



# Integration von Wind-Wasserstoff-Systemen in das Energiesystem

**Klaus Stolzenburg**



**Ingenieurbüro für Energie- und Versorgungstechnik**

**Donnerschweer Straße 89/91, 26123 Oldenburg**

**[k.stolzenburg@planet-energie.de](mailto:k.stolzenburg@planet-energie.de)**





# Aufbau des Vortrags

- 1. Projektbeteiligte**
- 2. Aufgabenstellung und Vorgehensweise**
- 3. Wind-Wasserstoff-System im Kraftwerksmaßstab**
- 4. Wirtschaftlichkeit: Randbedingungen und Ergebnisse**
- 5. Schlussfolgerungen und Fazit**



# 1. Projektbeteiligte

- **Bearbeiter:**



- **Auftraggeber:**



- **Beirat aus 8 Unternehmen:**

- Teilnahme an vier Workshops zur Diskussion von Vorgehensweise, Szenarien und Annahmen, Ergebnissen und Schlussfolgerungen
- Lieferung von Zeitreihen regenerativer Einspeisung und Last im Netz zur Kalibrierung des Simulationsmodells



## Ingenieurbüro für Energie- und Versorgungstechnik

### Aktivitäten im Geschäftsfeld Wasserstoff u.a.:

- **Demonstration von Wasserstoff-Tankstellen & Fahrzeugen**
  - **Busse: CUTE, HyFLEET:CUTE und CHIC**
  - **Pkw: SWARM (Birmingham, Brüssel und Bremen)**
- **Wind-Wasserstoff-Systeme**
  - **Konzeptentwicklung & Hardware-Projekte**
- **Einspeisung von Wasserstoff in das Erdgasnetz**
  - **Projekt NATURALHY**

## 2. Aufgabe der Studie

**Ermitteln, unter welchen Randbedingungen ein wirtschaftlicher (kostendeckender) Betrieb von Wind-Wasserstoff-Systemen im Jahr 2030 möglich ist.**

**Dabei:**

- **konzentrieren**
  - **auf Überschüsse im Übertragungsnetz (große Mengen)**
  - **auf die längerfristige Speicherung von Wasserstoff**
  
- **zwei Optionen für die Vermarktung von Wasserstoff betrachten:**
  - **Wasserstoff als Kraftstoff im Straßenverkehr**
  - **Spot- und Reservemärkte**

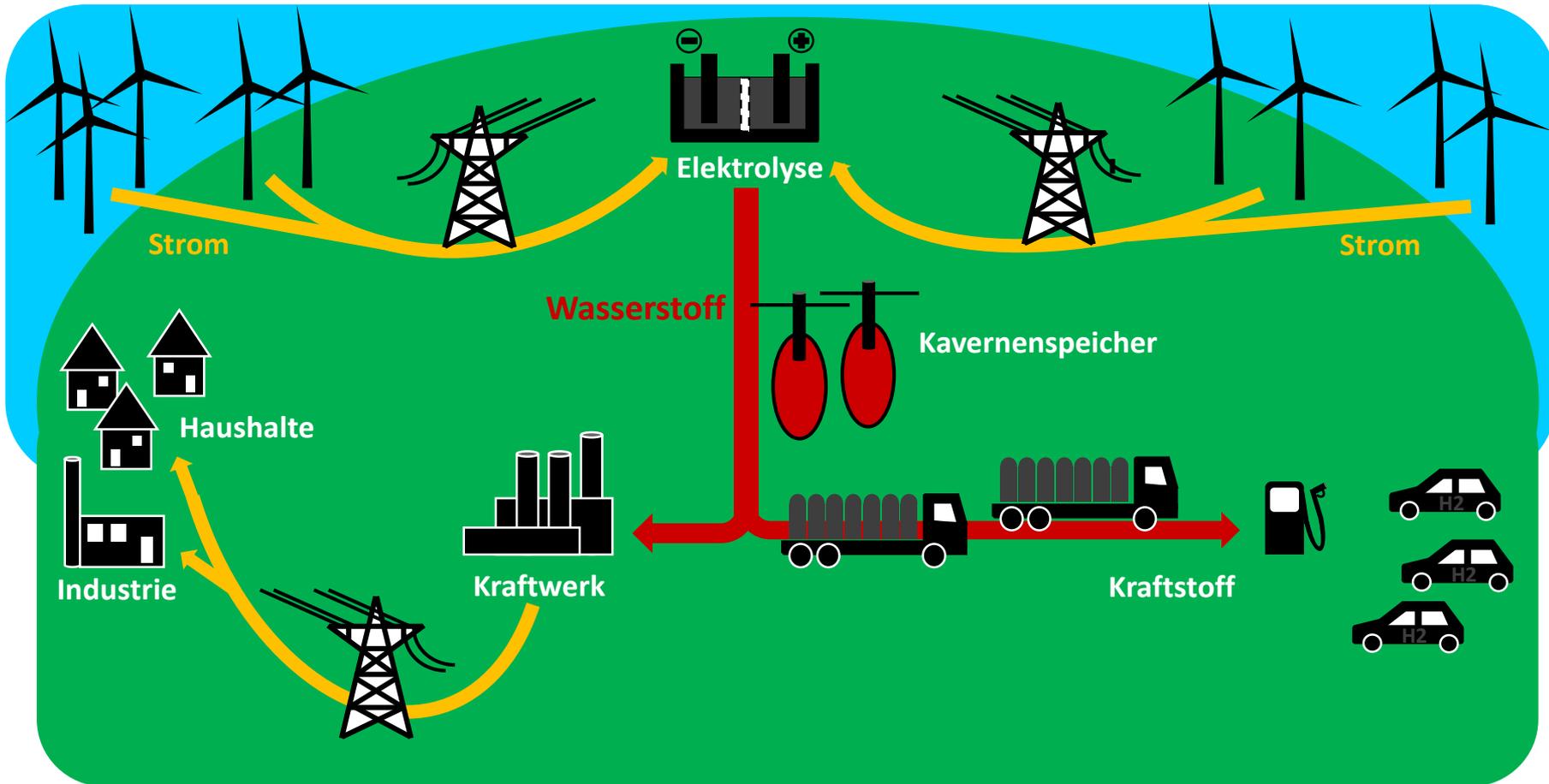
## 2. Wesentliche Untersuchungsgegenstände

- **Menge und Dauer der zu erwartenden Überschüsse (aus Erneuerbaren Energien bzw. Wind sowie aus „Must run“-Kraft-Wärme-Kopplung)**
- **die davon in Wasserstoff umsetzbaren Mengen**
- **Komponenten und techno-ökonomische Parameter von großmaßstäblichen Wind-Wasserstoff-Systemen in 2030**

**Viele Annahmen waren zu treffen,  
in der Regel konservativ und einfach gewählt, z.B.**

- **auf Annahmen anderer Studien zurückgreifend oder**
- **voraussetzend, dass sich nichts ändert, statt zu spekulieren**

## 2. Überschuss-Windstrom als Wasserstoff nutzen

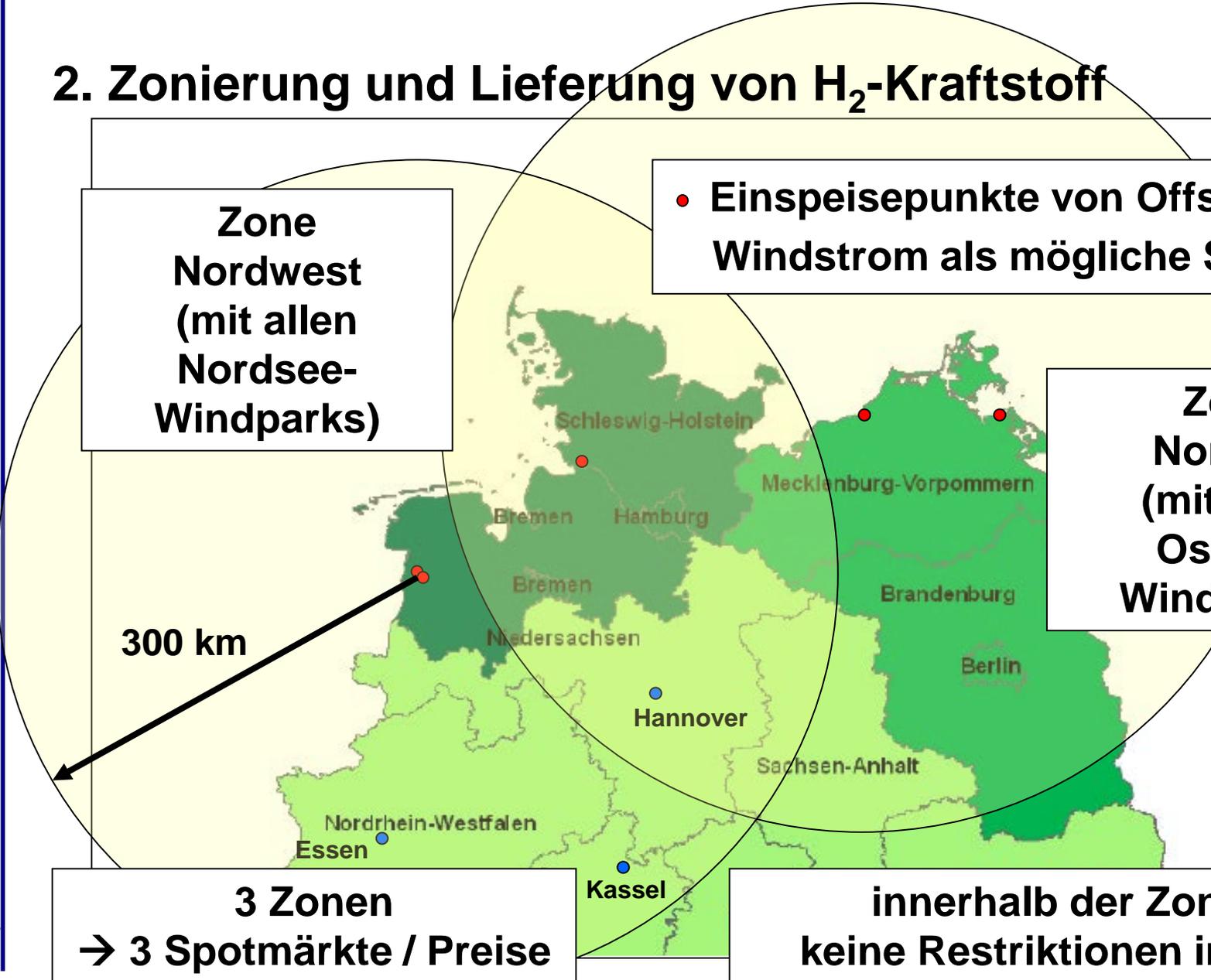


## 2. Zonierung und Lieferung von H<sub>2</sub>-Kraftstoff

- Einspeisepunkte von Offshore-Windstrom als mögliche Standorte

**Zone  
Nordwest  
(mit allen  
Nordsee-  
Windparks)**

**Zone  
Nordost  
(mit allen  
Ostsee-  
Windparks)**

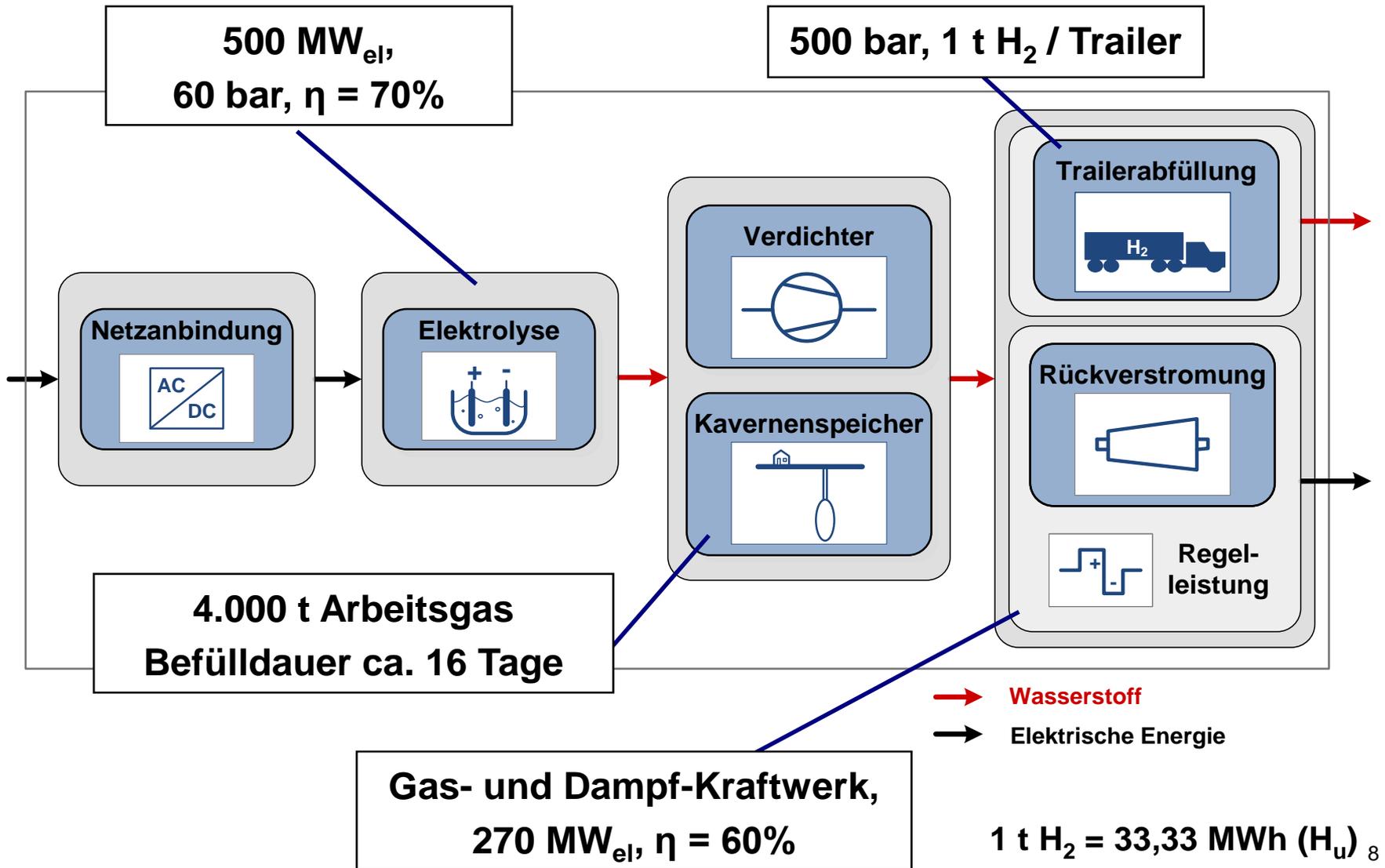


300 km

**3 Zonen  
→ 3 Spotmärkte / Preise**

**innerhalb der Zonen  
keine Restriktionen im Netz**

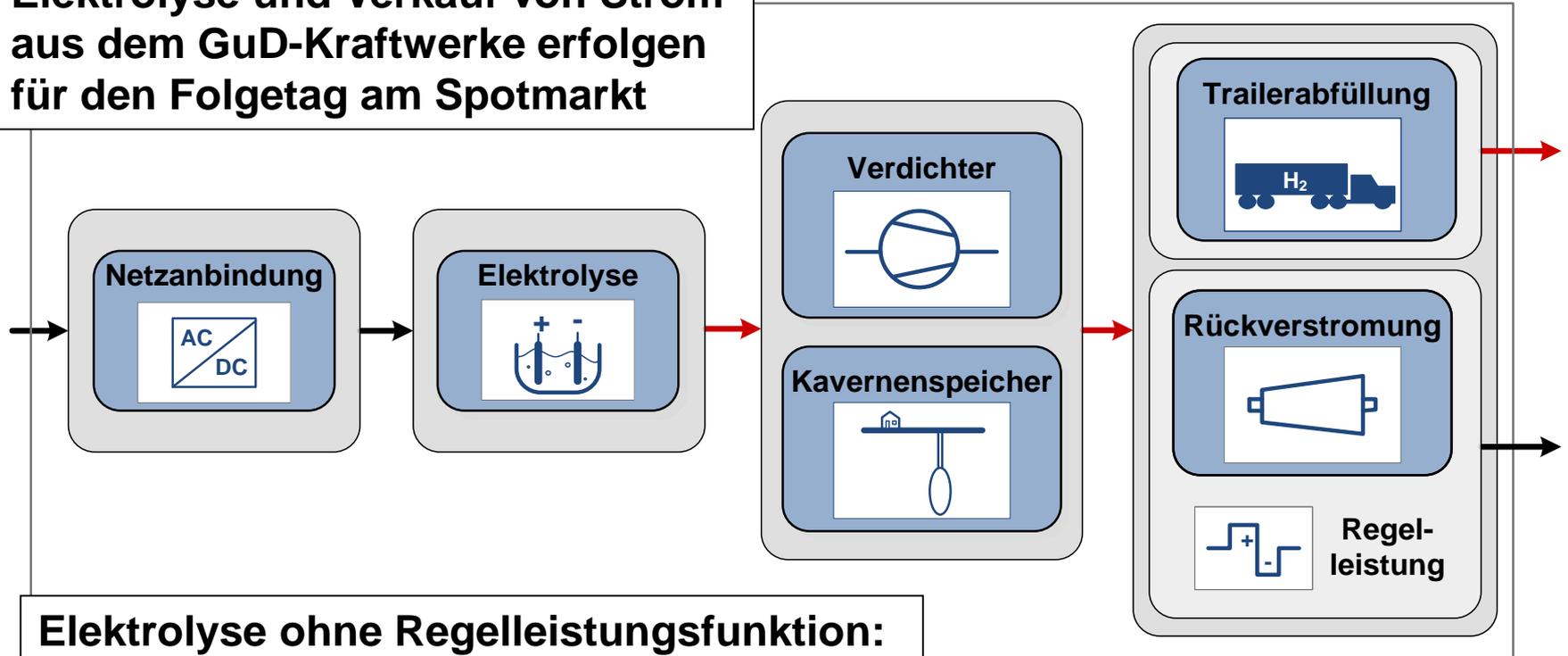
### 3. Wind-Wasserstoff-System im Kraftwerksmaßstab / 1



### 3. Wind-Wasserstoff-System im Kraftwerksmaßstab / 2

Kauf von Überschussstrom für die Elektrolyse und Verkauf von Strom aus dem GuD-Kraftwerke erfolgen für den Folgetag am Spotmarkt

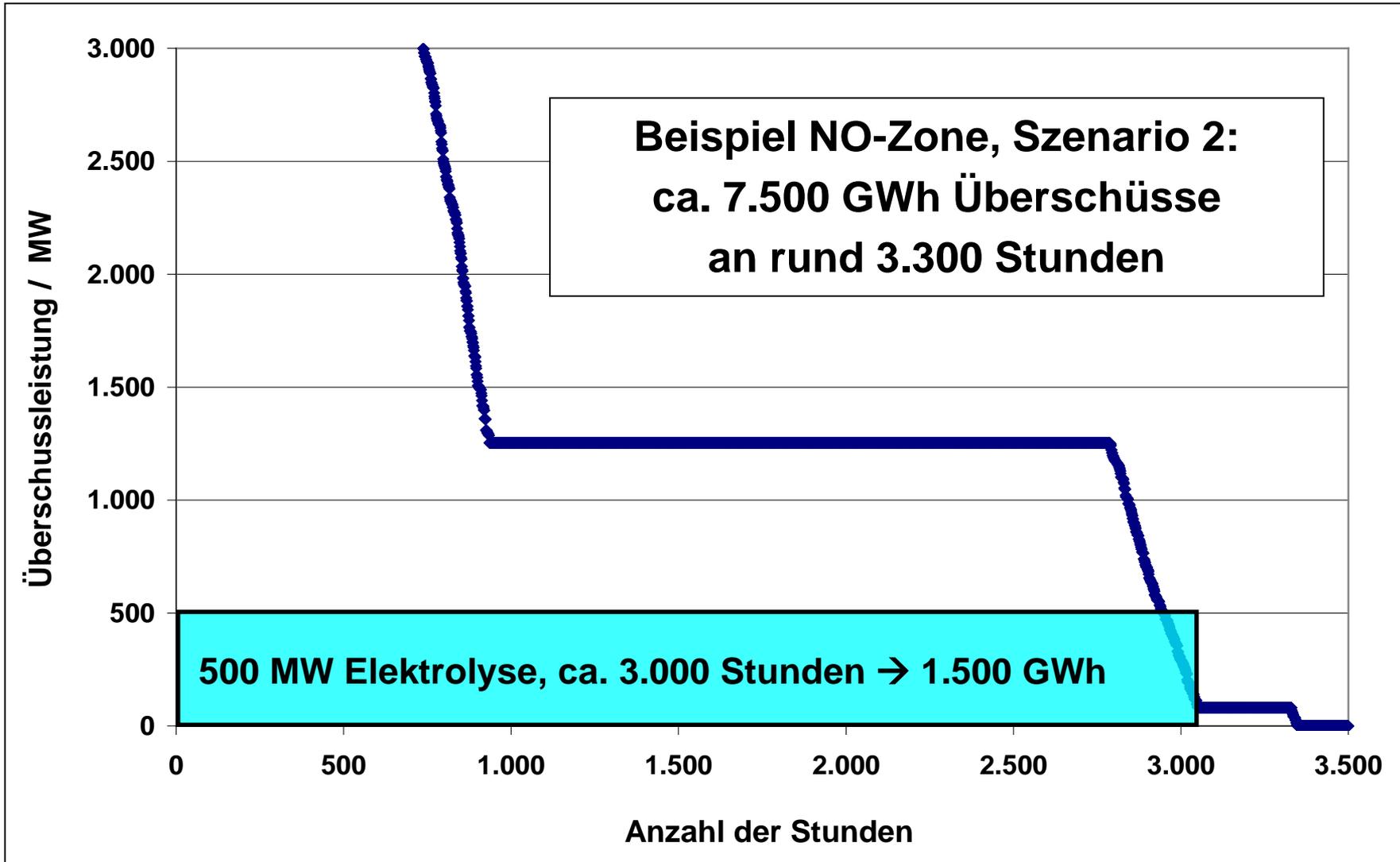
Was kann dieses System leisten?



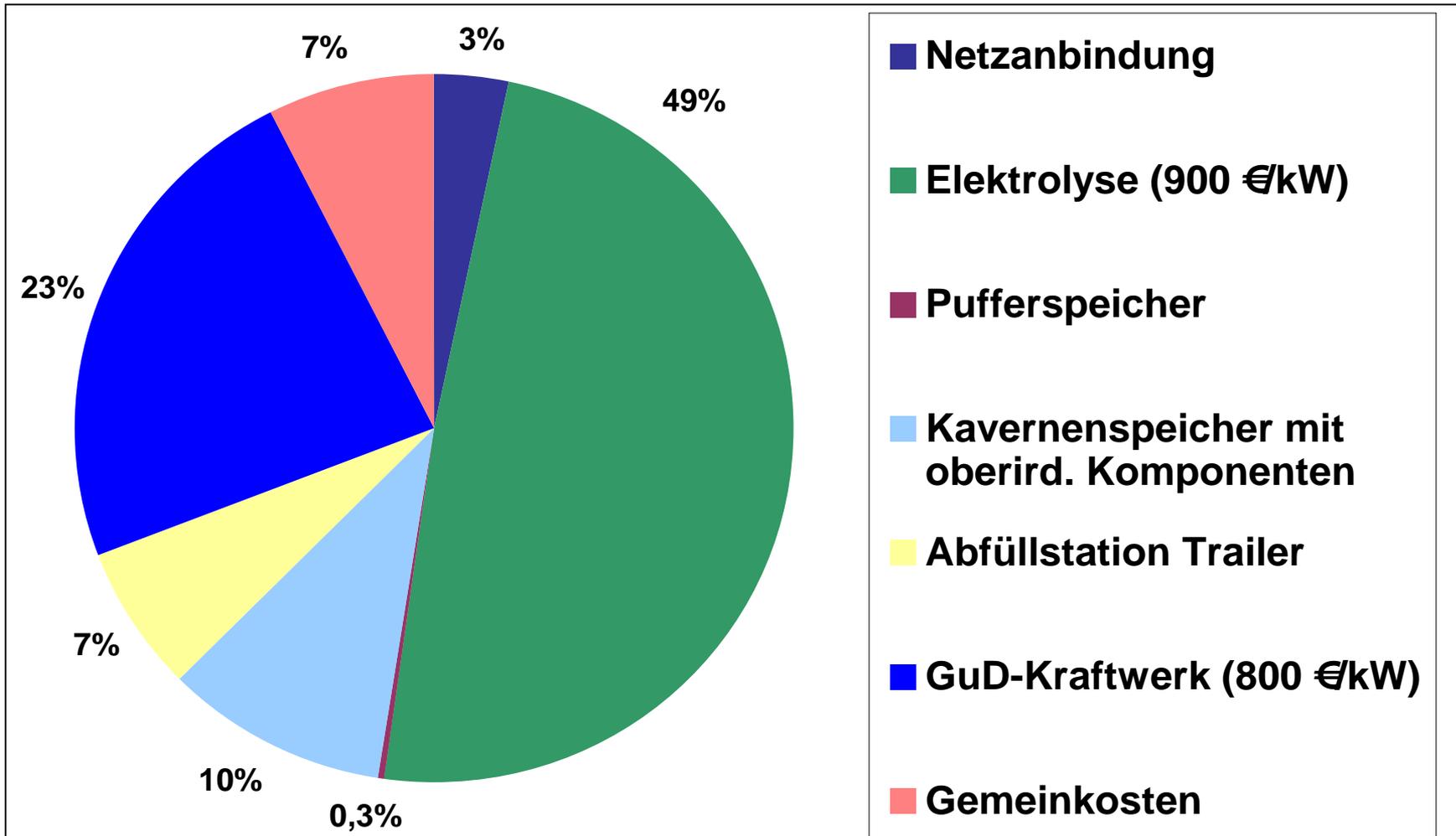
Elektrolyse ohne Regelleistungsfunktion:  
klare Trennung von Produktion und  
Verwendung des Wasserstoffs  
→ klarere Interpretation der Ergebnisse  
möglich

→ Wasserstoff  
→ Elektrische Energie

### 3. Jahresdauerlinie der Überschussleistung



## 4. Anteile an der Investition (923 Mio. €)



**Abschreibung mit 8% Verzinsung über 30 Jahre (GuD: 20 Jahre)  
→ 110 Mio. €/a Annuität und fixe Wartungs- und Betriebskosten**

## 4. Stromkosten und erzielbare Erlöse

- **Überschussstrom-Einkauf am Spotmarkt „day ahead“**  
Annahme: Befreiung von Netzentgelten und Umlagen,  
Vergütung der Anlagenbetreiber gemäß EEG 2009/12
  - **Vermarktung an Spot- / Reservemarkt: Mechanismen wie heute**  
(Gebote → Merit Order → Bieter kommen zum Zuge oder nicht)
  - **Vermarktung von H<sub>2</sub>-Kraftstoff: Referenzerlös festlegen**  
Basis „Preisparität an der Zapfsäule“ für BZ- und Benzin-Pkw  
→ 10 €/kg H<sub>2</sub> als Preis möglich  
→ 6 €/kg Erlös möglich (Referenzerlös)  
da von 10 €/kg abzuziehen: USt., Transport & „Tankstelle“
- Annahme: keine Energiesteuer auf „grünen“ Wasserstoff



## 4. Notwendiger Erlös

### Entscheidende Frage:

Ist der notwendige Erlös,  
den der Betreiber des Wind-Wasserstoff-Systems erzielen muss,  
um Kostendeckung zu erreichen,  
kleiner oder höchstens gleich dem Referenzerlös (6 €/kg H<sub>2</sub>)?





## 4. NO-Zone, Szenario 2, überschussgesteuert 1

<b>Fall</b>			<b>Nordost "Standard"</b>
<b>Anzahl Volllaststunden Elektrolyse</b>			<b>3.052</b>
<b>Produzierte Menge Wasserstoff (Tonnen pro Jahr)</b>			<b>32.044</b>
<b>Anteil Wasserstoff für Rückverstromung</b>			<b>7%</b>
		<b>für Kostendeckung notwendiger Erlös (€/kg H<sub>2</sub>-Kraftstoff)</b>	
<b>Stromkosten Elektrolyse</b>	<b>Spotmarkt (0 €/MWh bei Überschuss)</b>		<b>2,92</b>
	<b>40 €/MWh</b>		<b>5,00</b>
	<b>80 €/MWh</b>		<b>7,08</b>

(1 €/kg H<sub>2</sub> = 0,03 €/kWh H<sub>u</sub>)



## 4. NO-Zone, Szenario 2, überschussgesteuert 2

Fall		"weniger Kraftstoff"	Nordost "Standard"
Anzahl Volllaststunden Elektrolyse		3.052	3.052
Produzierte Menge Wasserstoff (Tonnen pro Jahr)		32.044	32.044
Anteil Wasserstoff für Rückverstromung		38% ←	7%
		für Kostendeckung notwendiger Erlös (€/kg H <sub>2</sub> -Kraftstoff)	
Stromkosten Elektrolyse	Spotmarkt (0 €/MWh bei Überschuss)	3,71	2,92
	40 €/MWh	6,80	5,00
	80 €/MWh	9,90	7,08

**Anlage ist wirtschaftlich tragfähig bei Stromkosten bis zu 30 €/MWh bzw., im „Standardfall“, 60 €/MWh**

(1 €/kg H<sub>2</sub> = 0,03 €/kWh H<sub>u</sub>)





## 4. NO-Zone, Szenario 2, überschussgesteuert 3

Fall	"weniger Kraftstoff"	Nordost "Standard"
Stunden Elektrolyse	3.052	3.052
Tonnen / Jahr	32.044	32.044
Anteil Rückverstr.	38%	7%

**ausgewählte Varianten:**

- niedrigere spezifische Investition Elektrolyse
- Auslastung Elektrolyse erhöhen (preis- statt überschussgesteuert)

für Kostendeckung notwendiger Erlös  
(€/kg H<sub>2</sub>-Kraftstoff)

Spotmarkt (0 €/MWh)	3,71	2,92
40 €/MWh	6,80	5,00
80 €/MWh	9,90	7,08

golden = Wind-H<sub>2</sub> günstiger als H<sub>2</sub> aus Erdgas-Reformierung

grün = Wind-H<sub>2</sub> auf dem Kraftstoffmarkt konkurrenzfähig

rot = Wind-H<sub>2</sub> nicht konkurrenzfähig



## 4. NO-Zone, Szenario 2

Fall	"weniger Kraftstoff"	Nordost "Standard"	Investition Elektrolyse 700 €/kW statt 900 €/kW	Investition Elektrolyse 500 €/kW statt 900 €/kW	Elektrolyse preis-gesteuert
Stunden Elektrolyse	3.052	3.052	3.052	3.052	5.600
Tonnen / Jahr	32.044	32.044	32.044	32.044	59.100
Anteil Rückverstr.	38%	7%	7%	7%	39%
für Kostendeckung notwendiger Erlös (€/kg H <sub>2</sub> -Kraftstoff)					
Spotmarkt (0 €/MWh)	3,71	2,92	2,50	2,08	2,06
40 €/MWh	6,80	5,00	4,58	4,16	
80 €/MWh	9,90	7,08	6,66	6,24	

Beachte: Ergebnis für „Strom (meist) umsonst“ und stets frei von Netzentgelten



## 4. Fazit zur Wirtschaftlichkeit

- **In der Mehrzahl der betrachteten Fälle ist mit konkurrenzfähigen Erlösen ein kostendeckenden Betrieb möglich.**
- **60 €/MWh Stromkosten für Elektrolyse lassen im überschussgesteuerten Fall Kostendeckung zu bei einem erlaubten Preis von 10 €/kg H<sub>2</sub> an der Zapfsäule, d.h. 6 €/kg H<sub>2</sub> Referenzerlös.**
- **0 €/MWh Stromkosten über weite Zeiträume sind als (theoretischer) Grenzfall zu betrachten.**
- **Ggf. sind auch höhere Stromkosten tragbar, abhängig von den spezifischen Investitionen für die Kernkomponenten.**



## 5. Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

- Für 2030 sind erhebliche Mengen Überschussstrom über längere Zeiträume im Übertragungsnetz zu erwarten.  
→ Es gibt Bedarf für Energiespeicherung mittels Wasserstoff.
- Der untersuchte Typ eines Wind-Wasserstoff-Systems bietet die Möglichkeit, Energie zu annehmbaren Kosten zu speichern.
- Dieses System kann weiter optimiert bzw. für andere Anwendungsvarianten modifiziert werden.
- Es gibt einen tragfähigen „Korridor der Kostendeckung“ zur Bereitstellung bzw. Nutzung von Wasserstoff.



## 5. Weitere Aspekte und Fazit

- **Wind-Wasserstoff für Mobilität wird erschwinglich sein und zumeist profitabler als die stationäre Nutzung.**
  - **Das Agieren in zwei sehr unterschiedlichen Marktsegmenten schafft Flexibilität und Synergien und trägt dazu bei, das wirtschaftliche Potential zu verbessern.**
- **Die Integration von Wind-Wasserstoff-Systemen in das Energiesystem ist mit hoher Wahrscheinlichkeit erreichbar, erfordert aber eine engagierte Unterstützung der Technologie.**



# Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

**Klaus Stolzenburg**



**Ingenieurbüro für Energie- und Versorgungstechnik**

**Donnerschweer Straße 89/91, 26123 Oldenburg**

**[k.stolzenburg@planet-energie.de](mailto:k.stolzenburg@planet-energie.de)**

