- ✓ Verbesserung Effizienz, Verfügbarkeit und Lebensdauer der einzelnen Systemkomponenten
- ✓ Ableitung von Schlussfolgerungen für die Auslegung realer, ökonomisch interessanter Projekte für Gebiete mit Netzanschluss, aber auch für Inselsysteme (stand alone)

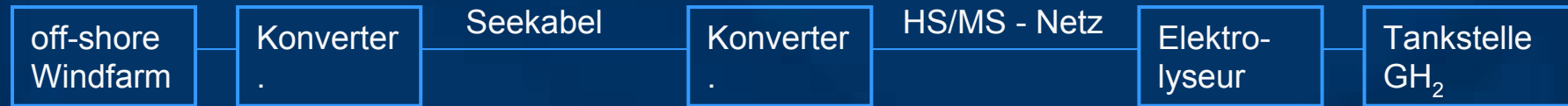
Kopplung Windkraft-Elektrolyse

Ausgewählte Projektbeispiele (2)

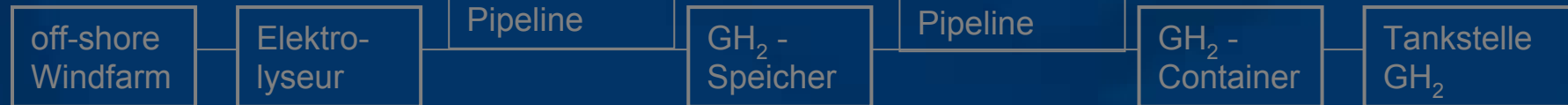
- Programm zur Demonstration und Entwicklung von Wind-Wasserstoff-Systemen und Wasserstofftransportlösungen zur mittelfristigen Markteinführung in Partnerschaft mit Corporación Energía Hidroeléctrica de Navarra S.A. (EHN), STATKRAFT SF und STUART ENERGY EUROPE
- Zielstellung:
 - Voruntersuchungen an Systemkomponenten
 - Optimierung des Lastmanagements bei direkter Kopplung der Systemkomponenten
 - Effizienzverbesserung des Elektrolyseurs: Senkung des spez. Verbrauchs um $0,2 \text{ kWh/Nm}^3$ Wasserstoff \rightarrow Gesamtwirkungsgrad $>70\%$ (LVH)
 - Entwicklung eines Gesamtsystems (bis 2010) mit Wasserstoff-Gestehungskosten $< 2,5\text{€/kg}$ (der Energieinhalt von 1kg Wasserstoff entspricht dem von $3,78\text{l}$ Benzin)

Wasserstoffpfade aus Offshore-Windfarmen

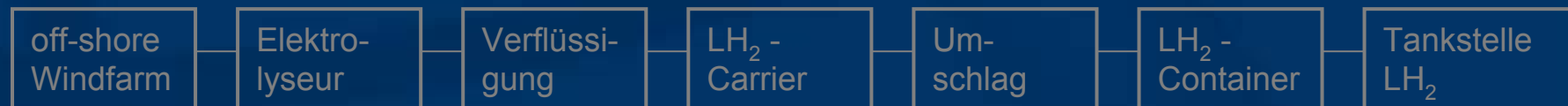
Variante 1



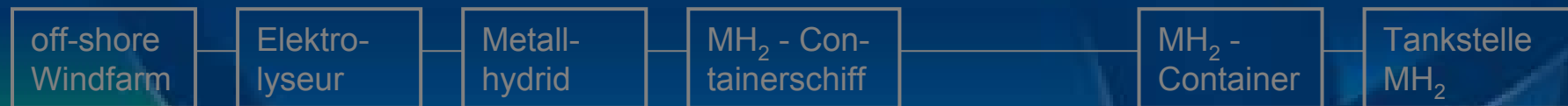
Variante 2



Variante 3



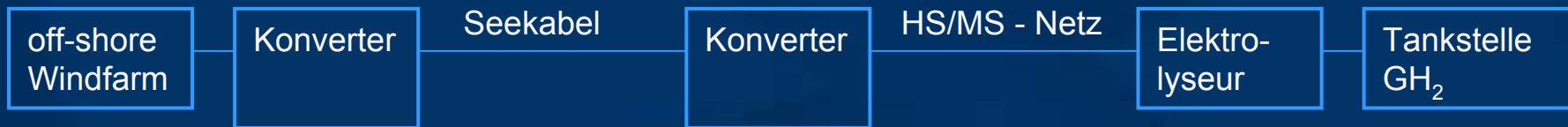
Variante 4



Diskussion Strukturlösungen (1)

- Grundsätzliche Strukturlösungen
 - Erzeugung und Transport von GH₂
 - Erzeugung und Transport von LH₂
 - Erzeugung und Transport von H₂ in Metallhydridspeicher
- Vorzugsvariante: Landgestützte Erzeugung von Wasserstoff

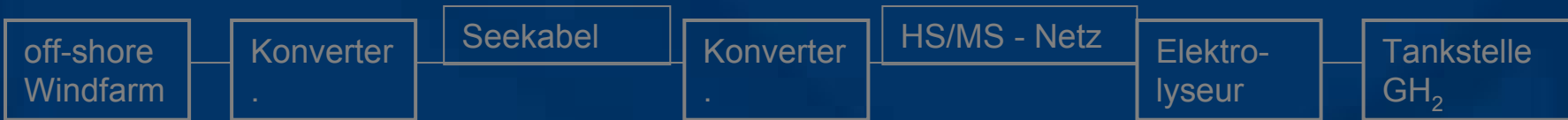
Variante 1



- Verteilung des Wasserstoffs:
 - Pipelines, Trailer je nach Wirtschaftlichkeit und Infrastruktur
 - Verteilung im küstennahen Bereich ist aus Kostengründen vorzuziehen
 - Flüssig-Wasserstoff (LH₂), jedoch rel. hohe Kosten
- Vorteile:
 - Kombination vorhandener, weitestgehend erprobter Systemkomponenten
 - Kurz/mittelfristige Marktreife

Wasserstoffpfade aus Offshore-Windfarmen

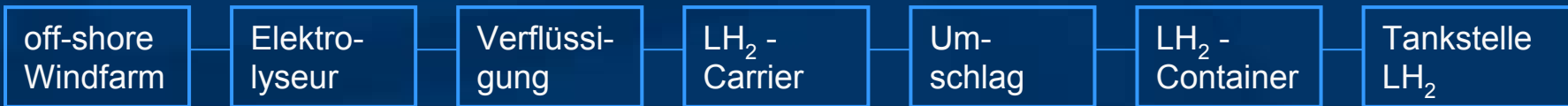
Variante 1



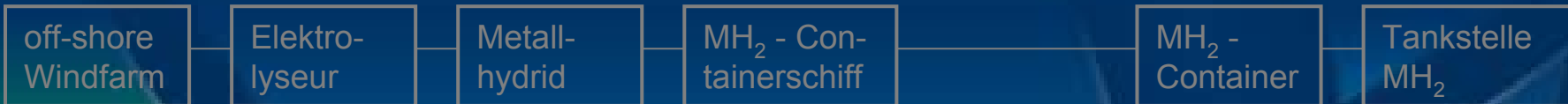
Variante 2



Variante 3

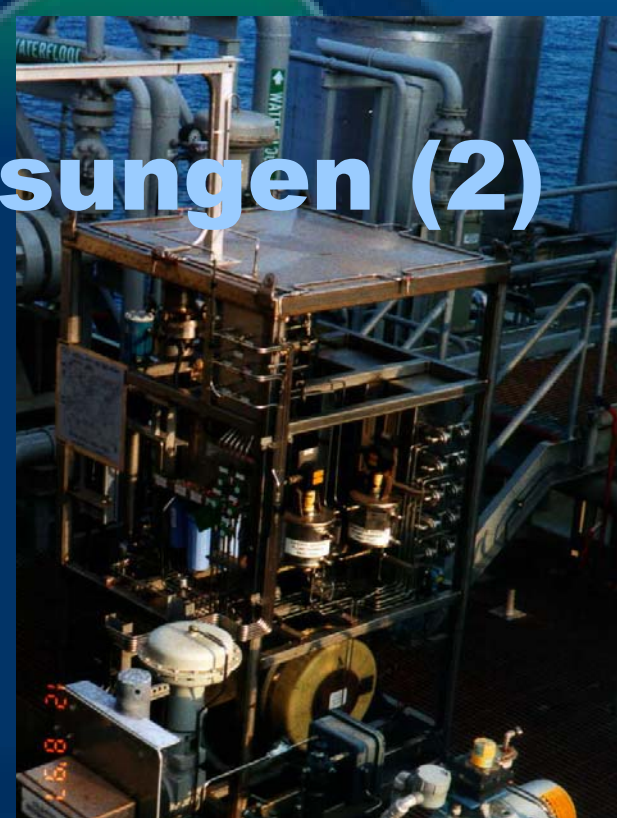


Variante 4



Diskussion Strukturösungen (2)

- Optionale Varianten
 - Seegestützte Wasserstoffproduktion
 - Offshore-Plattform
 - Schiff
- Machbarkeit
 - Erfahrungsgemäß höhere Anforderung Design (Sondervorschriften und Standards)
 - Umfangreiches Know-how vorhanden (ELWATEC → heute Stuart Energy Europe)
 - Spezielle Designkriterien
 - Hohe Materialansprüche durch Korrosion in salzhaltiger Atmosphäre
 - Hoher elektrischer Schutzgrad (IP65) bedingt durch die hohe Luftfeuchtigkeit
 - Erhöhte Sicherheit für Druckbehälter (Standard des American Bureau of Shipping)
 - Hohe Stressbelastungen (Vibrationen, plötzliche Erschütterungen)
 - Extreme Schiffsbewegungen (Rollen und Stampfen) erfordern spezielle Designlösungen peripherer Systemkomponenten
 - Erhöhte Anforderungen an Instrumentierung (Redundanz, etc.)
 - Vereinfachte Bedienbarkeit und geringe Wartungsanforderungen



Elektrolyseur auf Offshore-Plattform „Ram Power

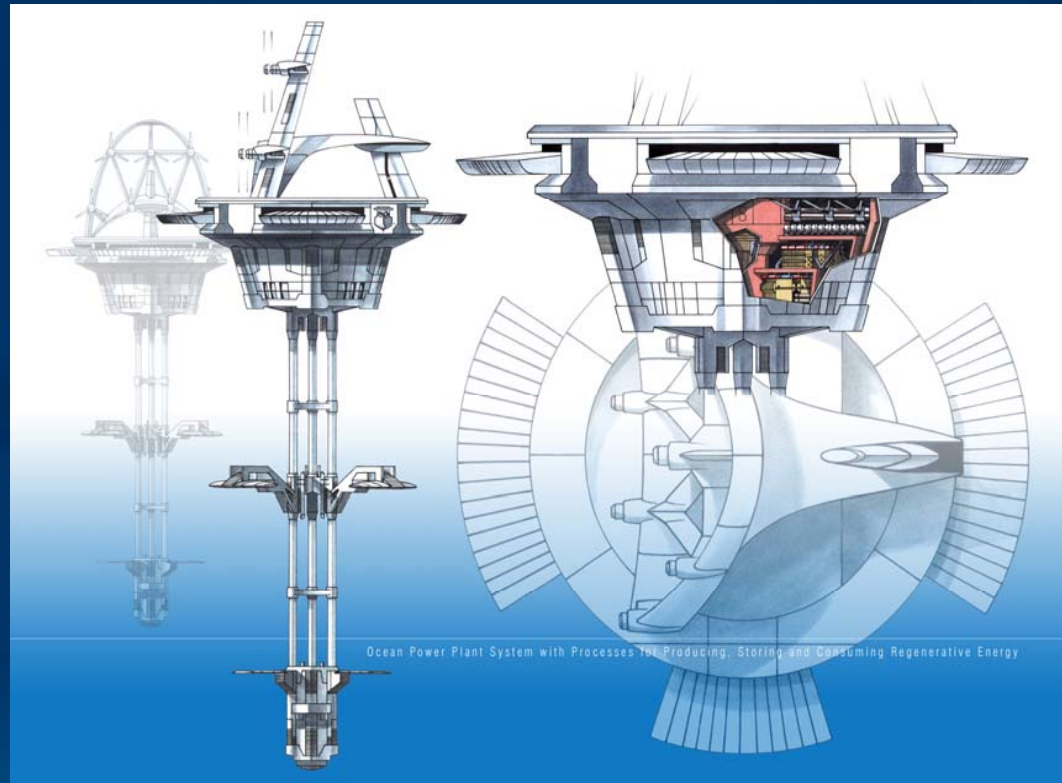
Diskussion Strukturlösungen (3)

- Transport und Verteilung:
 - Pipeline
 - GH_2 - oder LH_2 -Speicher
- Pipeline oder Schifftransport ?
 - Schiffe benötigen zusätzlich Anlege- und Verladestellen
 - Übernahme des Wasserstoffs erschwert sich bei Seegang
 - Potentielle Anlandungsstellen Ostsee: Wismar, Rostock, Stralsund, Saßnitz, Greifswald, Lubmin
- Schlussfolgerungen
 - Beschriebene Technologien (Variante 1,2) stehen im industriellen Maßstab weitestgehend zur Verfügung
 - Voruntersuchungen [LBST], haben deutlich gemacht, dass die Variante LH_2 mittelfristig kaum lösbar ist.
 - Der Einsatz von Metallhydridspeicher (Variante 4) wird mittelfristig nicht wirtschaftlich zur Verfügung stehen.
 - Für den Weitertransport des Wasserstoffs an Knotenpunkte des Bedarfs zum Aufbau einer Infrastruktur kommt mittelfristig auch GH_2 in Betracht
 - Für die langfristige Entwicklung ist zu untersuchen, ob eine Verflüssigung am Anlandepunkt wirtschaftlich gestaltet werden kann.

Visionen (1)

„100 MW Meereskraftwerk mit Wasserstoffproduktion“

- Schwimmende Kraftwerksinsel
 - Versorgung von Fischereiflotten
 - Verarbeitungsplattform für Fischereibetriebe
 - Produktion von Trinkwasser



Visionen (2)

Projekt „Hydrogen Challenger

- Ausrüstung von Schiffen mit Windgeneratoren, Elektrolyse, Speicher
- Erzeugung von Wasserstoff „on-board“ und Transport zu potentiellen Industriekunden
- Vorteil: Unabhängigkeit des Systems von langwierigen Zulassungs- und Genehmigungsverfahren wie sie heute für stationäre Windparks angewendet werden



Wind-Wasserstoff-Produktionsschiff

Zusammenfassung

- Die Herstellung von Wasserstoff über Offshore-Windparks technisch realisierbar und stellt eine realistische Alternative zum Ausbau des derzeitigen Stromnetzes dar.
- Entscheidende Faktoren, die die Markteinführung solcher Systeme beschleunigen:
 - die Entwicklung der Öl- und Gaspreise
 - die Schaffung politischer Rahmenbedingungen (Förderung des regenerativ hergestellten Kraftstoffes Wasserstoff)
 - das ernsthafte Engagement der Fahrzeugindustrie bei der Entwicklung von Wasserstoffautos.

Fortschritt ist Verwirklichung von Utopien



stuartenergy
the power of hydrogen

Stuart Energy Europe
Südstraße 80, Geb. 96.7
04668 Grimma
Germany
Tel.: +49 (0)3437/973110
Fax: +49 (0)3437/973123