



# Analyse der Kosten und Vermarktungsoptionen erneuerbarer Gase

**Matthias Altmann, Jan Michalski**  
Ludwig-Bölkow-Systemtechnik GmbH (LBST)

BEE Plattform Systemtransformation  
Dialogkonferenz III, Berlin, 09. Dezember 2013

# Zielsetzung und Aufgabenstellung



Ludwig Bolkow  
Systemtechnik

## Ziel

- Klärung grundlegender Fragen für die Entwicklung eines geeigneten Förderrahmens zur Entwicklung und Kommerzialisierung von Speichergas-Anlagen, damit diese rechtzeitig im Markt verfügbar sind, wenn sie energiewirtschaftlich benötigt werden

## Aufgaben

- Untersuchung der **Erzeugungskosten** erneuerbarer Gase
  - Bio-Methan aus Biogas in Erdgasqualität,
  - elektrolytisch aus erneuerbarem Strom hergestellter EE-Wasserstoff sowie
  - in einem katalytischen oder biologischen Methanisierungsprozess aus EE-Wasserstoff und Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) aus erneuerbaren Quellen hergestelltes EE-Methan
- Untersuchung von **Vermarktungsoptionen** erneuerbarer Gase



- Erneuerbare Gase: Bio-Methan und EE-Gase
- Erzeugungskosten erneuerbarer Gase
- Vermarktungsoptionen für erneuerbare Gase
- Fazit



ludwig bolkow  
systemtechnik

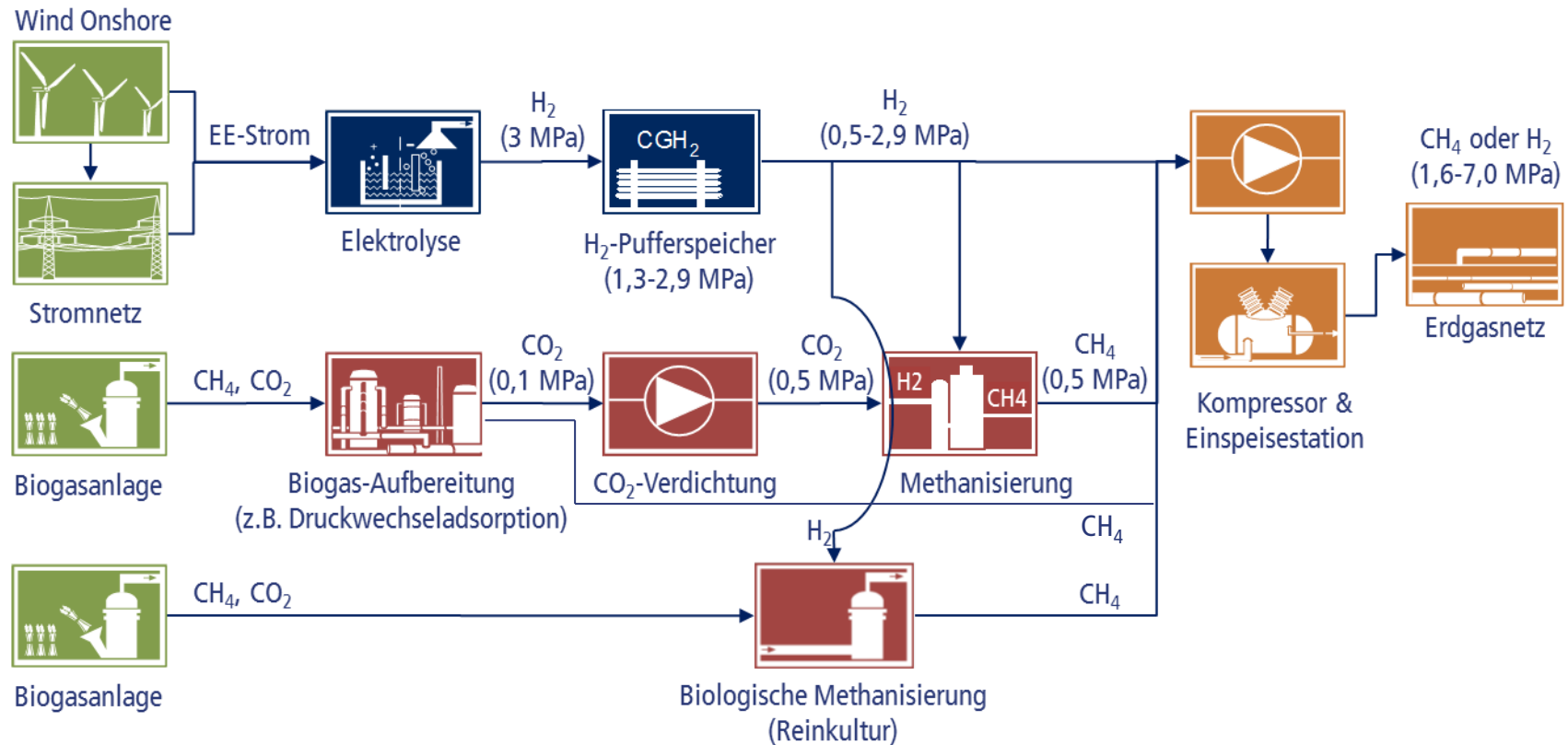
1

# BIO-METHAN UND EE-GASE

# Erzeugung von erneuerbaren Gasen



Ludwig Bolkow  
systemtechnik



# Aufbauszenario EE-Gas-Anlagen



Ludwig Bolkow  
systemtechnik

- Ehrgeizige Annahme: 1.000 MWe bis 2017 (Status 2013: 11 MWe)
- Ziel: Aufzeigen der Kostensenkungspotenziale (siehe Folien 16ff)

	Installation	EE-H2	EE-Methan
	MW <sub>el</sub> /a	MWh <sub>H2</sub> /a	MWh <sub>CH4</sub> /a
2013	50	72.115	60.107
2014	125	180.288	150.267
2015	200	288.462	240.428
2016	275	404.412	337.070
2017	350	514.706	428.999
<i>Gesamt</i>	<i>1.000</i>	<i>1.459.983</i>	<i>1.216.872</i>

- Die Szenarien EE-H2 und EE-Methan sind alternativ
- Vergleich: Mit 1.000 MWe kann die sechsfache Ausfallarbeit durch Einspeisemanagement 2011 von 420 GWh gespeichert werden



ludwig bolkow  
systemtechnik

2

# ERZEUGUNGSKOSTEN ERNEUERBARER GASE

# Notwendige Einspeisevergütungen Bio-Methan



ludwig bolkow  
systemtechnik

	EVK I und EVK II*	Reststoffe
■ < 175 Nm <sup>3</sup> /h	8,0 cent/kWh Hs**	6,0 cent/kWh Hs
■ < 350 Nm <sup>3</sup> /h	7,2 cent/kWh Hs	5,2 cent/kWh Hs
■ < 700 Nm <sup>3</sup> /h	6,8 cent/kWh Hs	4,8 cent/kWh Hs

\* Einsatzstoffvergütungsklasse I bzw. II

\*\* Oberer Heizwert

- Zusätzlich erhält der Betreiber vermiedene Netznutzungsentgelte in Höhe von 0,7 cent/kWh Hs.



# Annahmen (1): Entgelte, Umlagen, Abgaben



- Studie enthält zwei Varianten je nach Vermarktungspfad:
  - *Rückverstromung*: Netznutzungsentgelte, EEG- und KWK-Umlage sowie Konzessionsabgabe NICHT berücksichtigt (§118 Abs. 6 EnWG; § 37 Abs. 4 EEG [zuletzt geändert am 17. August 2012 (BGBl. I S. 1754)])
  - *Sonstige Vermarktung*: Netznutzungsentgelte, EEG- und KWK-Umlage sowie Konzessionsabgabe berücksichtigt

Pfad	EE-Gas	EE-Strom
<b>Wasserstoff</b>		
<i>Rückverstromung</i>	Direkte H <sub>2</sub> Einspeisung	<b>Ohne</b> Netzentgelte, EEG-, KWK-Umlage, Konzessionsabgabe
<i>Sonstige Vermarktung</i>	Direkte H <sub>2</sub> Einspeisung	<b>Mit</b> Netzentgelten, EEG-, KWK-Umlage, Konzessionsabgabe
<b>Methan</b>		
<i>Rückverstromung</i>	Methanisierung, CH <sub>4</sub> Einspeisung	<b>Ohne</b> Netzentgelte, EEG-, KWK-Umlage, Konzessionsabgabe
<i>Sonstige Vermarktung</i>	Methanisierung, CH <sub>4</sub> Einspeisung	<b>Mit</b> Netzentgelten, EEG-, KWK-Umlage, Konzessionsabgabe

# Annahmen (2): CO<sub>2</sub>



ludwig bolkow  
systemtechnik

- CO<sub>2</sub> ausschließlich aus erneuerbaren Quellen
  - Biogas
  - evtl. Luft (derzeit deutlich teurer, daher in Kalkulation nicht berücksichtigt)
- Kosten der CO<sub>2</sub>-Abtrennung aus Biogasanlagen werden zu 50% der EE-Gas-Erzeugung angerechnet.

# Annahmen (3): Parameter



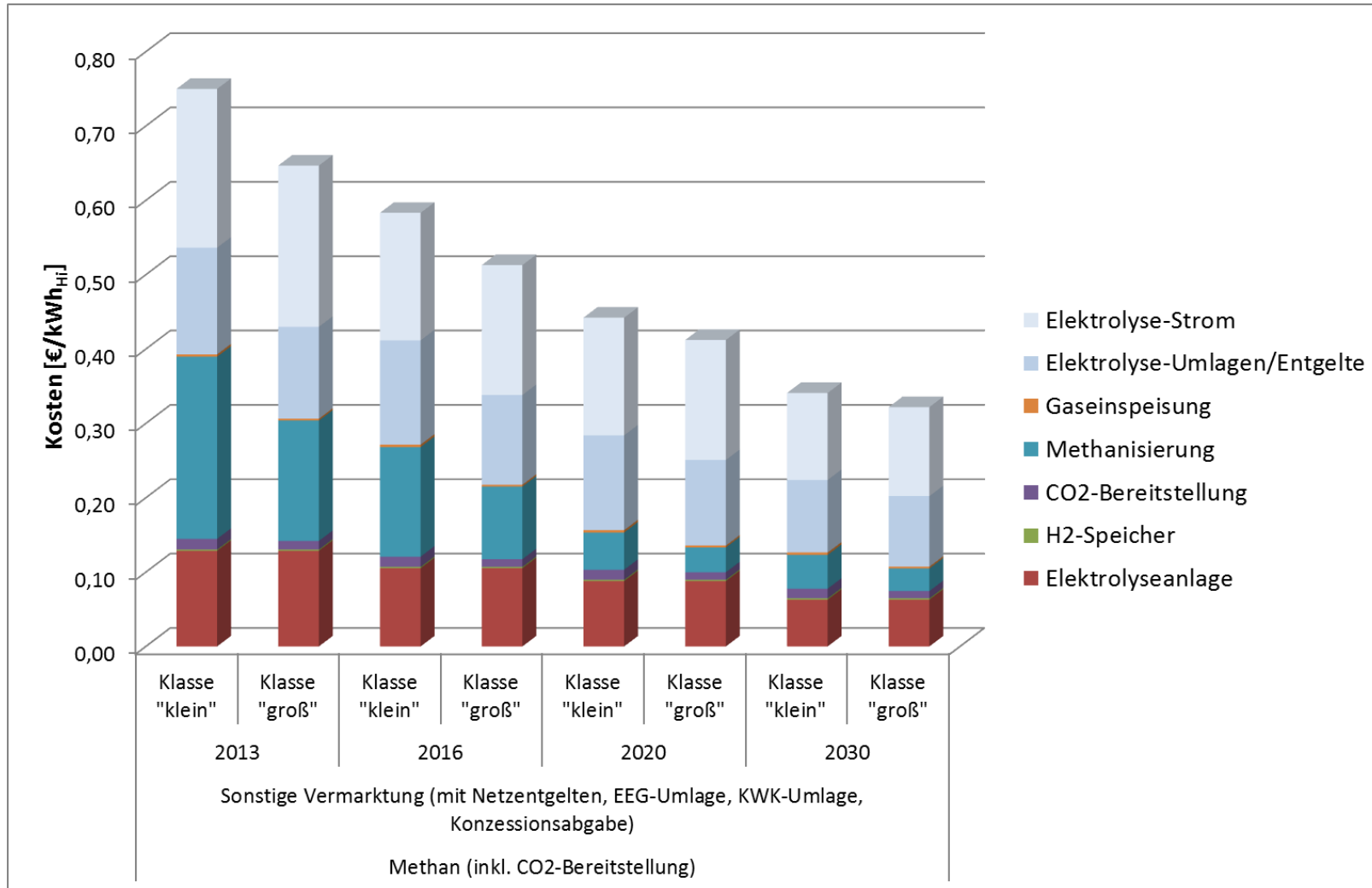
ludwig bolkow  
systemtechnik

- Stützjahre für die Kostenberechnungen: 2013, 2016, 2020, 2030
- Kalkulatorischer Zinssatz: 8%.
- Strom- und Anlagenkosten:
  - Jahresvolllaststunden (VLS) Elektrolyseur: rund 2.500 h/a
  - Strompreis für EE-Gas-Erzeugung: EEG-Vergütung Windkraft onshore

# Methan (sonst. Vermarktung mit Abgaben etc.)



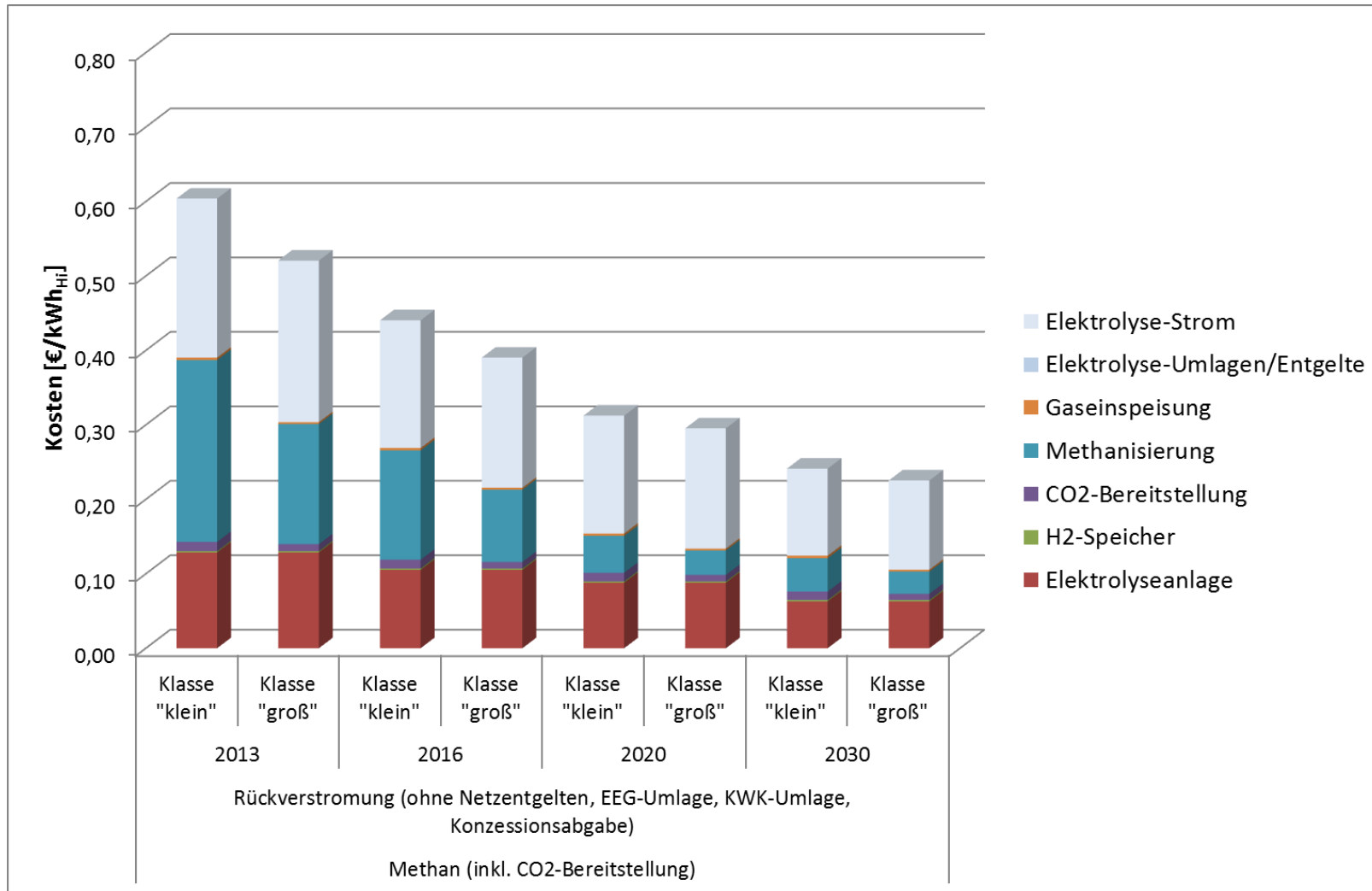
Ludwig Bolkow  
systemtechnik



# Methan (Rückverstromung ohne Abgaben etc.)



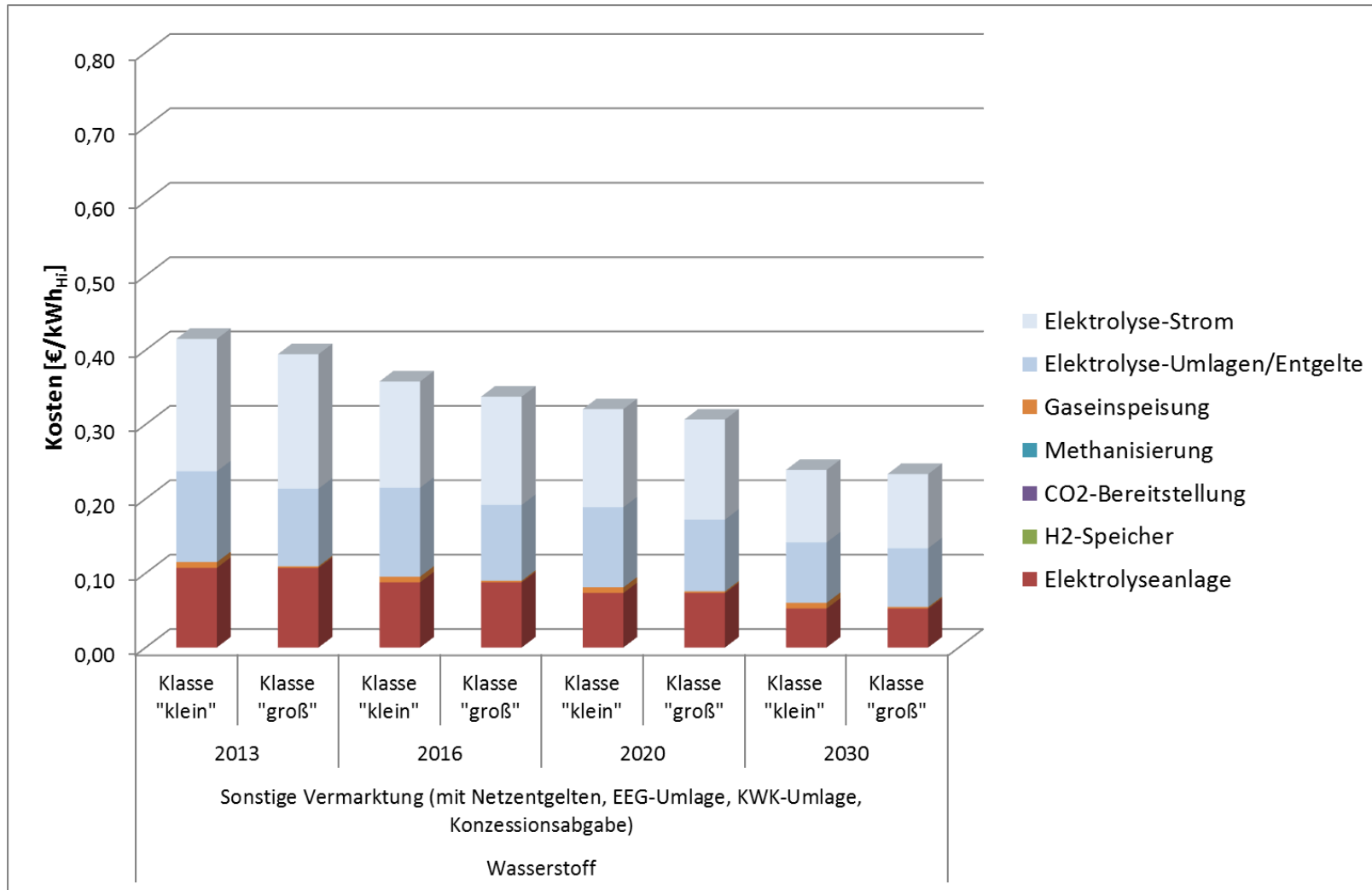
Ludwig Bolkow  
systemtechnik



# Wasserstoff (sonst. Vermarktung mit Abgaben etc.)



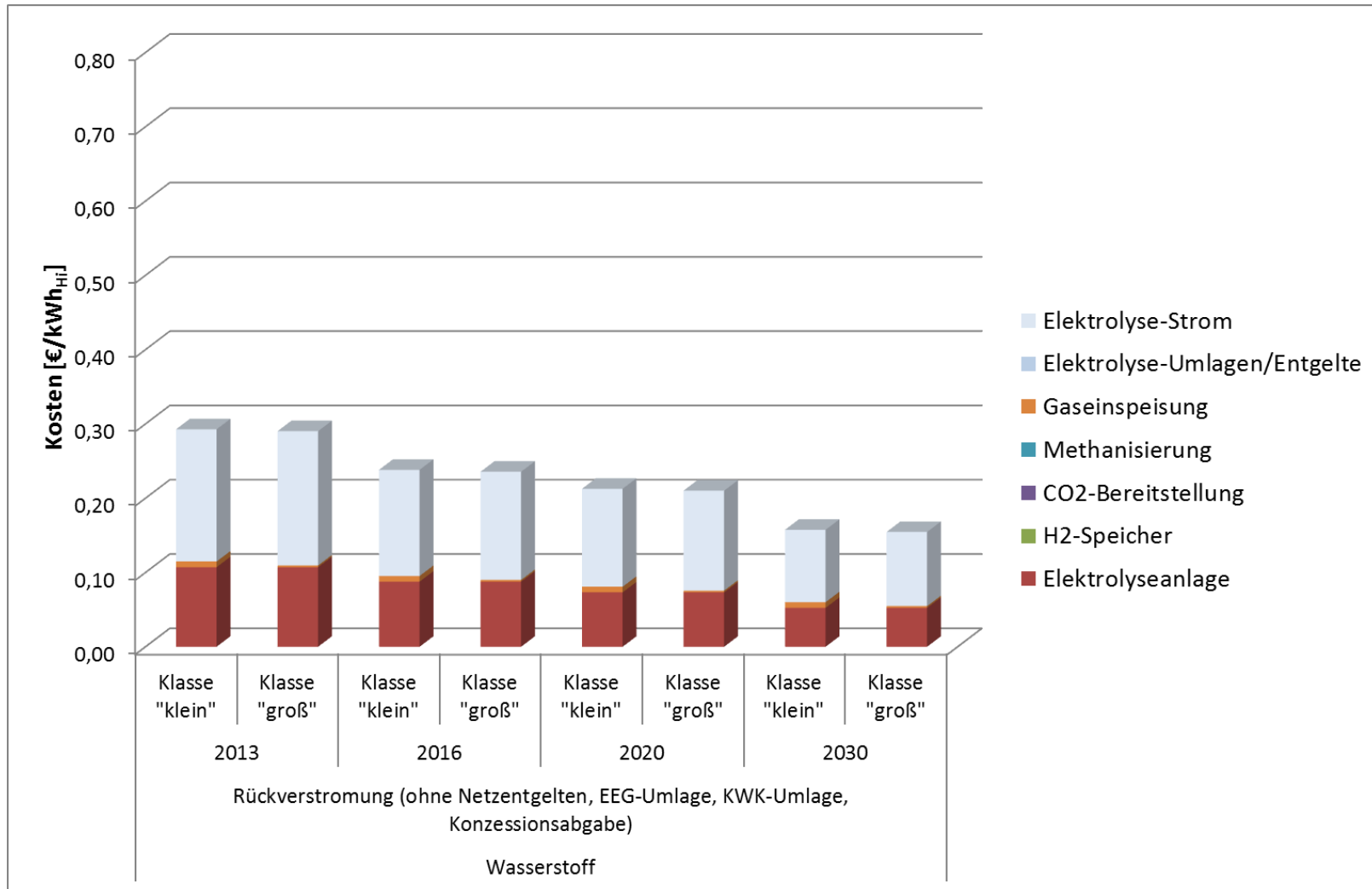
Ludwig Bolkow  
systemtechnik



# Wasserstoff (Rückverstromung ohne Abgaben etc.)



Ludwig Bolkow  
systemtechnik



# Biologische Methanisierung: Annahmen



ludwig bölkow  
systemtechnik

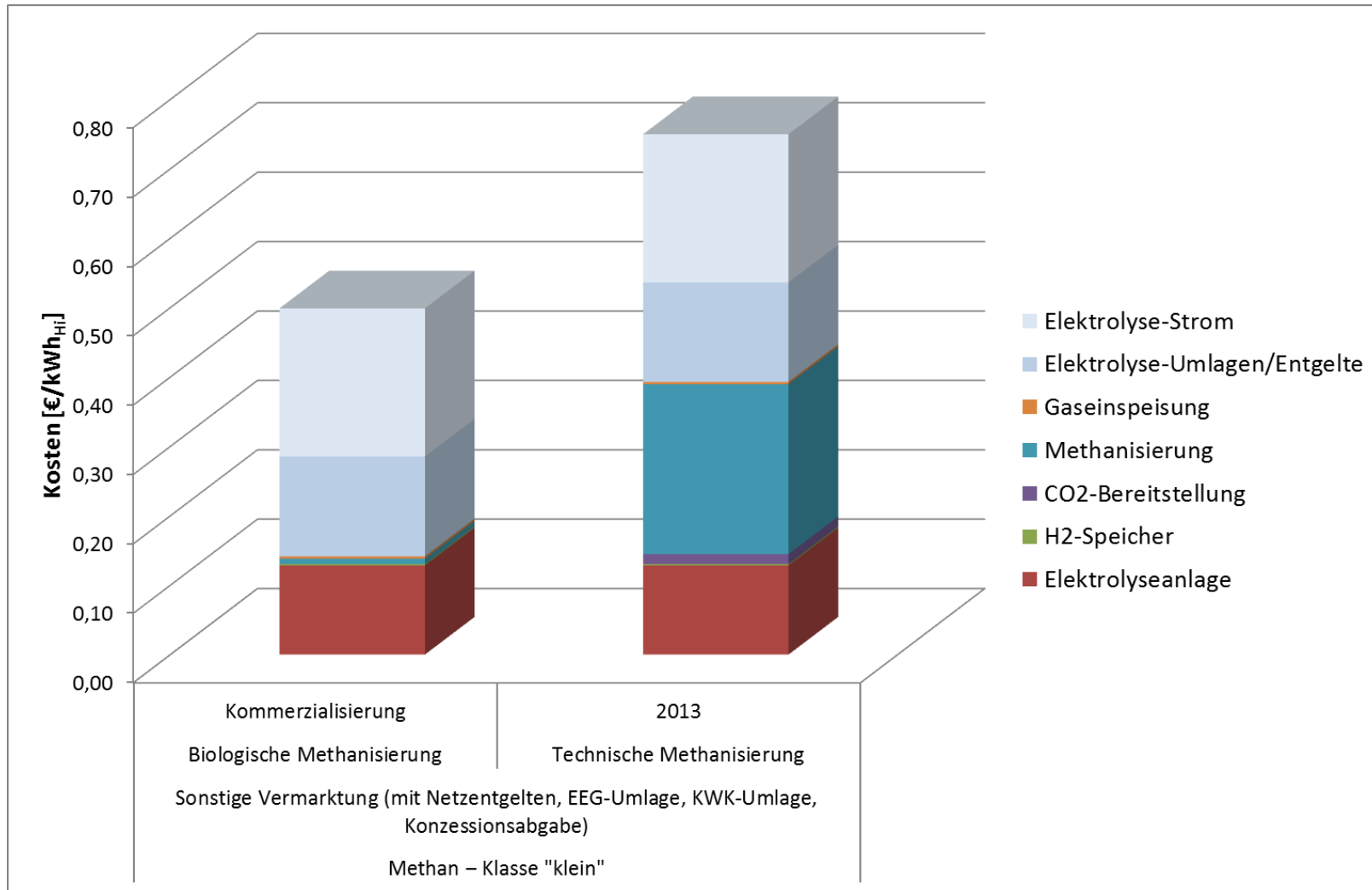
- Zusatz zu existierender Biogasanlage inkl. Gasreinigung
- Angenommener Status: Kommerzialisierung (Stand heute: Pilotanlage seit 2012 in Betrieb; 180 kWe-Anlage seit Sept. 2013)
- Investitionskosten Gaseinbringtechnik in den Fermenter der Biogasanlage:  $120 \text{ €/kW}_{\text{CH}_4}$
- Kostenrechnung für das *zusätzlich* erzeugte EE-Methan



# EE-Methan: biologische / technische Methanisierung



ludwig bolkow  
systemtechnik





ludwig bolkow  
systemtechnik

3

# VERMARKTUNGSOPTIONEN FÜR ERNEUERBARE GASE

## Outputorientierte Maßnahmen

1. **Rückverstromung** in GuD und KWK mit Gasnetzdurchleitung
2. **Rückverstromung** über den Betrieb von Speichern und Generatoren
3. Vermarktung des EE-Wasserstoffs als **Kraftstoff für den Verkehr**
4. Verkauf des EE-Wasserstoffs an **Industrieabnehmer**
5. Einspeisung ins **Erdgasnetz**

## Potenziale

Erlösmöglichkeiten für Nutzung der EE-Gase in unterschiedlichen Märkten

## Inputorientierte Maßnahmen

6. Bereitstellung von **Regelleistung**
7. Systemunterstützung im Rahmen des **Grünstromprivilegs**
8. Lastmanagement im Rahmen der **Bilanzkreisbewirtschaftung**
9. Optimierung der Direktvermarktung mit **EEG Marktprämie**

## Potenziale

Zusätzliche Erlösmöglichkeiten und/oder Reduktion der Energiekosten durch Dienstleistungen mit regelbarer Last im Energiesystem

# 1. Rückverstromung (GuD/KWK, Durchleitung)

---



ludwig bolkow  
systemtechnik

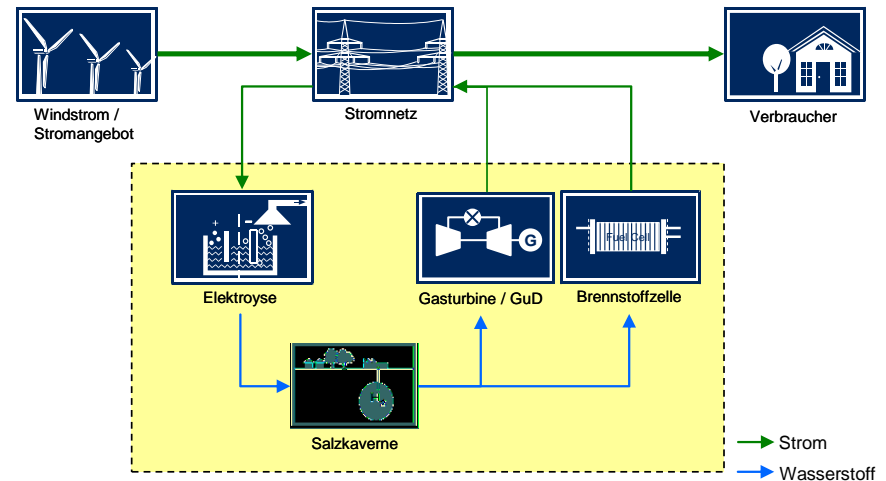
- Einspeisung von EE-Gas ins Erdgasnetz
- Rückverstromung in bestehenden GuD- oder KWK-Anlagen
- Wirtschaftlich Aspekte ähnlich wie bei Rückverstromung über Speicher und Generatoren (siehe nächste Folie)

## 2. Rückverstromung (Speicher, Generatoren)



ludwig bolkow  
systemtechnik

- Nutzung des Wasserstoff zur Rückgewinnung von Strom durch Brennstoffzellen oder Gasturbine-/ GuD-Kraftwerke
- Geringer Gesamtwirkungsgrad von ca. 30-40% (bei 65% für H<sub>2</sub>-Herstellung und 50-60% bei Rückverstromung)
- Verkaufspreise: 1,15-1,53 €/kg<sub>H<sub>2</sub></sub> (auf Basis EEX Day Ahead in 2010 und 2011)



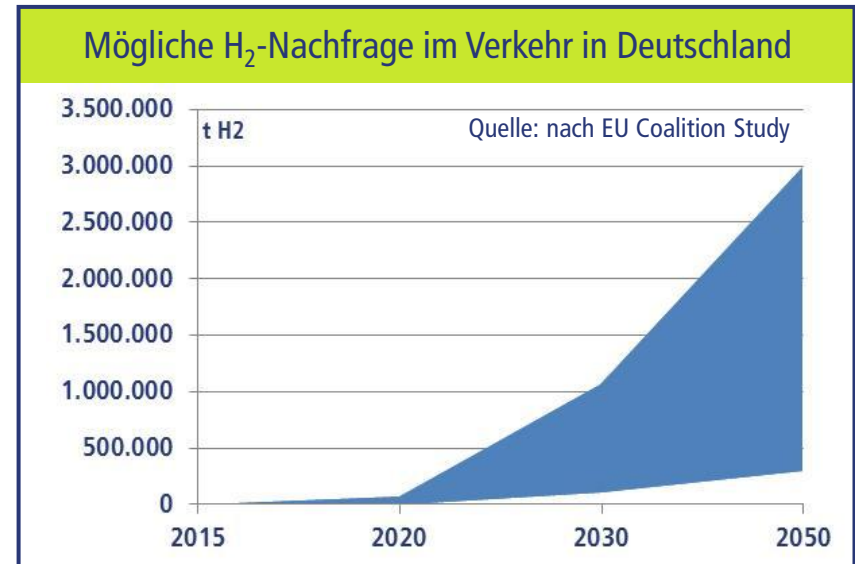
- Begrenzte jährliche Nutzungsdauer: 318-717 Vollaststunden (EEX Day Ahead in 2010 und 2011)
- Optimaler Einsatzbereich der Technologien:
  - Brennstoffzellen für kleinere Anwendungen: höhere Wirkungsgrade im Leistungsbereich zwischen 100 kW und 10 MW sowie begrenzte Kostenreduktion durch Skaleneffekte aufgrund der modularen Bauweise
  - GuD-Kraftwerke für großtechnische Anwendungen: bessere Effizienz im Leistungsbereich über 100 MW sowie entsprechende Kosteneinsparungspotentiale durch Skaleneffekte
- Optimale Betriebsstrategie abhängig von der künftigen Entwicklung der Strompreise (durchschnittliche Strombeschaffungskosten, Volatilitäten, negative Preise)

# 3. Kraftstoff im Verkehr



ludwig bolkow  
systemtechnik

- Nutzung von Wasserstoff als Kraftstoff für H<sub>2</sub>-Fahrzeuge (Brennstoffzelle oder Verbrennung)
- Marktpotenzial abhängig von Marktanteil der H<sub>2</sub>-Fahrzeuge und Ausbau der H<sub>2</sub>-Infrastruktur
  - Mittelfristig: begrenztes Potential bei geringer Anzahl an H<sub>2</sub>-Fahrzeugen
  - Langfristig: hohes Potential bei umfassenden Technologie Roll-Out
- Konkurrenzfähigkeit bei Preisparität von Wasserstoff zu Diesel und Benzin
- Steuerproblematik:
  - Bis 2018: ca. 0,46 €/kg<sub>H<sub>2</sub></sub> (13,90 €/MWh) wie Erdgas als Kraftstoff nach §2 Abs. 2 Nr. 1 EnergieStG
  - Nach 2018: Besteuerung unklar (worst case: wie Superbenzin ca. 74 €/MWh oder 2,48 €/kg<sub>H<sub>2</sub></sub>)



Parameter	Wasserstoff	Benzin*	Diesel*
Spezifischer Verbrauch	0,30 kWh/km	0,62 kWh/km	0,51 kWh/km
Verbrauch pro 100 km	0,90 kg	7,00 l	5,05 l
Kraftstoffpreise	10,50 €/kg	1,66 €/l*	1,49 €/l*
<b>Kosten pro 100 km</b>	<b>9,45 €</b>	<b>11,62 €</b>	<b>7,52 €</b>

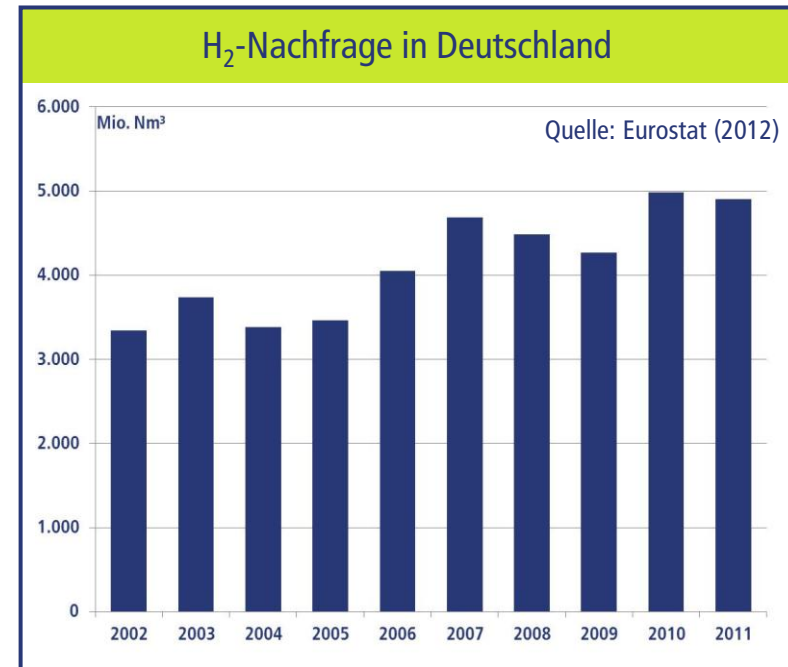
\*inkl. Steuer für Kraftstoffe

# 4. Industrieabnehmer



ludwig bolkow  
systemtechnik

- Großes Potential im Einsatz als Roh- oder Hilfsstoff in industriellen Prozessen:
  - Ammoniumsynthese/Düngemittelherstellung
  - Methanolherstellung
  - Stahlproduktion und Metallverarbeitung
  - Flachglasherstellung (Inertisierungs- bzw. Schutzgas)
  - Elektronikindustrie (Schutz- und Trägergas, Reinigung, Ätzen, etc.)
  - Hydrierung von essbaren Fetten und Ölen
  - Erdölraffinierung (Kraftstoffentschwefelung)
  - Andere Chemikalien (Anilin, Wasserstoffperoxid, u.v.m.)



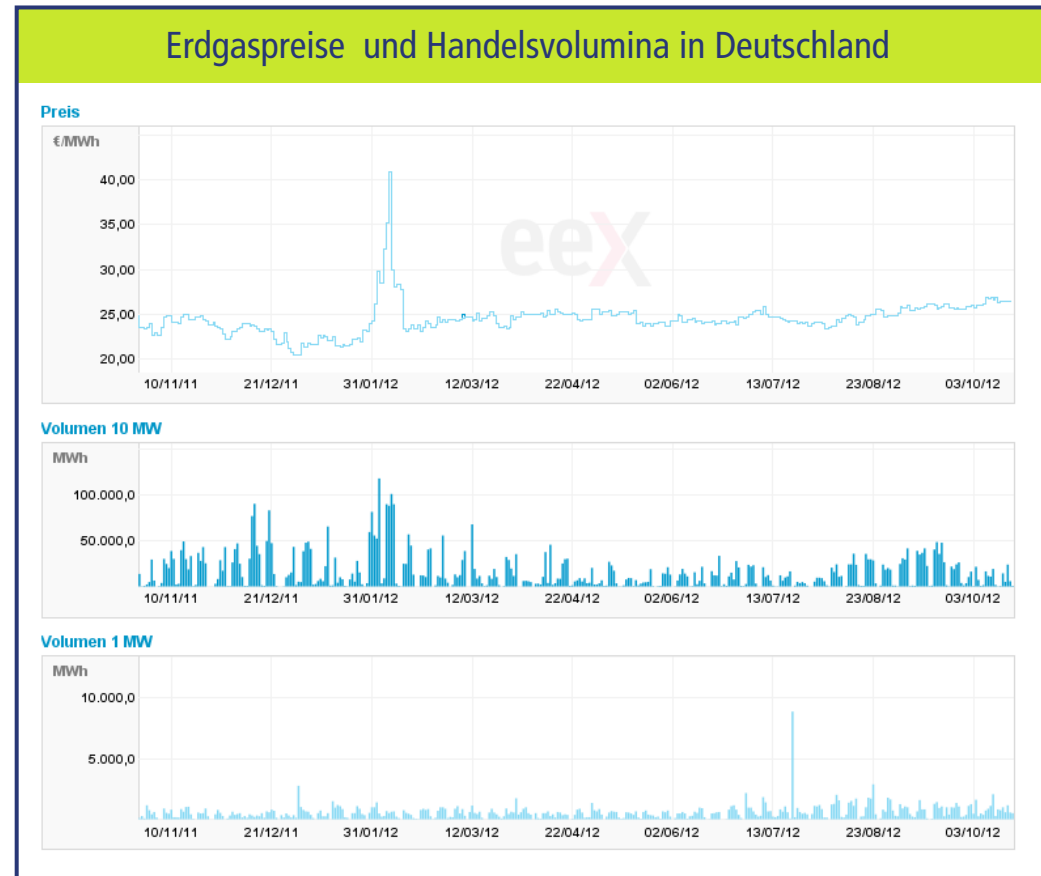
- Evtl. weitere Potentiale:
  - Aufbereitung von Schweröl in Raffinerien (bedingt durch EU-Auflagen in der Schifffahrt)
  - Nutzung des „grünen“ Wasserstoffs aus Imagegründen (z.B. Lebensmittelindustrie)
- H<sub>2</sub>-Grenzkosten aus Dampfreformierung als Benchmark: 1,00-1,45 €/kg<sub>H2</sub>

# 5. Erdgasnetz



ludwig bolkow  
systemtechnik

- Einspeisung von reinen Wasserstoff grundsätzlich in bestimmten Grenzen möglich
- Genaue Bedarfsfluktuation von Einspeiselogik abhängig (konstanter vs. variabler H<sub>2</sub>-Anzeil im Erdgasnetz) und an effektives Monitoring der tatsächlichen H<sub>2</sub>-Menge im Erdgasnetz geknüpft
- H<sub>2</sub>-Preis aus Dampfremierung als Benchmark: 0,67-1,00 €/kg<sub>H<sub>2</sub></sub>



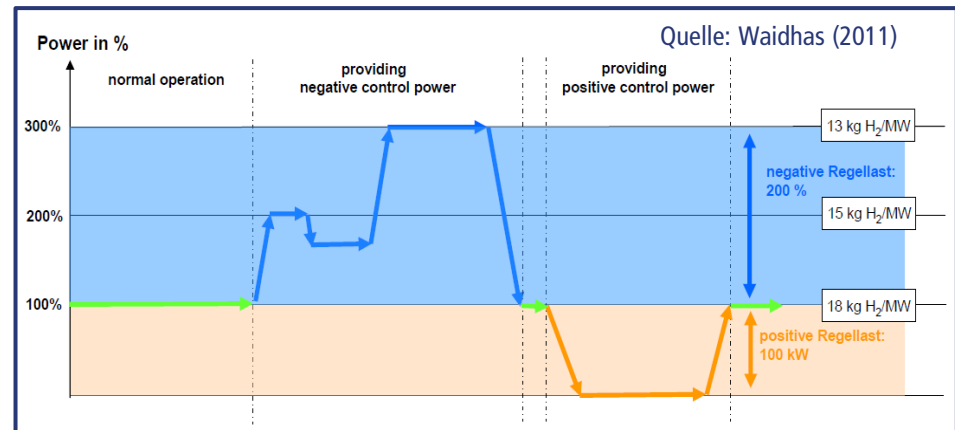


# 6. Regelleistung



ludwig bolkow  
systemtechnik

- Nutzung der Elektrolyse als positive Regelleistung (Lastabwurf) und negative Regelleistung (Überlast) technisch möglich:
  - Kaltstart ca. 10 Min.
  - Stand-by-Start < 10 s
  - volle Dynamik im Bereich 100-300%
- Erlöse nur durch Vorhaltung der Kapazitäten (Leistungspreis) und nicht durch Abruf (Arbeitspreis)
- Korrelation Preise für positive Regelleistung und für Strom am Spotmarkt



	Primärregelleistung	Sekundärregelleistung	Minutenreserve
Aktivierung	30 s	5 Min.	15 Min.
Max. Einsatzdauer	15 Min.	60 Min.	60 Min.
Mindestangebotsgröße	1 MW	5 MW	5 MW
Ausschreibungszeitraum	1 Woche	1 Woche	4 h

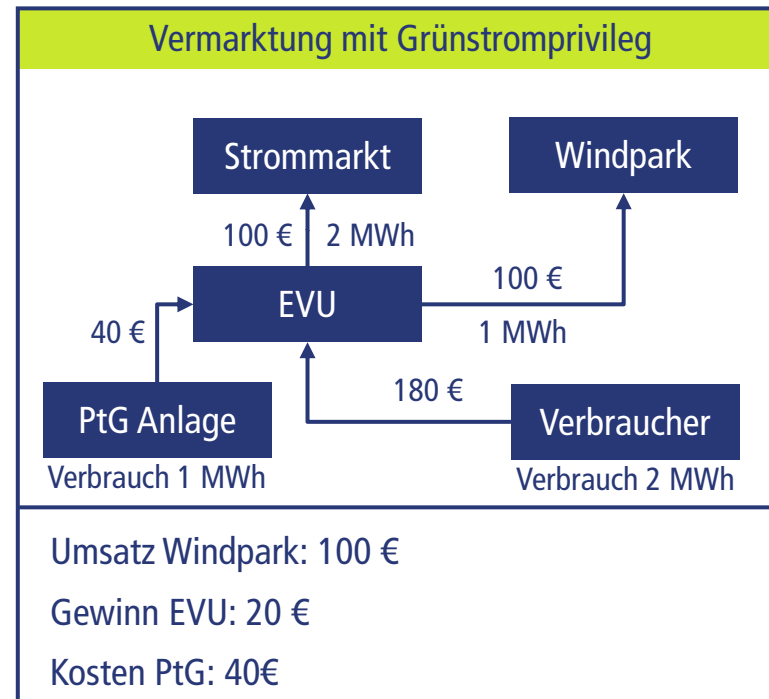
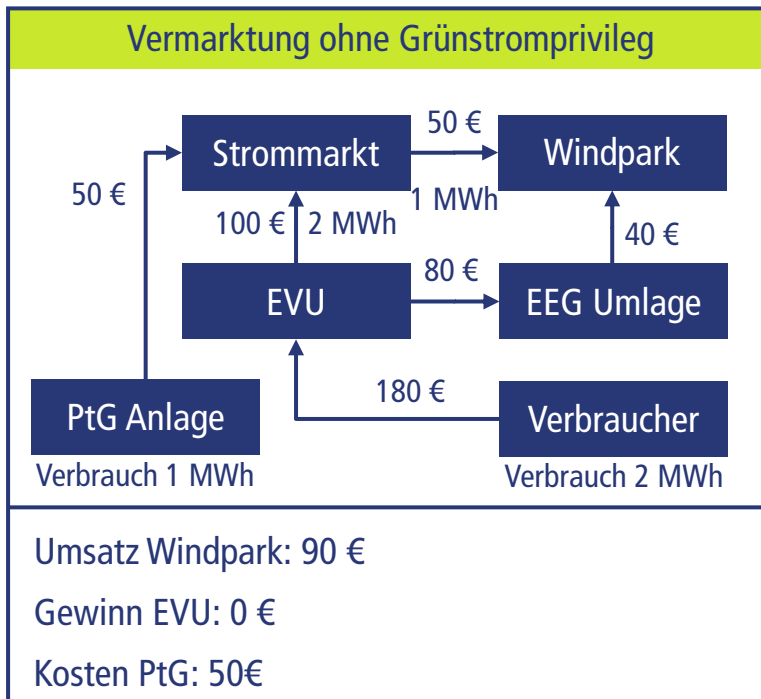
	Hohe Last		Niedrige Last	
<b>Marktpreise</b>				
Preise am Spotmarkt	Hoch		Niedrig	
Preis für pos. Regelleistung	Hoch		Niedrig	
Preis für neg. Regelleistung	Niedrig		Hoch	
<b>Fahrplan und Einsatz der Elektrolyseanlage</b>				
Bereitstellung Regelleistung	Positiv	Negativ	Positiv	Negativ
Planmäßiger Fahrplan	100%	100%	100%	100%
Aktion bei Abruf der Regelleistung	< 100%	> 100%	< 100%	> 100%
<b>Resultierende Ergebnisse</b>				
Umsätze aus Regelleistung	Hoch	Niedrig	Niedrig	Hoch
Energiekosten Spotmarkt	Hoch	Hoch	Niedrig	Niedrig

# 7. Grünstromprivileg



Ludwig Bolkow  
systemtechnik

- Verschärfte Regelungen zum Grünstromprivileg im EEG 2012:
  - 50% der physischen Stromlieferung aus erneuerbaren Energien
  - Davon 20% aus fluktuierender Einspeisung (Wind /Solar)
  - Deckelung der Umlagenbefreiung auf 2 ct/kWh
- Einbindung der Elektrolyse als regelbare Last zur Erfüllung der vorgeschriebenen Quoten



# 8.+9. Bilanzkreisbewirtschaftung & EEG Marktprämie



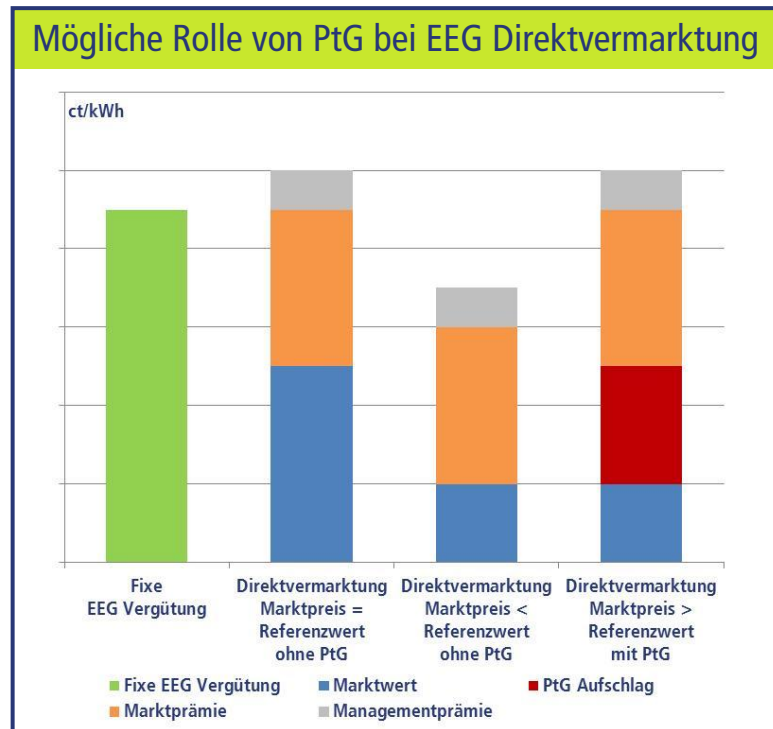
ludwig bolkow  
systemtechnik

## 8. Bilanzkreisbewirtschaftung

- Revision des Ausgleichsenergiemechanismus durch die Bundesnetzagentur (Eckpunktepapier BK6-12-024) :
  - Ober- und Untergrenzen für reBAP auf Basis der Intraday-Preise an der EPEX-Spot
  - Zusätzlicher Zuschlag bei Abweichungen von der kontrahierten Regelleistung
- Elektrolyse für den kurzfristigen Bilanzkreisausgleich für unterdeckten BK (wenn  $reBAP > 0$ ) oder überdeckten BK (wenn  $reBAP < 0$ )

## 9. EEG Marktprämie

- Unterstützung der Direktvermarktung in Perioden mit  $Marktpreis < Referenzwert$
- Umsetzbar nur für EE-Wasserstoff im Rahmen der aktuellen Regelungen
- Mehrkosten werden nicht verringert, sondern nur unterschiedlich verteilt

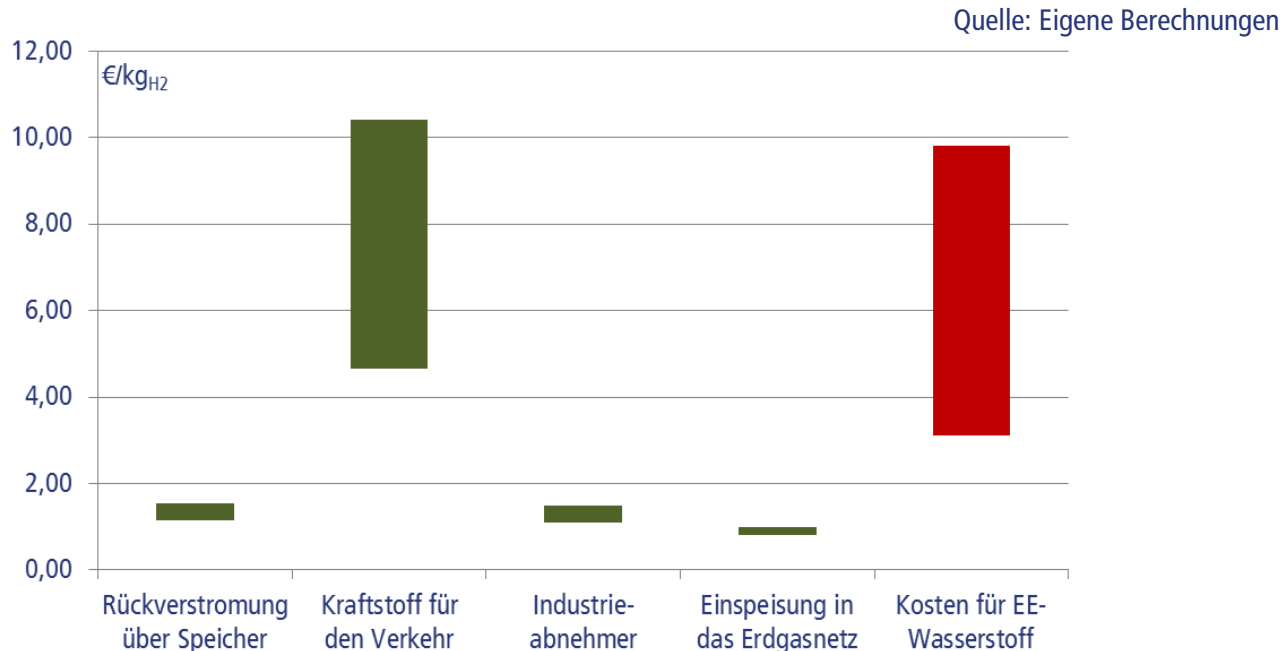


# Erzielbare H<sub>2</sub>-Preise für alternative Vermarktung



Ludwig Bolkow  
systemtechnik

## Erzielbare Preise und Kosten für EE-Wasserstoff in €/kg<sub>H2</sub> (auf Basis historischer Werte)



## Interpretation der Ergebnisse

Großes mengenmäßiges Potential der alternativen Einsatzmöglichkeiten (Rückverstromung, Industrie, Erdgasnetz), jedoch mit geringerer ökonomischer Wertigkeit gegenüber Straßenverkehr



ludwig bölkow  
systemtechnik

4

# FAZIT

- EE-Gas-Technologien sind derzeit nicht ohne einen geeigneten Förderrahmen kommerzialisierbar
- Steigender Anteil fluktuierender EE lässt Speicherbedarf entstehen
- Förderziel: gewünschte Technologien frühzeitig in den Markt bringen, um Weiterentwicklung zu unterstützen und Kostensenkungspotenziale zu realisieren; Förderung muss mindestens Erzeugungskosten decken, um ausreichende Investitionsanreize zu setzen
- Förderstruktur sollte Stromeinspeicherung zeitlich so steuern, dass sie energiewirtschaftlich sinnvoll erfolgt
- Erzielbare Preise bei Rückverstromung, Verkauf an Industrieabnehmer, Einspeisung ins Erdgasnetz zu gering
- Kurz-/mittelfristig: Mengenmäßig größtes Potenzial bei Vermarktungsoptionen mit niedrigster preismäßiger Wertigkeit (Rückverstromung, Industrieabnehmer, Einspeisung in das Erdgasnetz); höchste Erlöse für EE-Wasserstoff im Verkehr (nur hier kostendeckend)
- Langfristig: große Mengen- und Preispotenziale im Verkehr
- Da mit zunehmender fluktuierender EE-Stromeinspeisung großtechnische Stromspeicherung notwendig wird, stellt kurz- und mittelfristige die Förderung der EE-Gas-Anlagen ein wichtiges Instrument dar, dieser Technologie einen Entwicklungsanstoß zu geben und sie in der Kommerzialisierungsphase weiterzuentwickeln und in den Markt zu bringen

# Kontakt LBST



ludwig bölkow  
systemtechnik



**Matthias ALTMANN**  
Senior Consultant

T: +49 (0)89 608110-38  
E: Matthias.Altmann@lbst.de



**Jan MICHALSKI**  
Business Economist

T: +49 (0)89 608110-18  
E: Jan.Michalski@lbst.de

**LBST · Ludwig-Bölkow-Systemtechnik GmbH**

Daimlerstr. 15 · 85521 München/Ottobrunn · Germany

[www.lbst.de](http://www.lbst.de)



ludwig bölkow  
systemtechnik

## LBST – Berater für Energie und Umwelt

- Gegründet 1982
  - 30 Jahre Erfahrung in Nachhaltigkeitsfragen
  - 25 Jahre Bewertung alternativer Kraftstoffe & Infrastruktur
  - 15 Jahre Ressourcenanalysen
- Fokus auf Technologien für Nachhaltigkeit
- Denken in globalen, Langfrist- und Systemzusammenhängen
- Interdisziplinäres Team mit hoher Kontinuität
- System- und Technologiestudien, Nachhaltigkeitsanalysen, Strategieberatung
- Klienten aus Industrie, Politik und NGOs weltweit
- Gesellschafter: TÜV Süd (47%), LBST-Mitarbeiter (29%), Ludwig Bölkow Stiftung (12%), Privatperson (12%)



Dr. Ludwig Bölkow, † 2003  
Gründer LBST und MBB (heute EADS)