„Elektrolyse made in Baden-Württemberg“

Ergänzende Informationen zu

WORKSHOP 1-4:
Kostenrahmen-Informationen für AEL-System, Subsysteme und Komponenten

Stuttgart, 10/11.2020

Baden-Württemberg
MINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT, ARBEIT UND WOHNUNGSBAU

innBW INNOVATIONSALLIANZ BADEN-WÜRTTEMBERG

Hahn Schickard

DLR

DITF DEUTSCHE INSTITUTE FÜR TEXTIL+FASERFORSCHUNG

ZSW

Andreas Brinner

// Kostenrahmen-Informationen für Wasserstoff-Erzeugungsanlagen aus dem PtG-Leuchtturm-Projekt Baden-Württemberg

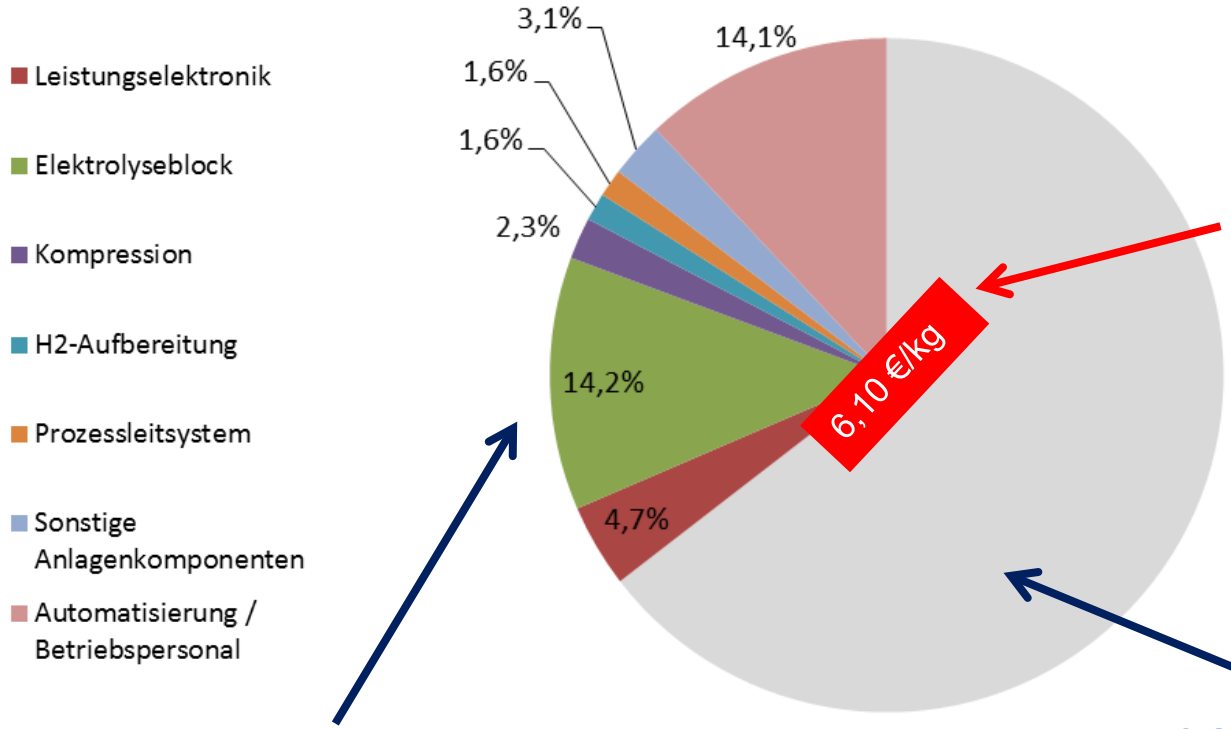
// Rahmeninformationen für Wasserstoff-Erzeugungsanlagen,

Kostenpotenzialeinschätzungen des Leuchtturmprojekts PtG-BW

- **Übersicht der Kostenpotenzial-Einschätzungen**
  - ✓ Gesamteinfluss auf H_2-Herstellkosten
  - ✓ Kostenstrukturanalyse
  - ✓ Gesamtübersicht Kostenreduktionspotenziale
- **Kostenreduktionspotenziale der Hauptsysteme einer Elektrolyseanlage**
  - ✓ Leistungselektronik
  - ✓ Prozessleitsystem
  - ✓ Elektrolysestack
  - ✓ H_2-Aufbereitung
  - ✓ H_2-Kompression
  - ✓ H_2-Gasfackelanlage
  - ✓ System-Umhausung
  - ✓ Einspeiseanlage

// Leuchtturmprojekt "PtG-BW" Kostensenkungspotenziale

Beispiel: kommerzielles 1 MW AEL-System



H_2-Gestehungskosten mit heutigem Technologiestand exemplarisch:

- 1 MW, Druck-AEL
- jährliche Volllaststunden: 4.000 h
- Strombezugskosten: 0,03 €/kWh
- Abschreibungszeitraum: 20 Jahre
- H_2-Abgabe: 200 bar | Qualität 5.0
- vollüberwachter Betrieb

Kostensenkungs-potenziale

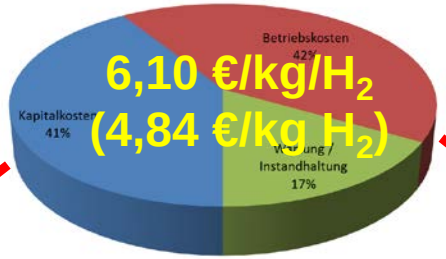
potenziell verbleibende H_2-Gestehungskosten = 4,84 €

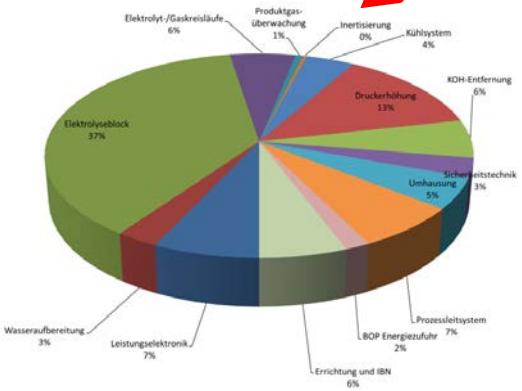
// Leuchtturmprojekt “PtG-BW” Kostenstrukturanalyse

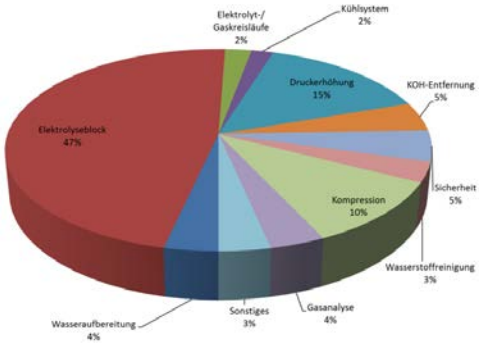
Beispiel: AEL 1 MW, heutiger Technologiestand, Pfad Trailer-Abfüllung

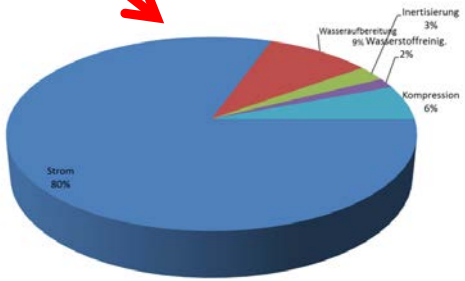
Randbedingungen

Abschreibungszeitraum	20 Jahre
Zinssatz	5 %
Strombezug Elektrolyse	1 MW (AC)
Wirkungsgrad Gleichrichter	96 %
Spez. Energieverbrauch Elektrolyse	4,6 kWh/Nm³H_2
Strombezugskosten	**exemplarisch** 0,03 €/kWh
jährliche Volllaststunden	4.000 h/a
vollautomatisierter Betrieb	
H_2-Abgabedruck	200 bar (AEL 16 bar)
H_2-Qualität	5.0









Kapitalkosten

2,50 €/kg H_2

(1,99 €/kg H_2)

Instandhaltungskosten

1,04 €/kg H_2

(0,82 €/kg H_2)

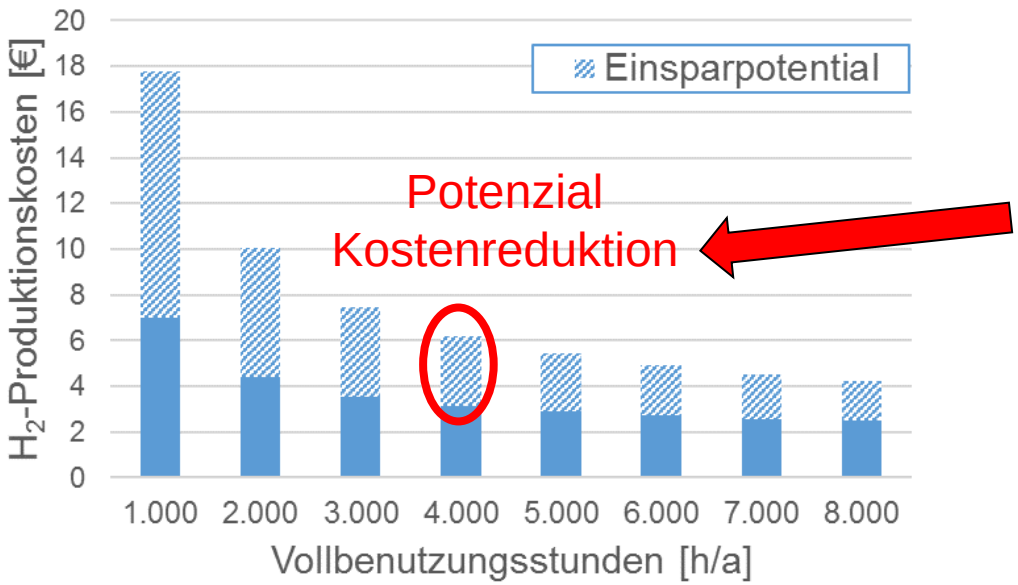
Betriebskosten

2,56 €/kg H_2

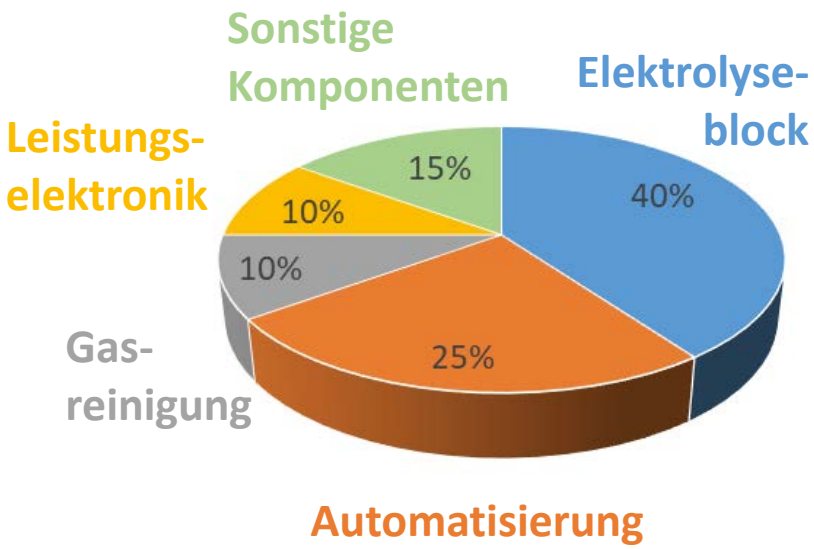
(2,03 €/kg H_2)

// Leuchtturmprojekt “PtG-BW”

Kostenreduktionspotenziale Gesamtsystem



Technologische Hebel für die weitere Kostensenkung:



Die technologische Weiterentwicklung von Elektrolyseblock und Nebenaggregaten ermöglicht in etwa eine Halbierung der H_2-Produktionskosten.

Randbedingungen

Leistungsklasse1-5 MW, Beispiel AEL, H2-Abgabe: 200 bar, Qualität 5.0

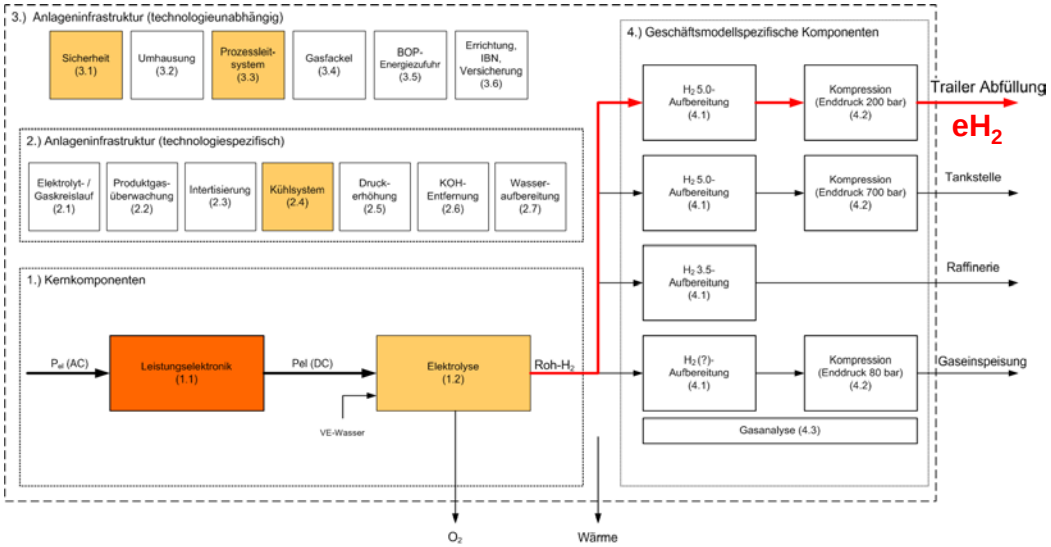
Strombezugspreis 35 €/MWh, ohne Abgaben und Steuern, Nutzungsdauer 20 Jahre

// Leuchtturmprojekt “PtG-BW”

Technische Informationen: Leistungselektronik (1.1)

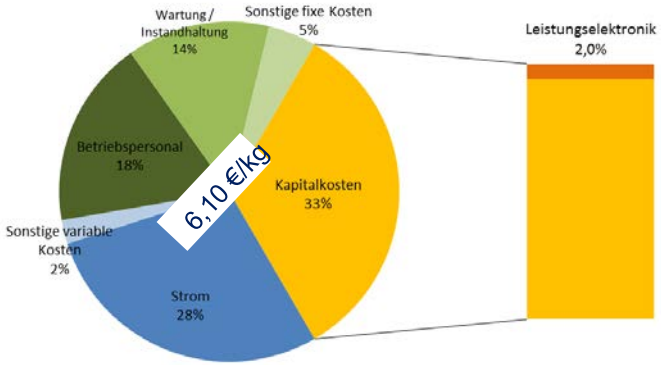
Aufgaben, Schnittstellen, Kostenrelevanz

- Anbindung des Elektrolyseblocks an das Stromnetz
- Transformation und Gleichrichtung der Netzspannung (z.B. von 20 kV-Ebene)
- Regelung der Stromabgabe an den Elektrolyseblock
- **H_2-GESAMTKOSTENRELEVANZ : ~ 3,6 % (~ 22 ct/kg)***

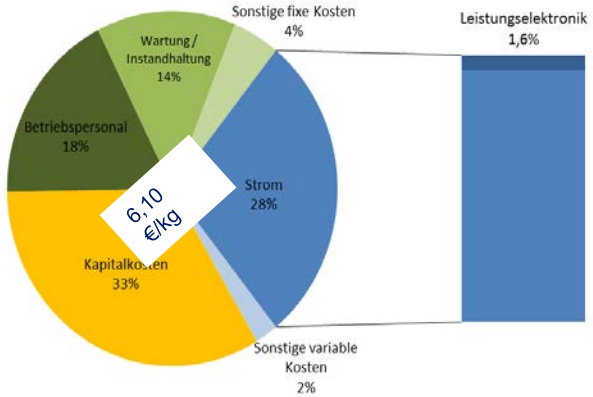


* Pfad Trailer-Abfüllung mit Druck-AEL, 4.000 h/a, 0,03 €/kWh, überwachter Betrieb

KAPITALKOSTENANTEIL



BETRIEBSKOSTENANTEIL



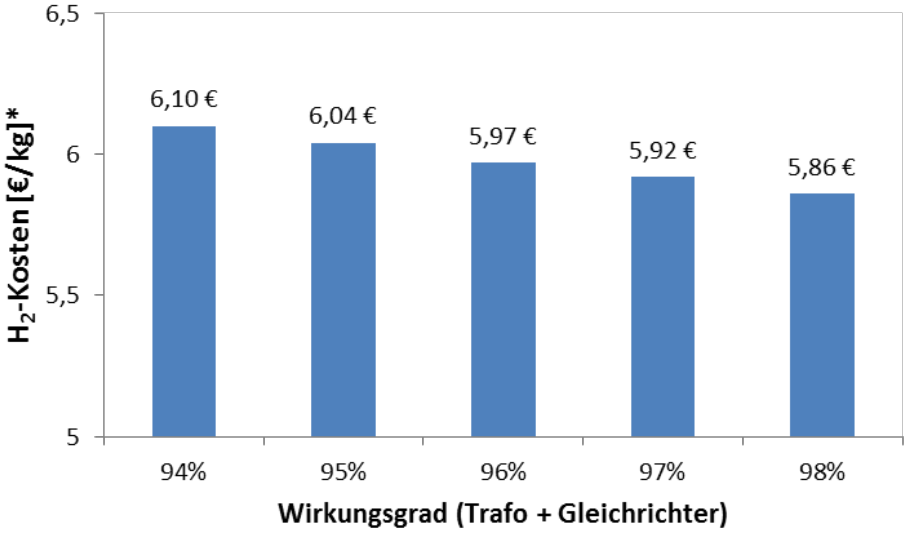
// Leuchtturmprojekt “PtG-BW”

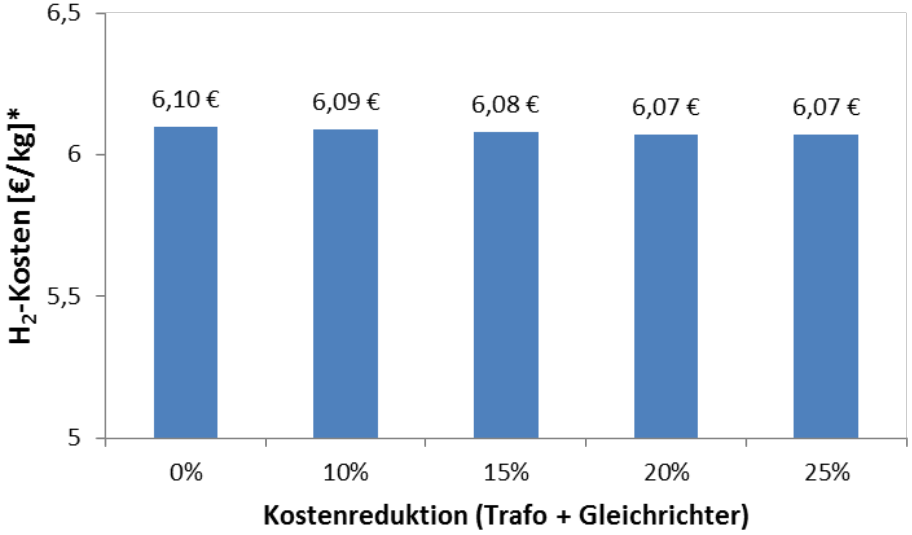
Technische Informationen: Leistungselektronik (1.1)

Herausforderungen

- Steigerung des Wirkungsgrad (derzeit etwa 94 %), auch im unteren Lastbereich
- Minimierung der Netzrückwirkungen im gesamten Leistungsbereich (bis ca. 30 $\%_{min}$)
  - cos φ > 0,9; THDi < 10%
- Senkung der Herstellungskosten

Mögliche H_2-Kosteneffekte ~ 20-30 ct/kg*





* Pfad Trailer-Abfüllung mit Druck-AEL, 4.000 h/a, 0,03 €/kWh, überwachter Betrieb

// Leuchtturmprojekt “PtG-BW”

Diskussion: Leistungselektronik (1.1)

- **Technische Spezifikationen**
  - ✓ Wesentliche Kenngrößen
  - ✓ Stand der Technik
  - ✓ Verbesserungspotenziale
  - ✓ Technologiesprünge?
- **Kosten**
  - ✓ Stand der Technik
  - ✓ Degressionspotenziale
  - ✓ Stückzahleffekte
  - ✓ Mögliche Synergieeffekte mit anderen Technologien

PtH 1 MW	heute	Potential	Effekt H2-Kosten
Wirkungsgrad	94-95 %	98 %	~ 25 ct/kg
Netzrückwirkungen			
Herstellkosten (10er Stk.)			
Herstellkosten (100er Stk.)	---		
Herstellkosten (1000er Stk.)	---		
Technologien Synergieeffekte			

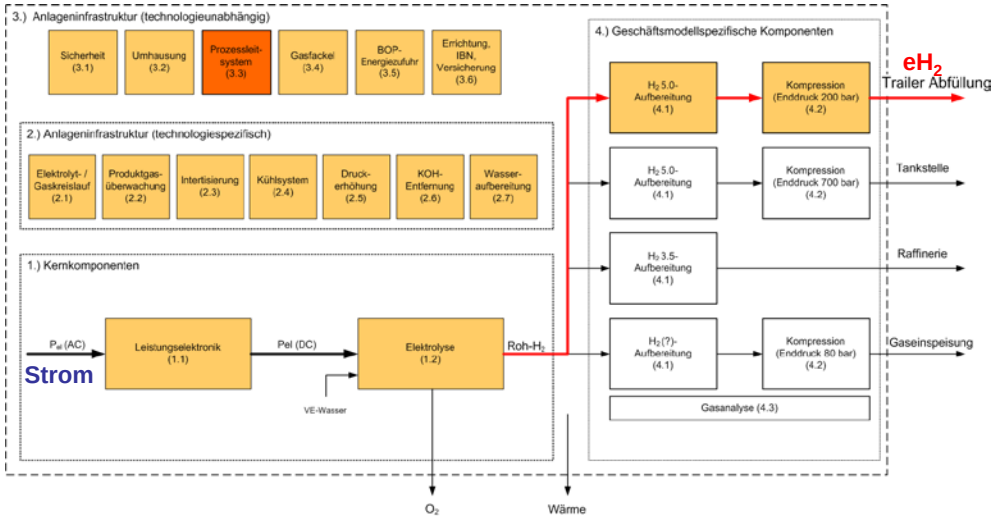
Informationen müssen teilweise noch mit Herstellern erarbeitet werden

// Leuchtturmprojekt “PtG-BW”

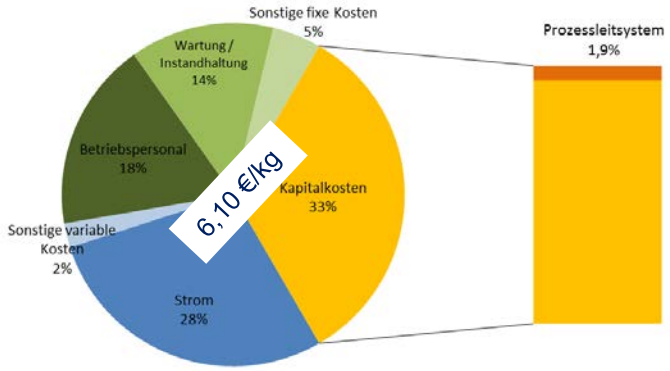
Technische Informationen: Prozessleitsystem (3.3)

Aufgaben, Schnittstellen, Kostenrelevanz

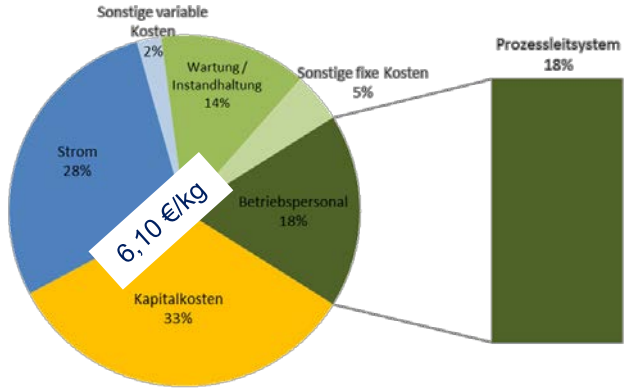
- Steuerung und Regelung von Einzelkomponenten und Gesamtsystem
- Soweit möglich Prozessautomatisierung
- Betriebsüberwachung und Monitoring
- **H_2-GESAMTKOSTENRELEVANZ: ≤ 20 % (~ 1,22 €/kg)***



KAPITALKOSTENANTEIL



BETRIEBSKOSTENANTEIL



* Pfad Trailer-Abfüllung mit Druck-AEL, 4.000 h/a, 0,03 €/kWh, überwachter Betrieb

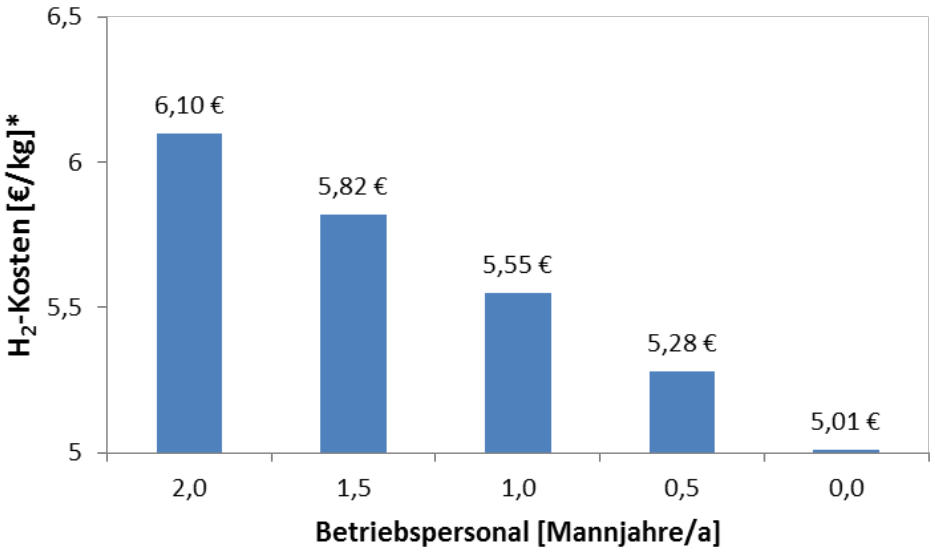
// Leuchtturmprojekt “PtG-BW”

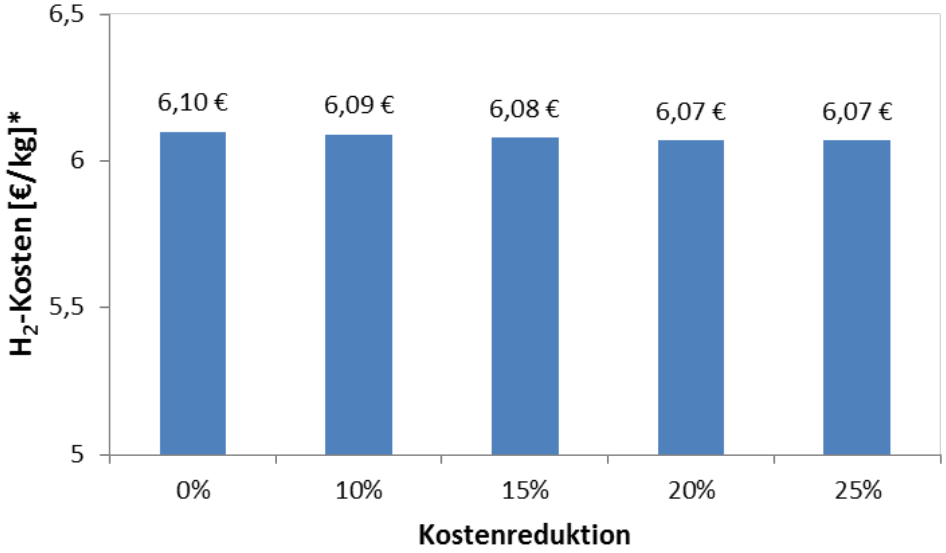
Technische Informationen: Prozessleitsystem (3.3)

Herausforderungen

- Verbesserung der Anlagenautomatisierung hin zu einem vollautomatisierten, fernüberwachten Betrieb
- Standardisierung der Prozess-Automatisierung
- Senkung der Herstellungskosten und des Standby-Verbrauchs

Mögliche H_2-Kosteneffekte > 1 €/kg*





* Pfad Trailer-Abfüllung mit Druck-AEL, 4.000 h/a, 0,03 €/kWh, überwachter Betrieb

// Leuchtturmprojekt “PtG-BW”

Diskussion: Prozessleitsystem (3.3)

- **Technische Spezifikationen**
  - ✓ Wesentliche Kenngrößen
  - ✓ Stand der Technik
  - ✓ Verbesserungspotenziale
- **Kosten**
  - ✓ Stand der Technik
  - ✓ Degressionspotentiale
  - ✓ Stückzahleffekte
  - ✓ Synergieeffekte
- **Automatisierungsgrad**
  - ✓ Stand der Technik
  - ✓ Verbesserungspotentiale zum vollautomatisierten Betrieb

PtH 1 MW	heute	Potenzial	Effekt H2-Kosten
Anzahl Daten, Speicherumfang			
Schnittstellen und Protokolle / Bus-Systeme			
Zuverlässigkeits-anforderungen			
Herstellkosten (10er Stk.)			
Herstellkosten (100er Stk.)			
Herstellkosten (1000er Stk.)			
Technologien Synergieeffekte			

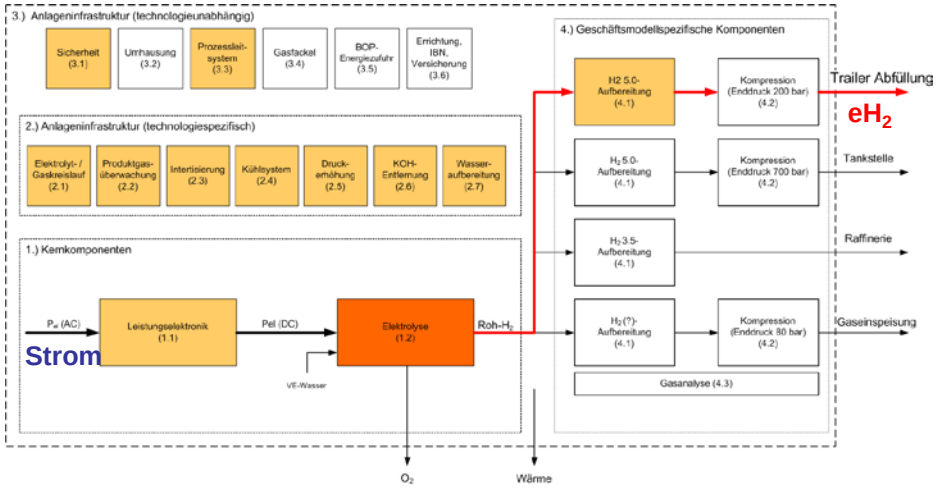
Informationen müssen teilweise noch mit Herstellern erarbeitet werden

// Leuchtturmprojekt “PtG-BW”

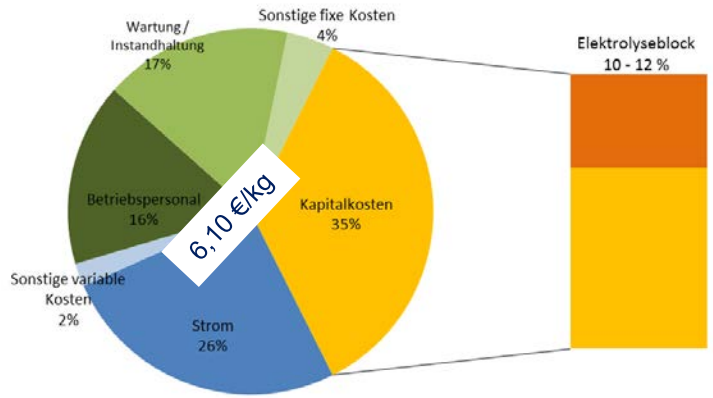
Technische Informationen: Elektrolysestack (1.2)

Aufgaben, Schnittstellen, Kostenrelevanz

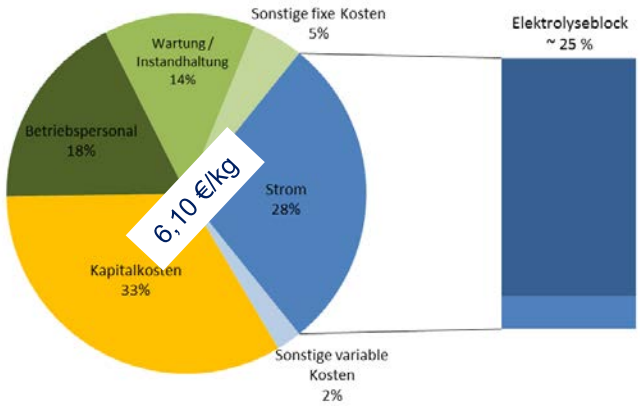
- Elektrochem. Reaktor zur H_2-Herstellung und damit die zentrale Komponente
- Zw. Leistungselektronik und H_2-Aufbereitung
- Teuerste Komponente im PtG-System
- **H_2-GESAMTKOSTENRELEVANZ: ~ 37 % (~ 2,26 €/kg)***



KAPITALKOSTENANTEIL



BETRIEBSKOSTENANTEIL



* Pfad Trailer-Abfüllung, 4.000 h/a, 0,03 €/kWh, überwachter Betrieb

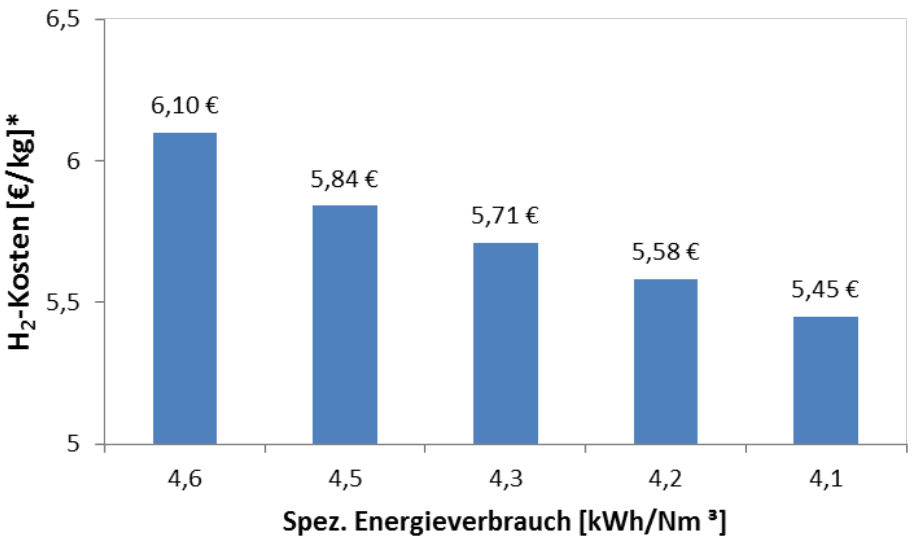
// Leuchtturmprojekt “PtG-BW”

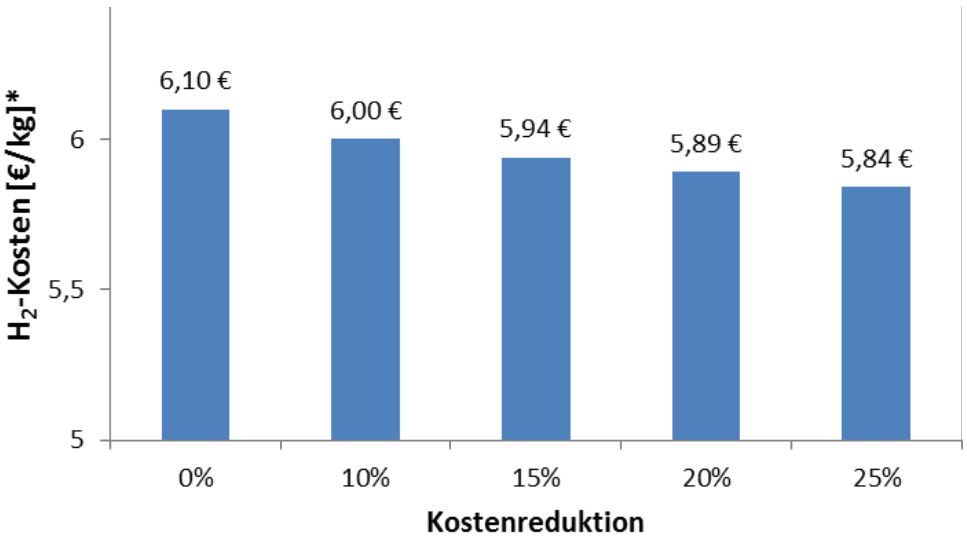
Technische Informationen: PEM-Elektrolysestack (1.2)

Herausforderungen

- Hoher Wirkungsgrad für geringe H_2-Herstellungskosten (erhöht aber CAPEX)
- Lebensdauer bei PEMEL und Stromdichte bei der AEL sollten erhöht werden,
- Druckfestigkeit zur Senkung Aufwand bei allen weiteren PtG-Komponenten
- Hohes technologisches Kostensenkungspotenzial

Mögliche H_2-Kosteneffekte ~ 1 €/kg*





* Pfad Trailer-Abfüllung, 4.000 h/a, 0,03 €/kWh, überwachter Betrieb

// Leuchtturmprojekt “PtG-BW”

Diskussion: PEM-Elektrolysestack (1.2)

- **Technische Spezifikationen**
  - ✓ Wesentliche Kenngrößen
  - ✓ Stand der Technik
  - ✓ Verbesserungspotenziale
  - ✓ Technologiesprünge?
- **Kosten**
  - ✓ Stand der Technik
  - ✓ Degressionspotenziale
  - ✓ Stückzahleffekte
  - ✓ Mögliche Synergieeffekte mit anderen Technologien

PtH 1 MW	heute	Potenzial	Effekt H2-Kosten
Wirkungsgrad (HHV)	65 - 80 %	> 90 %	~ 25 ct/kg
Lebensdauer	20-80 Tsd h	Bis 100 Tsd h	
Herstellkosten (10er Stk.)			
Herstellkosten (100er Stk.)	---		
Herstellkosten (1000er Stk.)	---		
Technologien Synergieeffekte			

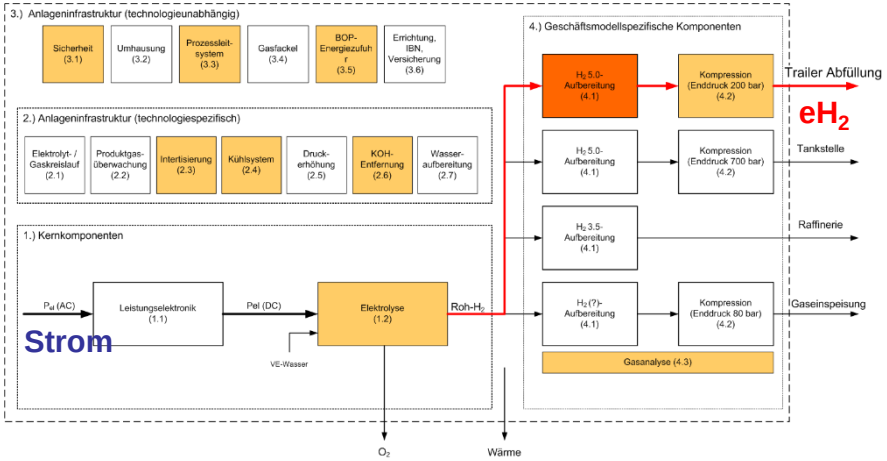
Informationen müssen teilweise noch mit Herstellern erarbeitet werden

// Leuchtturmprojekt “PtG-BW”

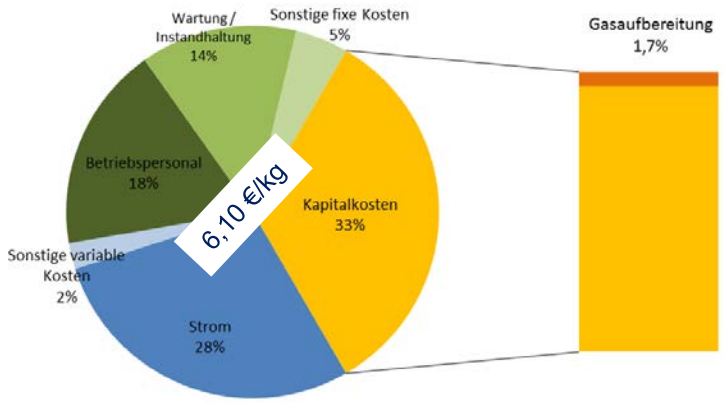
Technische Informationen: H_2-Aufbereitung (4.1)

Aufgaben, Schnittstellen, Kostenrelevanz

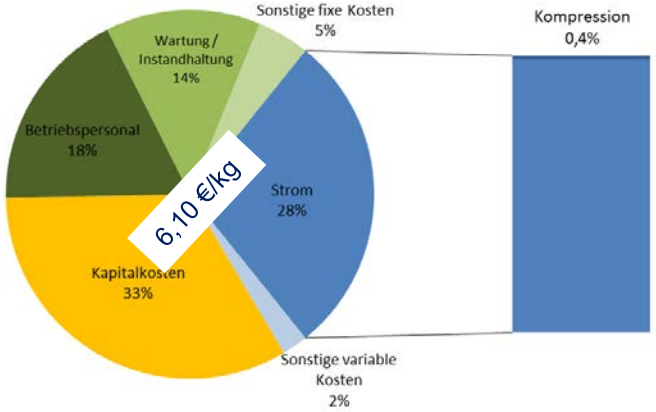
- Wasserstoff-Feinreinigung (De-Oxo) und Trocknung im ppm-Bereich (H_2 5.0)
- Nach Elektrolyseur und vor Kompression
- Stark von EL-Technologie abhängig
- **H_2-GESAMTKOSTENRELEVANZ: ~ 2 % (~ 13 ct/kg)***



KAPITALKOSTENANTEIL



BETRIEBSKOSTENANTEIL



* Pfad Trailer-Abfüllung mit Druck-AEL, 4.000 h/a, 0,03 €/kWh, überwachter Betrieb

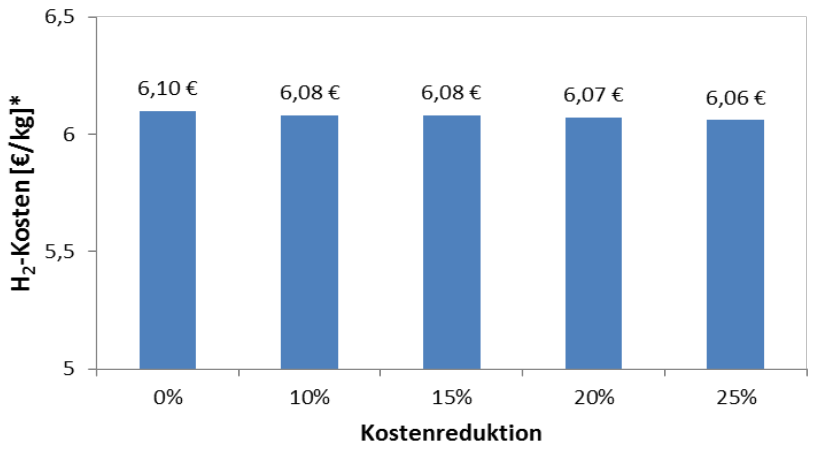
// Leuchtturmprojekt “PtG-BW”

Technische Informationen: H_2-Aufbereitung (4.1)

Herausforderungen

- Hohe Verluste (PSA: H_2-Purge; TSA: Strombedarf für Heizintervalle) senken Effizienz
- Hoher Druck wünschenswert, da geringere OPEX, aber CAPEX steigt)
- Eingeschränktes Betriebsfenster (20 - 110 % auf Nennvolumenstrom um Nenndruck)
- Standardprodukt, keine Kostensenkungspotenziale zu erwarten (chem. Anlagenbau)

Mögliche H_2-Kosteneffekte < 10 ct/kg*



* Pfad Trailer-Abfüllung mit Druck-AEL, 4.000 h/a, 0,03 €/kWh, überwachter Betrieb

// Leuchtturmprojekt “PtG-BW”

Diskussion: H_2-Aufbereitung (4.1)

- **Technische Spezifikationen**
  - ✓ Wesentliche Kenngrößen
  - ✓ Stand der Technik
  - ✓ Verbesserungspotenziale
  - ✓ Technologiesprünge?
- **Kosten**
  - ✓ Stand der Technik
  - ✓ Degressionspotenziale
  - ✓ Stückzahleffekte
  - ✓ Mögliche Synergieeffekte mit anderen Technologien

PtH 1 MW	heute	Potenzial	Effekt H2-Kosten
Betriebsfenter	20 – 110 %		~ … ct/kg
Betriebsdruck	5-30 bar	5-60 bar	
Herstellkosten (10er Stk.)			
Herstellkosten (100er Stk.)	---		
Herstellkosten (1000er Stk.)	---		
Technologien Synergieeffekte			

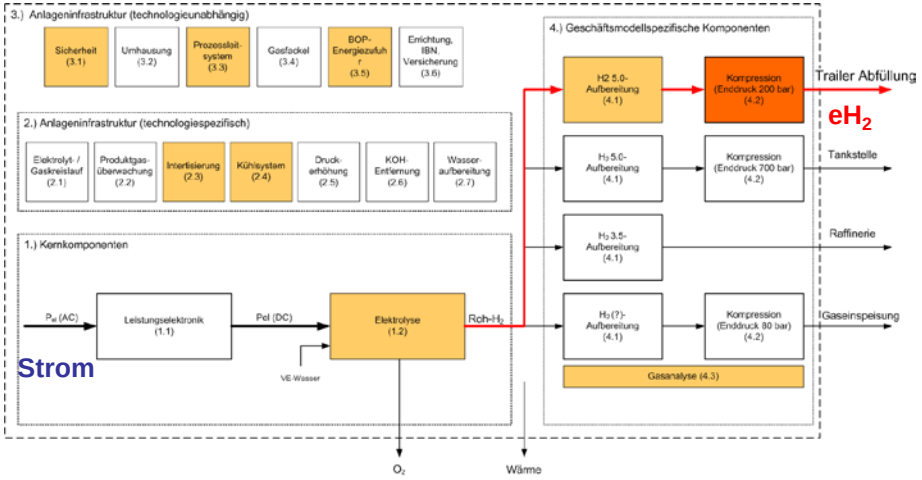
Informationen müssen teilweise noch mit Herstellern erarbeitet werden

// Leuchtturmprojekt “PtG-BW”

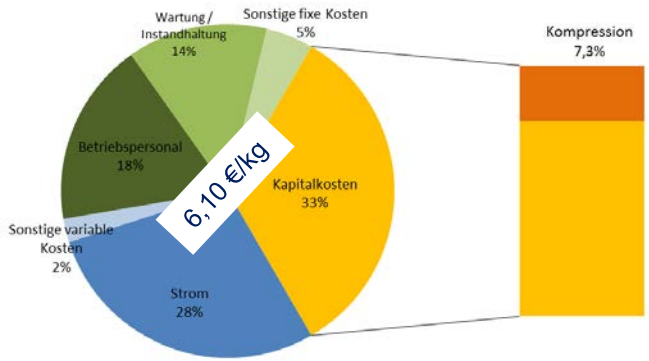
Technische Informationen: Kompression (4.2)

Aufgaben, Schnittstellen, Kostenrelevanz

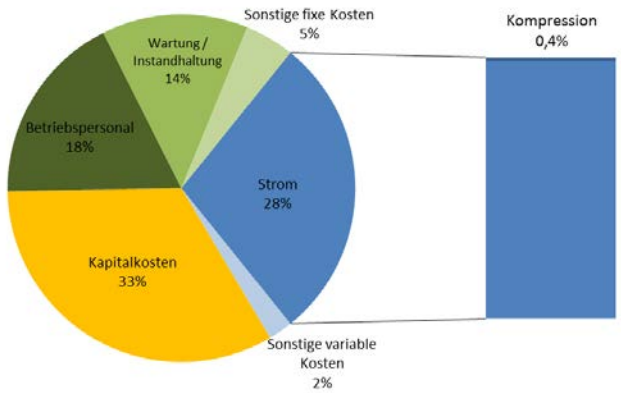
- Zwischenkompression bei AEL für H_2-Aufbereitung und Pufferung
- HD-Kompression für Zieldruck der Anwendung nach Feinreinigung
- **H_2-GESAMTKOSTENRELEVANZ: ~ 7,7 % (~ 47 ct/kg)***



KAPITALKOSTENANTEIL



BETRIEBSKOSTENANTEIL



* Pfad Trailer-Abfüllung mit Druck-AEL, 4.000 h/a, 0,03 €/kWh, überwachter Betrieb

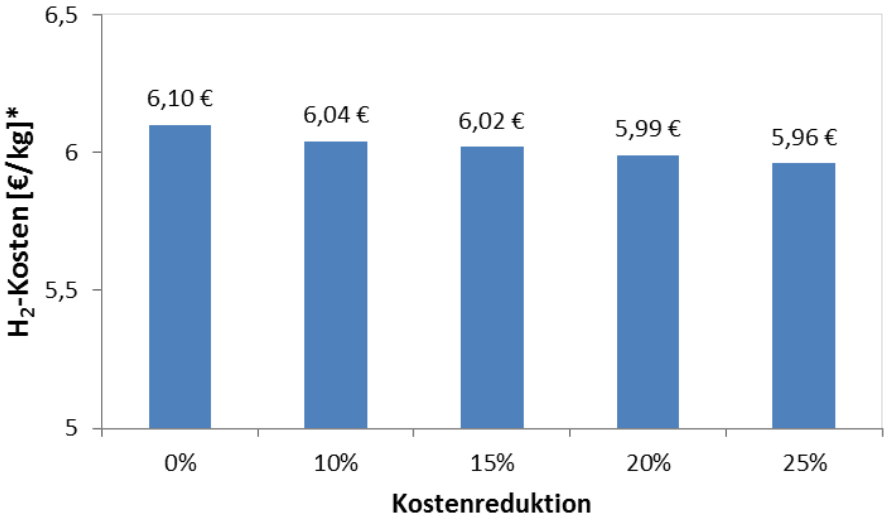
// Leuchtturmprojekt “PtG-BW”

Technische Informationen: Kompression (4.2)

Herausforderungen

- Zuverlässigkeit und Wartungsaufwand tragen erheblich zu Kosten bei
- Hohe Effizienzverluste auf Systemebene
- Hohe CAPEX bei kleinen H_2-Produktionsraten
- Senkung der Herstellungskosten nur bedingt möglich, Alternative Konzepte?

Mögliche H_2-Kosteneffekte ~ 15 ct/kg*



* Pfad Trailer-Abfüllung mit Druck-AEL, 4.000 h/a, 0,03 €/kWh, überwachter Betrieb

// Leuchtturmprojekt “PtG-BW”

Diskussion: Kompression (4.2)

- **Technische Spezifikationen**
  - ✓ Wesentliche Kenngrößen
  - ✓ Stand der Technik
  - ✓ Verbesserungspotenziale
  - ✓ Technologiesprünge?
- **Kosten**
  - ✓ Stand der Technik
  - ✓ Degressionspotenziale
  - ✓ Stückzahleffekte
  - ✓ Mögliche Synergieeffekte mit anderen Technologien

PtH 1 MW	heute	Potenzial	Effekt H2-Kosten
Wirkungsgrad	75 – 80 %	> 90 % (?)	
Druckverhältnis	1:4 bis 1:15		
Herstellkosten (10er Stk.)			
Herstellkosten (100er Stk.)	---		
Herstellkosten (1000er Stk.)	---		
Technologien Synergieeffekte			

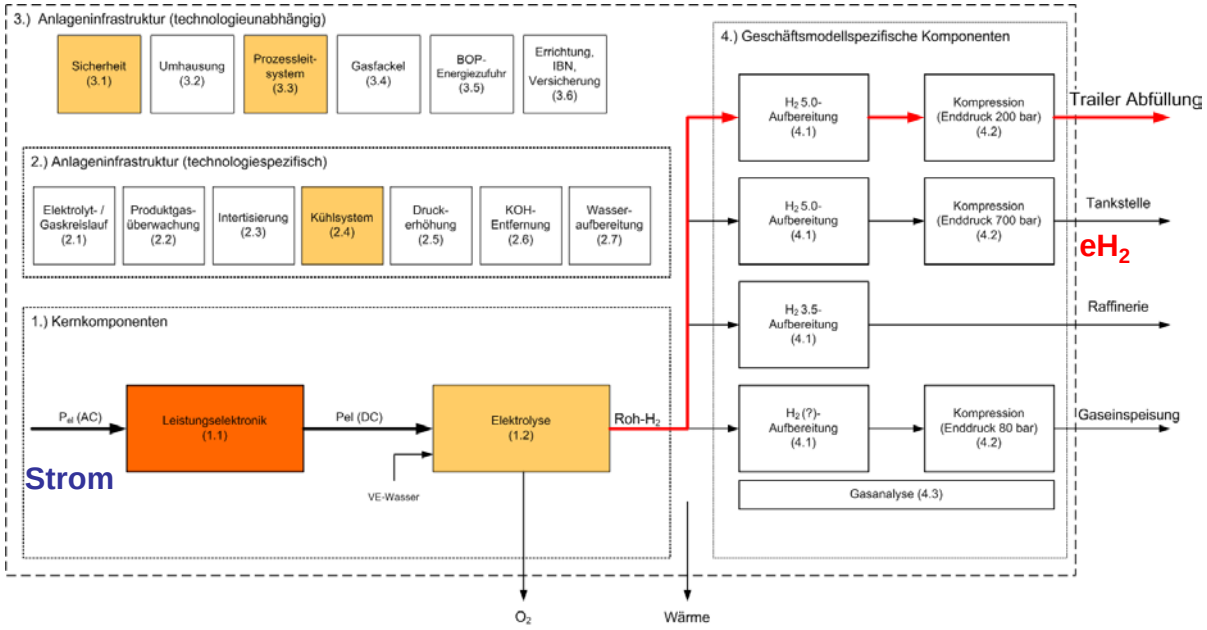
Informationen müssen teilweise noch mit Herstellern erarbeitet werden

// Leuchtturmprojekt “PtG-BW”

Technische Informationen: H_2-Gasfackelanlage (3.4)

Aufgaben, Schnittstellen, Kostenrelevanz

- Kontrollierte H_2-Abgabe aus dem System (Purge, Start/Stopp, Maintenance)
- Teilw. sicherheitstechnische Einrichtung
- End-of-pipe Komponente
- **H_2-GESAMTKOSTEN-RELEVANZ: bisher keine Info**



* Pfad Trailer-Abfüllung mit AEL, 4.000 h/a, 0,03 €/kWh, überwachter Betrieb

// Leuchtturmprojekt “PtG-BW”

Technische Informationen: H_2-Gasfackelanlage (3.4)

Herausforderungen

- Keine wesentlichen Herausforderungen → Standardprodukt
- Großer Volumenstrombereich gefordert, Erdgas on-site erforderlich
- Keine wesentliches technologisches Kostensenkungspotenzial
- Kann Fackel komplett eingespart werden (Abblasung reicht evtl.)?

Mögliche H_2-Kosteneffekte ?

// Leuchtturmprojekt “PtG-BW”

Diskussion: H_2-Gasfackelanlage (3.4)

- **Technische Spezifikationen**
  - ✓ Wesentliche Kenngrößen
  - ✓ Stand der Technik
  - ✓ Verbesserungspotenziale
  - ✓ Technologiesprünge?
- **Kosten**
  - ✓ Stand der Technik
  - ✓ Degressionspotenziale
  - ✓ Stückzahleffekte
  - ✓ Mögliche Synergieeffekte mit anderen Technologien

PtH 1 MW	heute	Potenzial	Effekt H2-Kosten
??	??	??	~ 25 ct/kg
…			
Herstellkosten (10er Stk.)			
Herstellkosten (100er Stk.)	---		
Herstellkosten (1000er Stk.)	---		
Technologien Synergieeffekte			

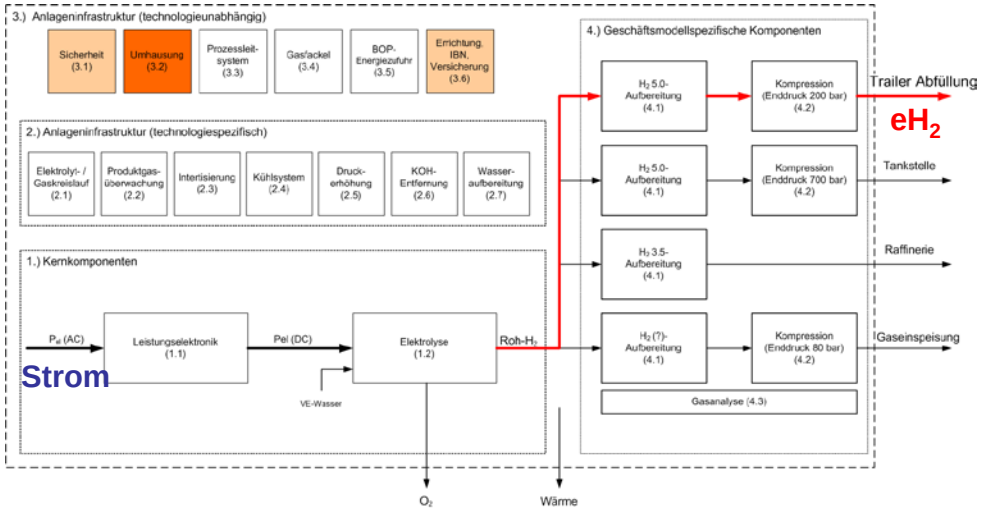
Informationen müssen teilweise noch mit Herstellern erarbeitet werden

// Leuchtturmprojekt “PtG-BW”

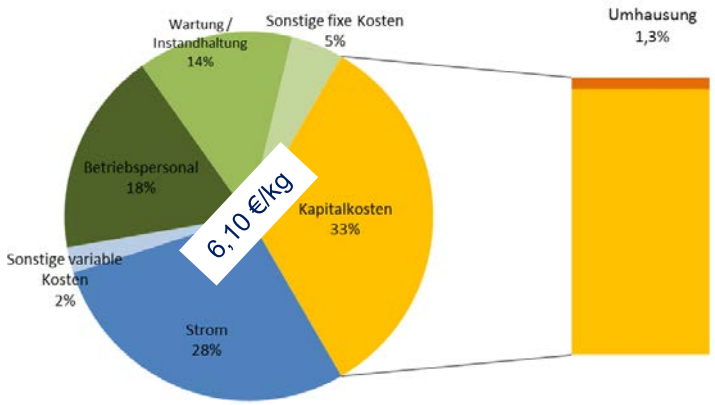
Technische Informationen: Umhausung (3.2)

Aufgaben, Schnittstellen, Kostenrelevanz

- Schutz der technischen Anlage vor Umwelteinflüssen und unberechtigtem Zutritt
- Sicherstellung von Betriebssicherheit (Einrichtung Ex-Schutzzonen, Gaswarnanlagen etc.)
- **H_2-GESAMTKOSTENRELEVANZ: ~ 1,3 % (~ 8 ct/kg)***



KAPITALKOSTENANTEIL



* Pfad Trailer-Abfüllung mit Druck-AEL, 4.000 h/a, 0,03 €/kWh, überwachter Betrieb

// Leuchtturmprojekt “PtG-BW”

Technische Informationen: Umhausung (3.2)

Herausforderungen: keine Herausforderungen

Mögliche H_2-Kosteneffekte: keine nennenswerten Kosteneffekte

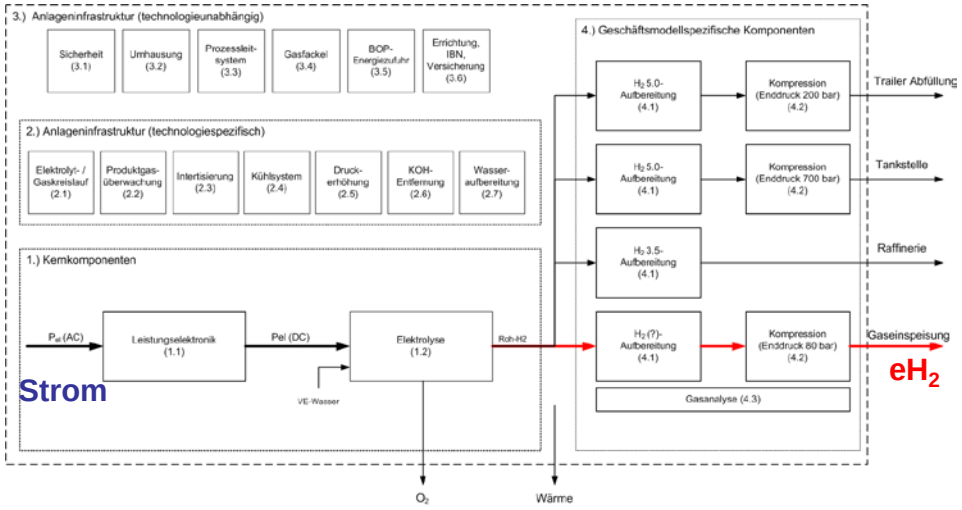
Ein mögliches, anteilig sehr geringes Kostenpoten^zial lässt sich nicht durch technologische Weiterentwicklung heben, sondern wäre allenfalls abhängig von Stückzahl und Standardisierung.

// Leuchtturmprojekt “PtG-BW”

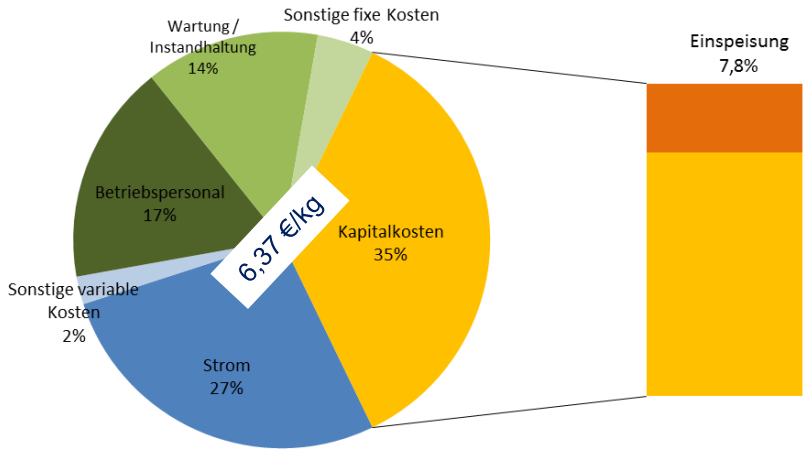
Technische Informationen: Einspeiseanlage (4.2)

Aufgaben, Schnittstellen, Kostenrelevanz

- Regelbare, sichere Einspeisung von Wasserstoff in das Erdgasnetz
- Eigentumsrechtliche Schnittstelle zwischen der Anlage und dem öffentlichen Gasversorgungsnetz
- **H_2-GESAMTKOSTENRELEVANZ: ~ 7,8 % (~ 48 ct/kg)***



KAPITALKOSTENANTEIL



* Pfad Einspeisung mit Druck-AEL, 4.000 h/a, 0,03 €/kWh, überwachter Betrieb

// Leuchtturmprojekt “PtG-BW”

Technische Informationen: Einspeiseanlage (4.2)

Herausforderungen

- Abrechnung
- Messtechnik (anteilig sehr teuer besonders für kleine Anlagen)
- gesetzlich geforderte Verfügbarkeit (momentan erfüllt durch Redundanz)

Mögliche H_2-Kosteneffekte: < 10 % des Status Quo

Das Kostenpotenzial lässt sich nicht durch technologische Weiterentwicklung heben, sondern ist abhängig von den politischen und regulatorischen Rahmenbedingungen.

// Leuchtturmprojekt “PtG-BW”

Diskussion: Einspeiseanlage (4.2)

- **Technische Spezifikationen**
  - ✓ Wesentliche Kenngrößen
  - ✓ Stand der Technik
  - ✓ Verbesserungspotenziale
  - ✓ Technologiesprünge?
- **Kosten**
  - ✓ Stand der Technik
  - ✓ Degressionspotenziale
  - ✓ Stückzahleffekte
  - ✓ Mögliche Synergieeffekte mit anderen Technologien

PtH 1 MW	heute	Potenzial	Effekt H2-Kosten
Wirkungsgrad	75 – 80 %	> 90 % (?)	
Druckverhältnis	1:4 bis 1:15		
Herstellkosten (10er Stk.)			
Herstellkosten (100er Stk.)	---		
Herstellkosten (1000er Stk.)	---		
Technologien Synergieeffekte			

Informationen müssen teilweise noch mit Herstellern erarbeitet werden