

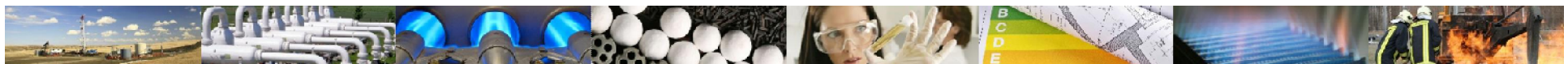
# WIRTSCHAFTLICHE ANALYSE VON POWER-TO-X WERTSCHÖPFUNGSKETTEN ZUR STOFFLICHEN UND ENERGETISCHEN VERWERTUNG VON WASSERSTOFF

**Prof. Dr. Hartmut Krause**

DBI Gas- und Umwelttechnik GmbH

VCI/DECHEMA-Workshop . Strombasierter Wasserstoff

Frankfurt, 14. Dezember 2015



- Motivation  
von Wirtschaftlichkeitsanalysen auf der Basis gekoppelter  
Wertschöpfungsketten
- Wertschöpfungskettenanalyse
- Wirtschaftlichkeit gekoppelter Ketten
- Fazit

- **Eine sinnvolle Verwertung von grünem Wasserstoff setzt eine wettbewerbsfähige Erzeugung voraus**
- Wettbewerbsfähigkeit des Wasserstoffs ist abhängig vom Einsatz in den jeweiligen Wirtschaftszweigen → der Bedarfsmenge, dem Kostenanteil am Endprodukt, den Randbedingungen für konkurrierende konventionelle Verfahren sowie der Versorgungssicherheit
- Sektor-übergreifender Einsatz von regenerativem Wasserstoff birgt Synergiepotenziale → eine breite Marktnachfrage nach Schlüsseltechnologien wie Elektrolyse begünstigt Innovation und Kostensenkung, gemeinsame Nutzung von Infrastruktur ermöglicht Skaleneffekte, etc.
- **Zum Verständnis von Synergiepotenzialen und Optionen für Sektor-übergreifenden Technologieeinsatz ist die Analyse zentraler gekoppelter Wertschöpfungsketten notwendig**

## **Herausforderungen als Chance**

- Netzintegration erneuerbarer Energien über Wasserstoffspeicherung
- Wirtschaftliche Bereitstellung von grünem Wasserstoff für Chemie, Mobilität und urbane Energieversorgung

## **Mission**

HYPOS will über grünen Wasserstoff das Chemiestoffstromnetz, das Erdgasnetz und die elektrischen Netze in Ostdeutschland modellhaft verbinden und damit fehlende System- und Netzwerkinnovationen für eine Wirtschaftlichkeit von sicherem grünem Wasserstoff erreichen.

## **Alleinstellungsmerkmale der HYPOS-Region**

- Zweitgrößtes Wasserstoffpipelinennetz in Deutschland (150 km)
- Kavernenspeicher und Umspannwerke in direkter Umgebung
- Höchstes Potential an kombinierter PV + Windkraft in Deutschland

## **Herausforderungen als Chance**

- Netzintegration erneuerbarer Energien über Wasserstoffspeicherung
- Wirtschaftliche Bereitstellung von grünem Wasserstoff für Chemie, Mobilität und urbane Energieversorgung

## **Mission**

HYPOS will über grünen Wasserstoff das Chemiestoffstromnetz, das Erdgasnetz und die elektrischen Netze in Ostdeutschland modellhaft verbinden und damit fehlende System- und Netzwerkinnovationen für eine Wirtschaftlichkeit von sicherem grünem Wasserstoff erreichen.

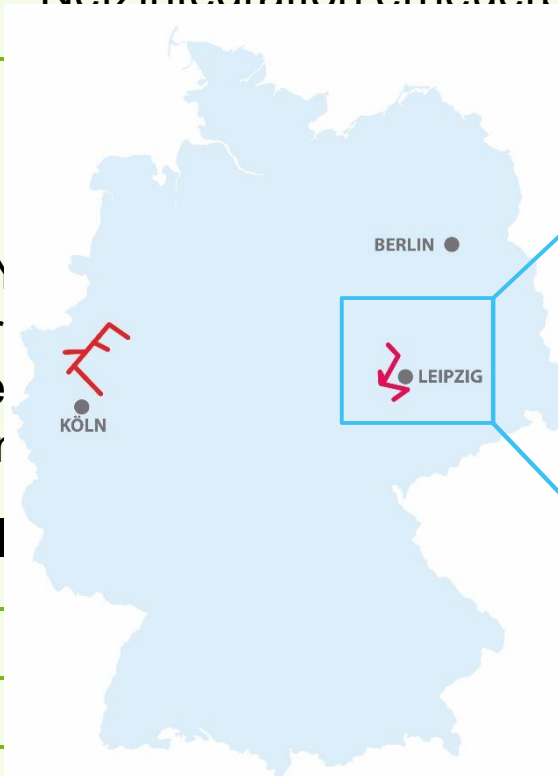
## **Alleinstellungsmerkmale der HYPOS-Region**

- Zweitgrößtes Wasserstoffpipelinenetz in Deutschland (150 km)
- Kavernenspeicher und Umspannwerke in direkter Umgebung
- Höchstes Potential an kombinierter PV + Windkraft in Deutschland

**Herausforderungen als Chance**

— Netzintegration erneuerbarer Energien über Wasserstoffspeicherung

M  
H  
Er  
ve  
eir  
  
Al

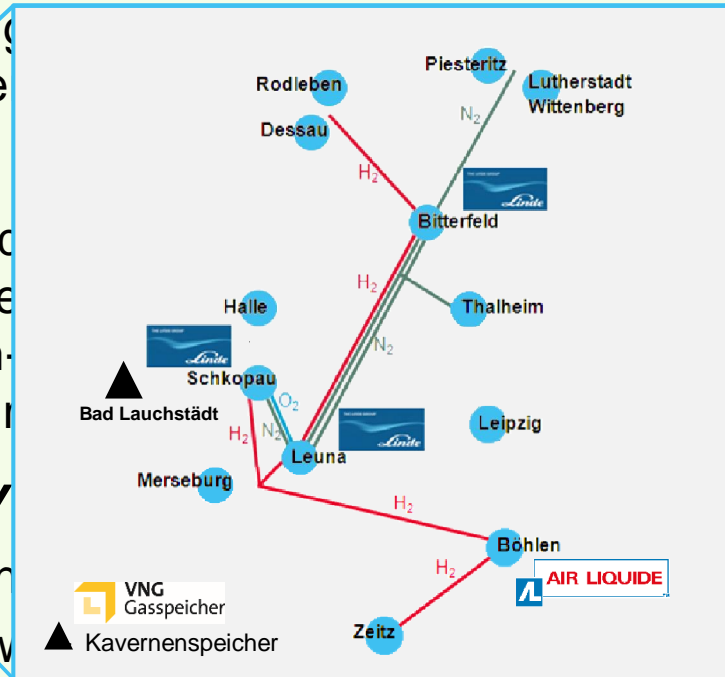


lung von  
oane Ene

Wasserstoff d  
nen Netze  
e System-  
cherem gr

e der HY  
fpipeline  
mspannw

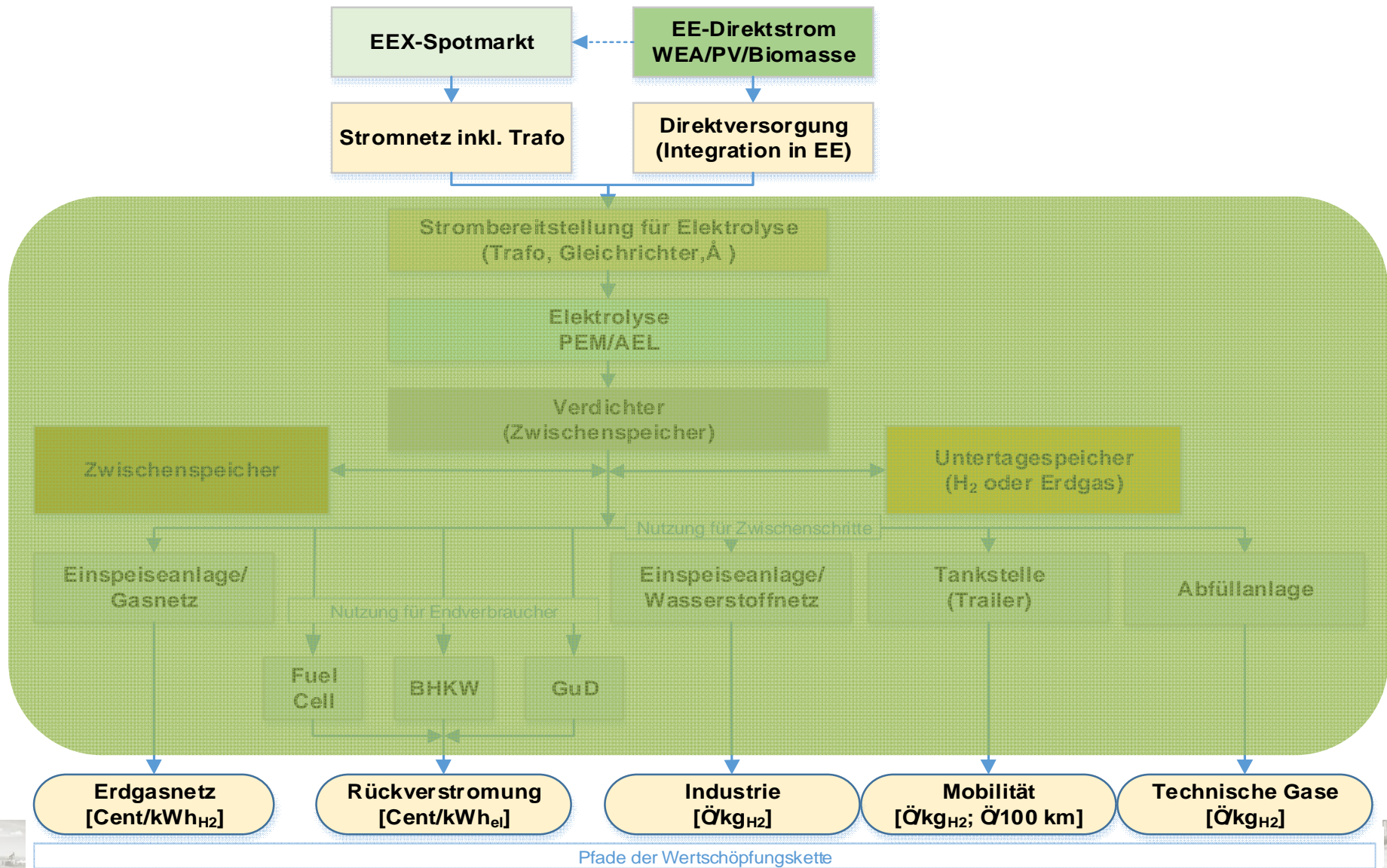
mbinierter PV + Windkraft in Deutschland



- Dient der Ermittlung und Begründung wesentlicher Themen für Forschung und Entwicklung
- Anhand der Wertschöpfungsketten werden
  - die Kosten (Investitions-, Betriebs- und Gesteuerungskosten) für die einzelnen Elemente ermittelt
  - die Endverbraucherpreise für Wasserstoff/Endenergie abgeleitet
  - das Kostensenkungspotenzial durch F&E-Entwicklungen bestimmt
- Anhand der Endverbraucherpreise können
  - Handlungsempfehlungen für Forschung und Entwicklung abgeleitet und
  - Geschäftsmodelle entwickelt, bewertet, verbessert werden
  - die Potenziale verschiedener Märkte für EE-Gase bewertet
- Die Wertschöpfungskettenanalyse basiert auf Erhebungen verschiedener Studien (NOW, DVGW, HYPOS)



# WERTSCHÖPFUNGSKETTENANALYSE . GESAMTÜBERSICHT





### **Methodisch wurden folgende Arbeitsschritte vorgenommen:**

- Definition der zu analysierenden Einzelmodelle für Elemente der jeweiligen Ketten (Kombiniertes verfahrenstechnisches und wirtschaftliches Modell der Kettenelemente)
- Zusammenstellung der Ketten anhand ausgewählter (zu erwartender / realistischer) Versorgungsszenarien
- Implementierung von Investitionskosten auf vorliegender Datenbasis (Quellen: DVGW, NOW, Herstellerangaben, Betreiberangaben)
- Festlegung und interne Abstimmung der Rahmen und Betriebsparametern (z.B. Zinssätze, Abschreibungen, Volllaststunden, Strombezugskosten, Umwandlungsgrade, Wartung usw.) zur Berechnung der Gestehungskosten
- Vergleich der ermittelten Gestehungskosten mit den am Markt erzielbaren Netto-Preisen
- **Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen an gekoppelten Wertschöpfungsketten**

### **Hauptversorgung:**

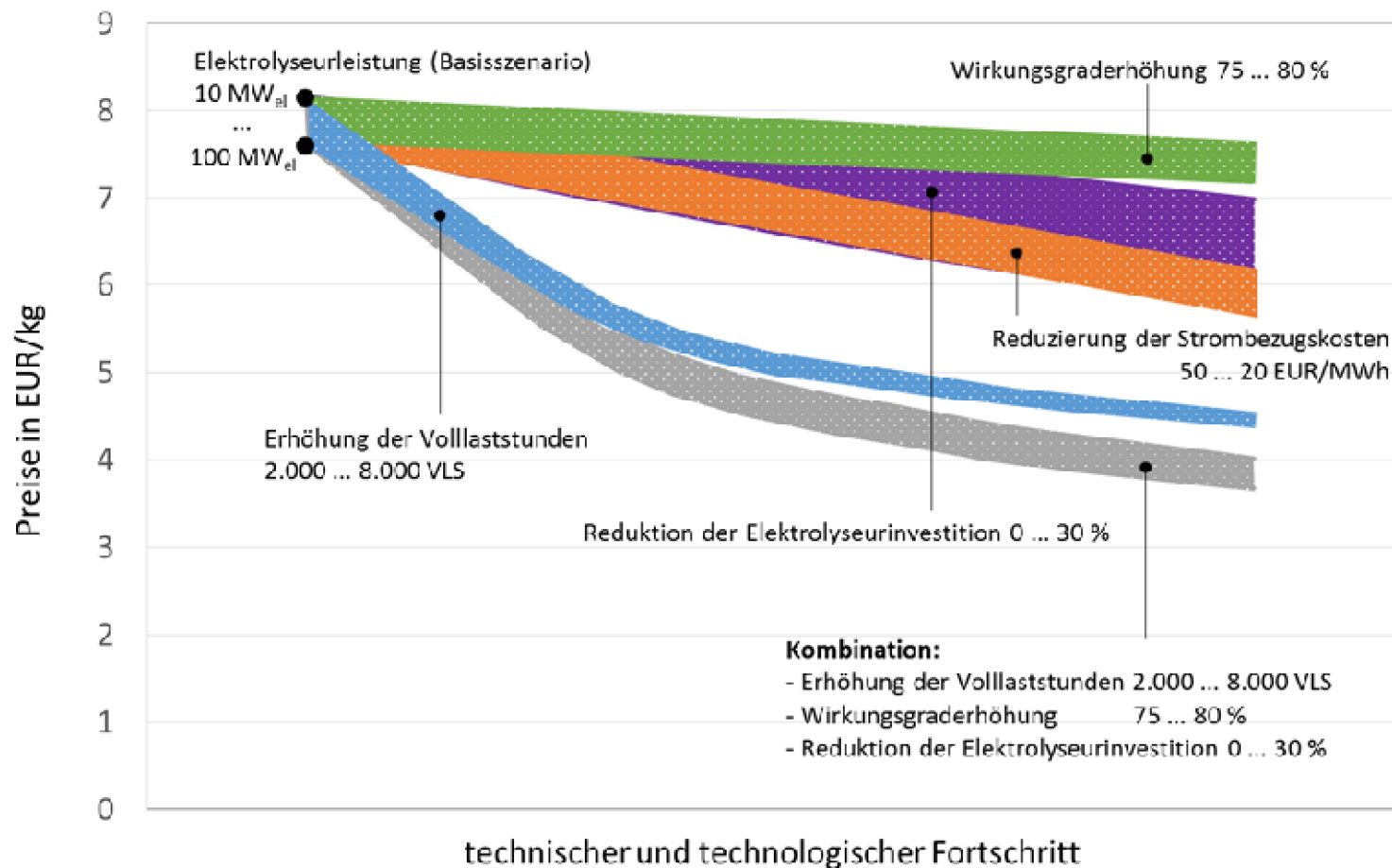
Wasserstoff für chemische Industrie mit Bezug zur HYPOS-Region (z.B. Düngemittelherstellung, Hydrierprozesse, Raffinerien) inkl.

- Zentrale Elektrolyseurgruppe (235 MW<sub>el</sub>)
- Bevorratung von Wasserstoff im Untergrundspeicher (24 Mio. m<sup>3</sup>)
- Verteilung in einem Wasserstoffnetz inkl. Anschlüssen

### **Gekoppelte Anwendungen:**

- Mobilität . Versorgung mittels Trailer von 36 Tankstellen
- Rückverstromung . mittels BHKW / Fuel Cell und Berücksichtigung von Stromnetzentlastung / -stabilisierung, Regelleistungsbereitstellung am Wasserstoffnetz
- Gasnetz . Einspeisung und Transport von Wasserstoff im Gasnetz

## Analyse des Kostensenkungspotenzial an Einzelparametern



## BEISPIEL: KOMBINATIONSMODELL . INDUSTRIE AUSGEWÄHLTE RAHMENDATEN

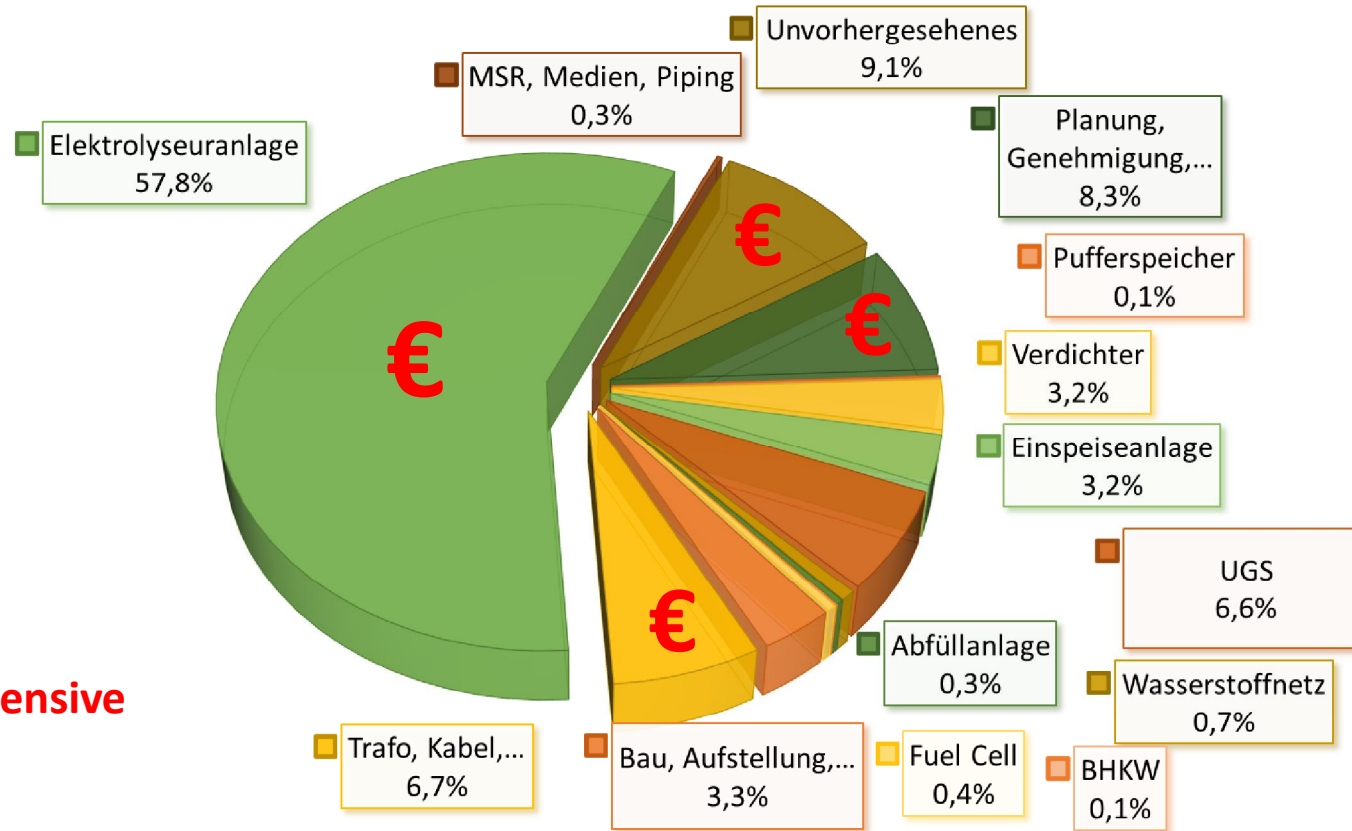
- Elektrolyseanlage (alkalisch inkl. Periph.) 900 " /kW<sub>el</sub>
- Verdichter g. Auslegung inkl. Pufferspeicher
- Unterspeicher 1,00 " /Nm<sup>3</sup> Arbeitsgas
- Einspeiseanlage g. Auslegung einfach
- Wartungskosten 3% + 1%  
neuer Technologieansatz
- Kapitalzinssatz 4% + 1% Risikozuschlag
- Fixkosten 5%
- Versicherung 2%
- Stromkosten 20 EUR/MWh
- Elektrolyse = 65%<sub>ELY</sub> (inkl. Nebenanlagen)
- Rückverstromung = 60%<sub>Fuel Cell</sub>, = 42%<sub>BHKW</sub>

→ konservativer Ansatz mit aktuellen Daten

# BEISPIEL: KOMBINATIONSMODELL . INDUSTRIE

## VERTEILUNG DER INVESTITIONSKOSTEN

### Verteilung der Investitionskosten: Leadmodell Industrie



€ - kostenintensive Elemente

Gesamtinvestition: 385 Mio. EUR  
(Anteil Mobilität 10 %, Regelenergie 5 % + Gasnetz nach Verbrauchsprofil)

# BEISPIEL: KOMBINATIONSMODELL . INDUSTRIE GESTEHUNGSKOSTEN

## Sensitivitätsanalyse: Vollaststunden, technologische Verbesserungen, Scalierung

WSK	<u>Einzelmodell</u> (2.000 VLS)	<u>Kombinationsmodell Industrie</u> (2.000 VLS)	<u>Kombinationsmodell Industrie</u> (4.000 VLS)	<u>Kombinationsmodell Industrie</u> (4.000 VLS) + Technologische Verbesserung	Referenzpreise (ohne Steuer und Umlagen)
Industrie	7,54 EUR/kg <sub>H2</sub>	7,47 EUR/kg	4,49 EUR/kg	3,30 EUR/kg	→ 2,13 EUR/kg
Mobilität	11,65 EUR/kg	7,47 EUR/100 km <sup>(2)</sup> (äquivalent EUR/kg)	4,49 EUR/100 km <sup>(2)</sup> (äquivalent EUR/kg)	3,30 EUR/100 km <sup>(2)</sup> (äquivalent EUR/kg)	→ 5,96 EUR/kg
Fuel Cell	49,98 Cent/kWh <sub>el</sub> <sup>(1)</sup>	31,61 Cent/kWh <sub>el</sub> <sup>(1)</sup>	18,98 Cent/kWh <sub>el</sub> <sup>(1)</sup>	13,96 Cent/kWh <sub>el</sub> <sup>(1)</sup>	13,87 ct/kWh <sub>el</sub>
BHKW	58,29 Cent/kWh <sub>el</sub> <sup>(1)</sup>	45,15 Cent/kWh <sub>el</sub> <sup>(1)</sup>	27,12 Cent/kWh <sub>el</sub> <sup>(1)</sup>	19,95 Cent/kWh <sub>el</sub> <sup>(1)</sup>	
Gasnetz	20,98 Cent/kWh <sub>H2</sub>	18,96 Cent/kWh <sub>H2</sub>	11,39 Cent/kWh <sub>H2</sub>	8,38 Cent/kWh <sub>H2</sub>	Erdgas: 3-4 ct/kWh <sub>H2</sub> Biogas: 9 ct/kWh <sub>H2</sub>




<sup>1</sup> Bezogen auf elektrischen Wirkungsgrad (Fuel Cell: 60%, BHKW: 42%, GuD: 50%)

<sup>2</sup> 1 kg Wasserstoff pro 100 km (Brennstoffzelle + Elektroantrieb)

- Der Investitionskostenschwerpunkt aller betrachteten Wertschöpfungsketten liegt grundsätzlich bei der Elektrolyseanlage, der Netzanbindung sowie den Nutzungstechnologien
- Die Kombination verschiedener Wertschöpfungsketten ermöglicht eine Reduzierung der Gestehungskosten von bis zu 30% (insbesondere bei der Mobilität und Rückverstromung)
- Die Erhöhung der Vollaststunden und die Strombezugskosten weisen die höchsten (40%) Kostensenkungspotenziale auf  
→ damit können im Bereich Mobilität und Industrie interessante Gestehungskosten für grünen Wasserstoff erreicht werden
- Die Verbesserung / Optimierung der Parameter (Wirkungsgrade, Investitionskosten) führt zu weiteren Kostensenkungen von ca. 30%  
→ Rückverstromung mit BZ wird wirtschaftlich



## **Mit Hilfe der Wirtschaftlichkeitsanalyse über die vernetzten Wertschöpfungsketten können**

-  Gesteuerungskosten und Kombinationsmodelle optimiert werden
-  der Forschungsbedarf identifiziert werden
-  perspektivisch regulatorische Maßnahmen und Marktanzreizsysteme evaluiert werden

**VIELEN DANK FÜR IHRE AUFMERKSAMKEIT!**

**Ihr Ansprechpartner**

Prof. Dr. Hartmut Krause

Geschäftsführer

DBI Gas- und Umwelttechnik GmbH  
Karl-Heine-Straße 109/111  
D-04229 Leipzig

Tel.: (+49) 341 24571-11

Fax: (+49) 341 24571-36

E-Mail: [Hartmut.krause@dbi-gut.de](mailto:Hartmut.krause@dbi-gut.de)

Web: [www.dbi-gut.de](http://www.dbi-gut.de)

