RECASE®
REGENERATIVE ENERGIEN

Post-EEG-Betrieb

Herstellung und Vermarktung von Wasserstoff und Sauerstoff als Post-EEG-Szenario

Husum, 11.09.2019

Lennard Klümper

Inhalt

- **RECASE**
  - Windenergie
  - Regenerative Energiesysteme
- Power-To-H_2
- Fazit

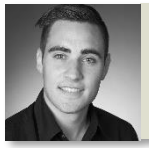
Team (1)

Marten Seifert
Geschäftsführender Gesellschafter

Projekt- und Produktmanagement, technisches Claim- und Krisenmanagement, technische Bewertung von Windprojekten

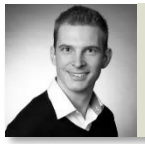
Jörg Zeumer
Projektingenieur

R&D, System- und Netzintegration von Windenergieanlagen, elektrische Antriebs- und Automatisierungstechnik



Christian Peters
Projektingenieur

Einhaltung von Netzanschlussbedingungen in Windenergieprojekten, funktionelle Spezifikationen für SCADA_Systeme, Inbetriebnahme



Steven Siemen
Projektingenieur

Prozess- und Vertragsmanagement, Qualitäts- und Projektmanagement Engineering und Planung von Windenergieprojekten

Kim Laura Westphal
Assistenz der Geschäftsführung

Administration, Rechnungswesen

Lorenz-Heinrich Carstensen
Geschäftsführender Gesellschafter

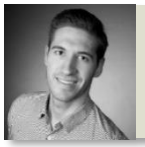
R&D, Netzanschluss von Windenergieanlagen, Projektmanagement (on- & offshore), komplexe Liefer- und Leistungsumfänge, Schnittstellendefinition

Maurice Graber
Projektingenieur

Systemintegration, operative Einsätze auf Windenergieanlagen, Baustellen und Produktionsstätten, Projektmanagement

Jan Schmitz
Projektingenieur

Energiekonzepte auf Basis regenerativer Energien, Ladeinfrastruktur- & Elektromobilitätskonzepte, Wirtschaftlichkeitsberechnungen, Sektorenkopplung



Mitja Klatt
Projektingenieur

Regenerative und elektrische Systemanwendungen, Netzsimulation und Netzschutz, Ladeinfrastruktur- & Elektromobilitätskonzepte, Sektorenkopplung

Formierung projektspezifischer Teams mit erfahrenen Kooperationspartnern und Freelancern der Windenergie.

Team (2)

Ole Dammann
Werkstudent

Regenerative Energietechnik – Maschinen- und Anlagentechnik, SCADA-Analysen, Betriebsführung von Biogasanlagen

Tanja Eggert
Werkstudentin

Energie- und Umweltmanagement, Energiekonzepte auf Basis regenerativer Energie, E-Mobilitätskonzepte, Wirtschaftlichkeitsberechnungen, Sektorenkopplung

Lennard Klümper
Masterand

Energie- und Umweltmanagement – regenerative Energiekonzepte, emissionsfreie Mobilität, Wasserstoff, alternative Treibstoffe, Bedarfsgesteuerte Nachtkennzeichnung,

Jannes Mahlke
Werkstudent

Energiewissenschaften – Regenerative Energietechnik, Lastberechnung der Tragstrukturen von WEA, Windgeschwindigkeitsmessung mittels SODAR

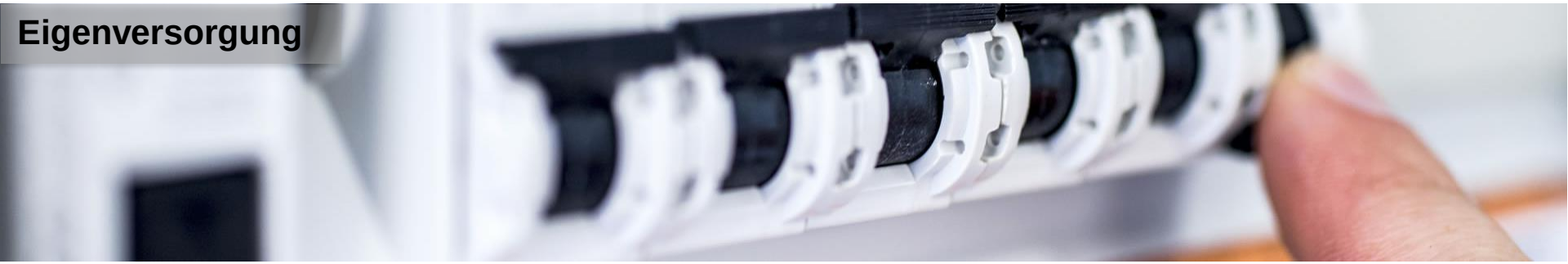
Tobias C. Kanter
Bachelorand

Energie- und Prozesstechnik – Regenerative Energiesysteme und Gebäudetechnik, SCADA-Analysen und Performance-Berichte von WEA, Datenanalyse, Tool-Entwicklung

In Kooperation mit Hochschulen begleitet RECASE Forschungsprojekte und kümmert sich um die praxisnahe Ausbildung von Studenten der technischen Fachrichtungen.

RECASE Windenergie

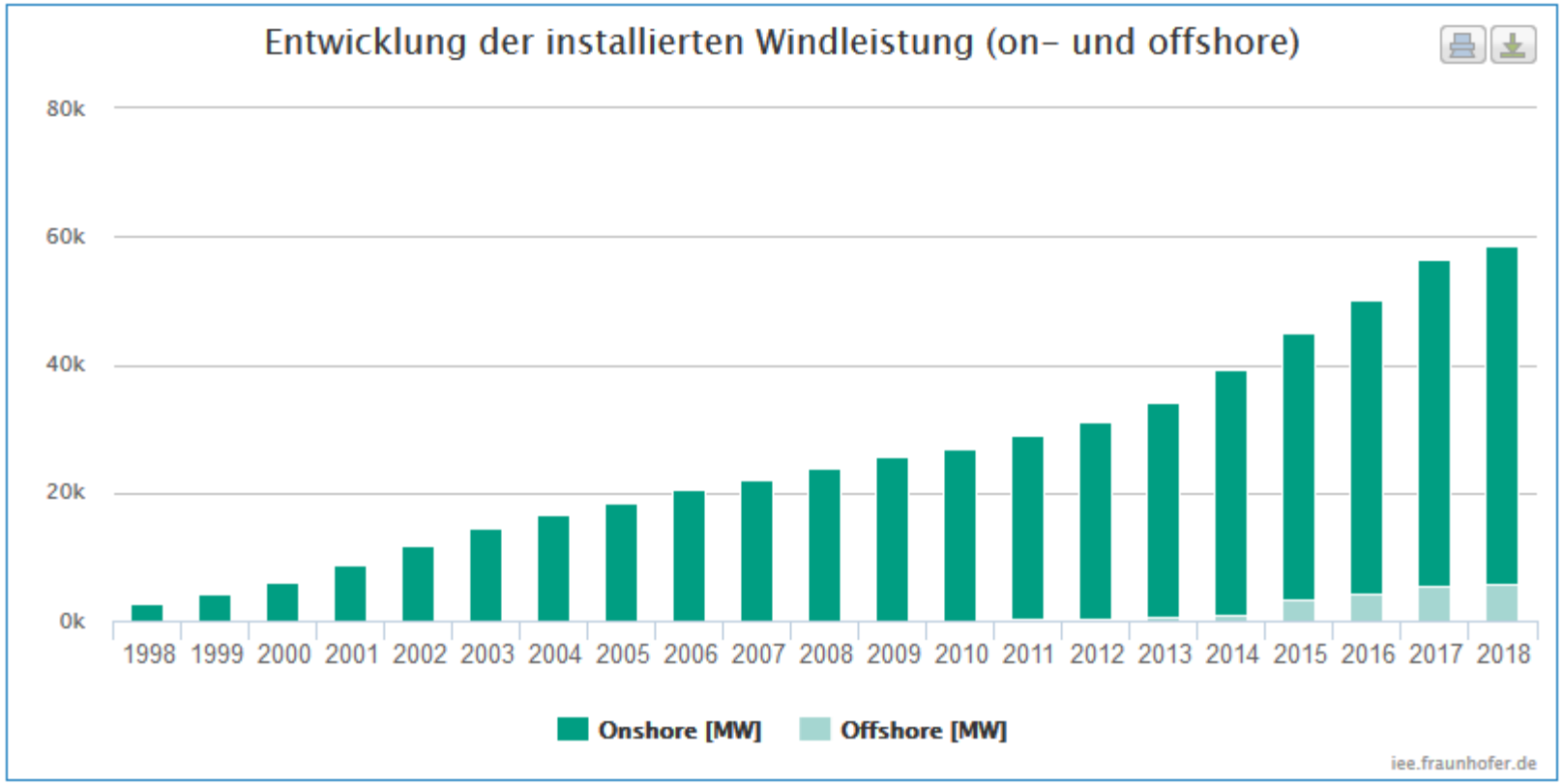
RECASE Regenerative Energiekonzepte



Inhalt

- RECASE
- Power-To-H_2
  - Betrieb 20+
  - Integration eines Elektrolyseurs
  - Windstromvergütung
  - Praxisbeispiel
  - Sauerstoffnutzung
- Fazit

Betrieb 20+ Entwicklung der Windenergie in DE



Etwa 4,5 GW Windleistung fallen ab 2021 aus der EEG-Vergütung

RECASE® REGENERATIVE ENERGIEN

Betrieb 20+ Perspektiven

Potentiale

- Wachsende Anlagenzahl 20+ mit großem Energieertrag
- Standorte ohne Repowering-Perspektive (Ergibt sich aus aktuellem EEG und Raumordnungsplan)
- Verunsicherung im Markt über neue Projektrealisierungs-Bedingungen
- Gelegenheit zur finanziellen Restrukturierung schwacher Projekte

Herausforderungen

- Genehmigungsrechtlicher Aufwand für den Weiterbetrieb
- Unschärfe in der Lebensdauer-betrachtung erfordert ggf. zusätzliche Maßnahmen
- Vergütung jenseits des EEG für relative kurze Zeit muss gefunden werden

RECASE® REGENERATIVE ENERGIEN

Betrieb 20+ Anforderungen an die Vergütung

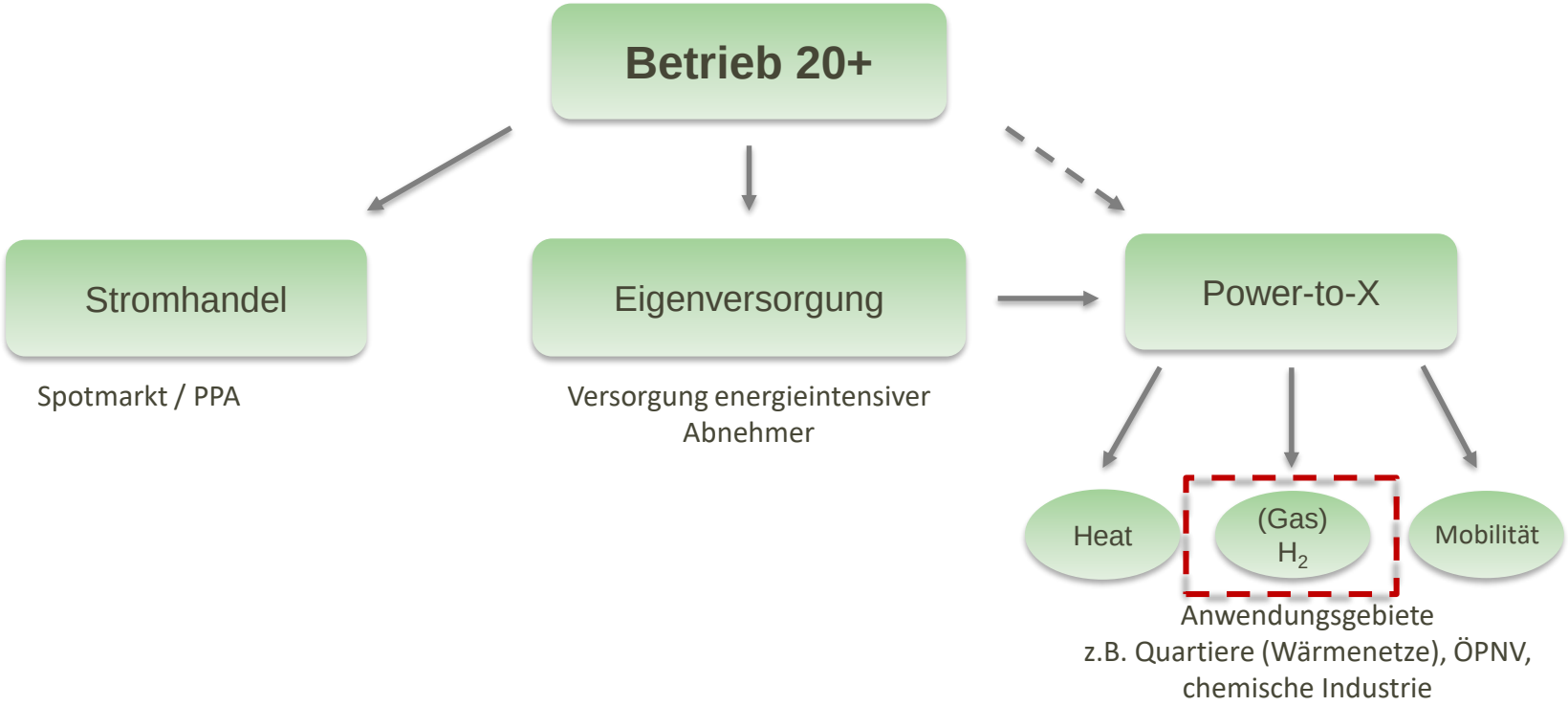
Für den Weiterbetrieb eines Windparks sind seine spezifischen Einnahmeanforderungen entscheidend. Die Einnahmeanforderungen ergeben sich aus:

- Den **Investitionskosten** für den Weiterbetrieb (Gutachten/Anlagentechnik)
- Den **Betriebskosten**
- Der **Wirtschaftlichkeitserwartung** des Anlagenbetreibers (hier auch insbesondere die Amortisationszeit)

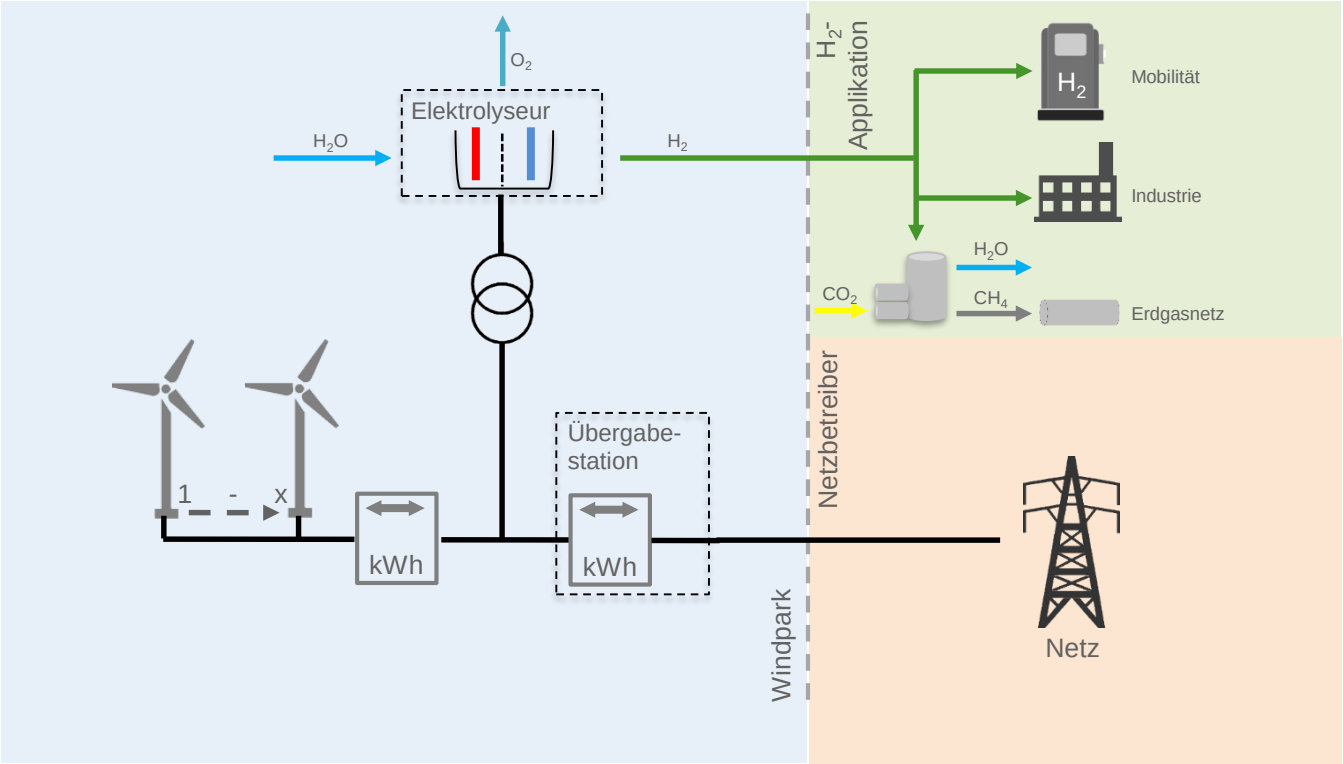
→ Die Einnahmeanforderungen für den Weiterbetrieb von Windparks liegen nach aktuellen Untersuchungen im Bereich zwischen **2,6 – 5,0 ct/kWh**. (Deutsche WindGuard)

→ Die laufenden Betriebskosten sind für die Bemessung der Einnahmeanforderungen entscheidend.

Betrieb 20+ Märkte

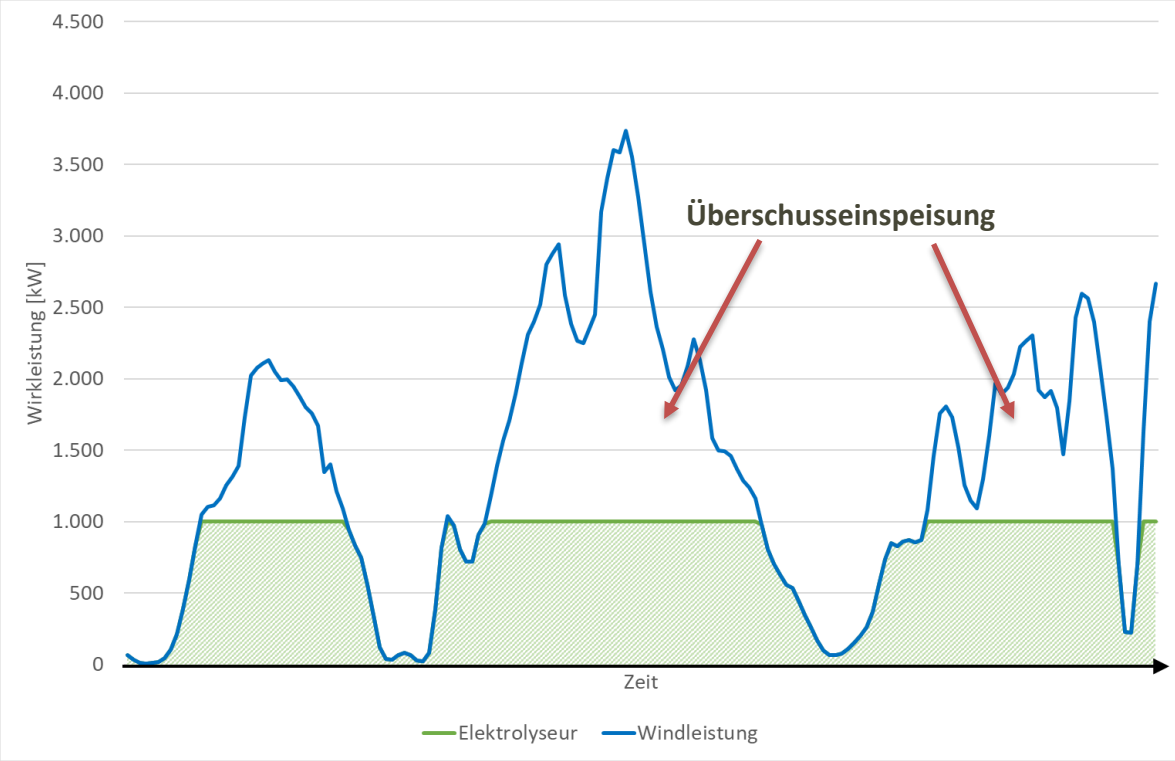


Integration eines Elektrolyseurs



- H_2-System wird in das Windparknetz integriert
- Eigenversorgungskonstellation wird hergestellt zur Einsparung von Umlagen- und Steuerbelastungen

Windstromvergütung Preisermittlung (1)



Berechnung

$EA = Pr_{WIND} * EV + Pr_{Markt} * (1 - EV)$

mit

EA = Einnahmeanforderung

Pr = Preis

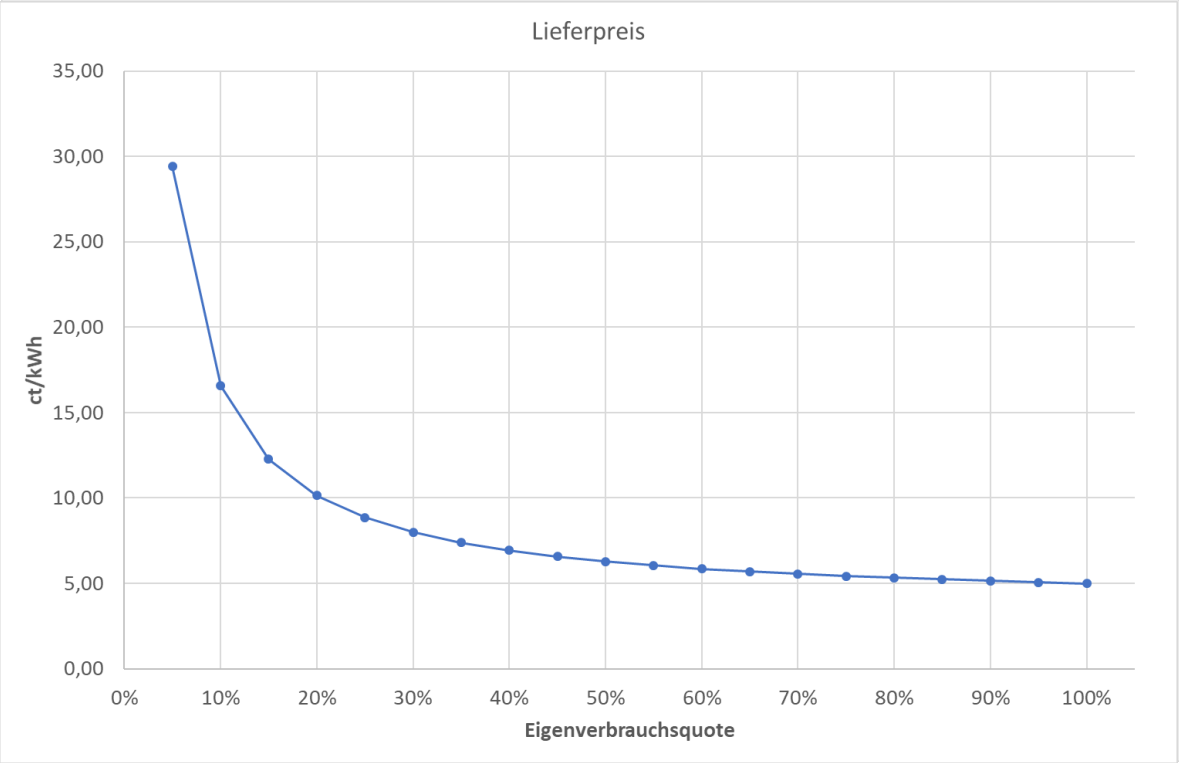
EV = Eigenverbrauchsquote

➡ $Pr_{Markt} = const.$

➡ $Pr_{WIND} = \frac{EA - Pr_{Markt} * (1 - EV)}{EV}$

RECASE® REGENERATIVE ENERGIEN

Windstromvergütung Preisermittlung (2)

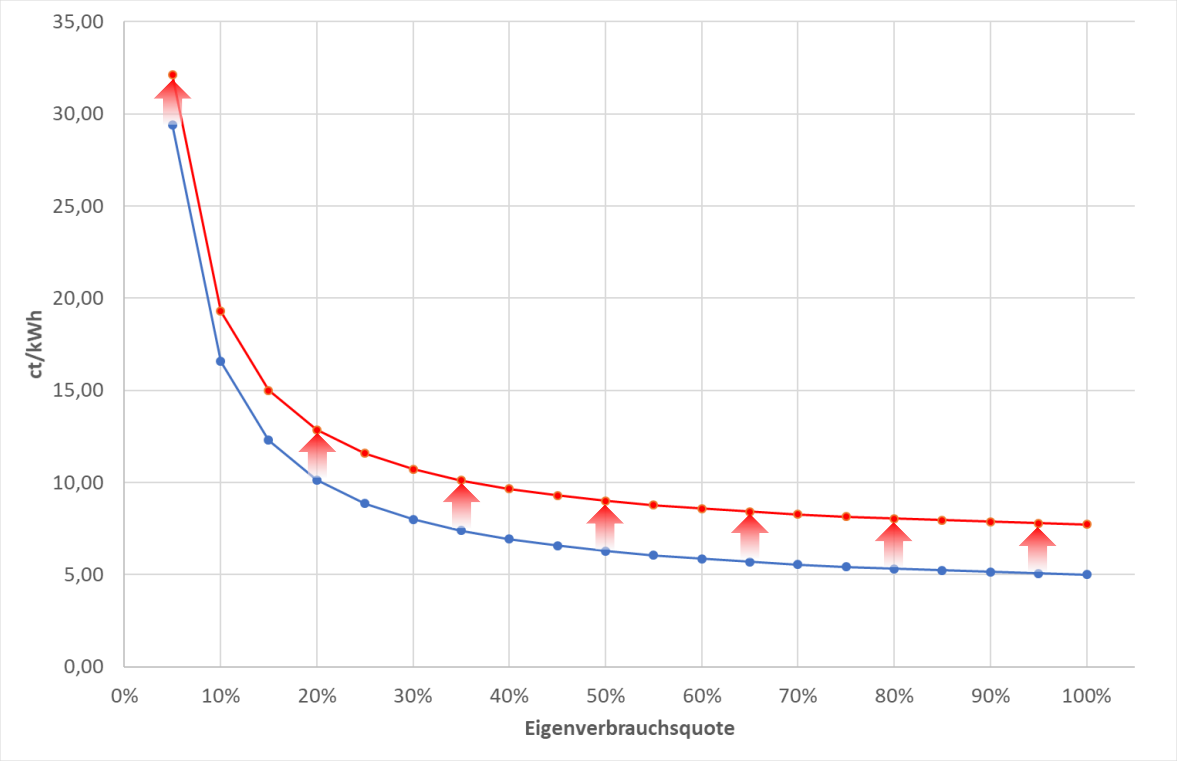


Beispiel: 7,8 MW Windpark

- EA = 5 ct/kWh
- Pr_{Markt} = 3,7 ct/kWh
  Ø Marktwert Wind (z.B. PPA)
- EV = var.

$$Pr_{WIND} = \frac{EA - Pr_{Markt} * (1 - EV)}{EV}$$

Windstromvergütung Preisermittlung (3)



Beispiel: 7,8 MW Windpark

- EA = 5 ct/kWh
- Pr_{Markt} = 3,7 ct/kWh
  Ø Marktwert Wind (z.B. PPA)
- EV = var.
- EEG-Umlage = 2,7 ct/kWh

$$Pr_{WIND} = \frac{EA - Pr_{Markt} * (1 - EV)}{EV} + EEG$$

RECASE® REGENERATIVE ENERGIEN

Praxisbeispiel Projektdaten einer H_2-Abgabestelle

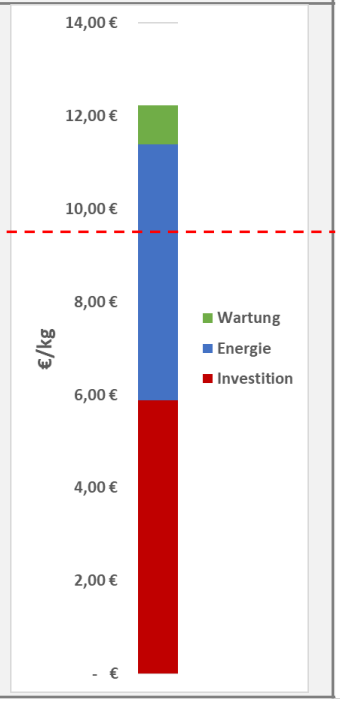
H_2-System	
Komponenten ▪ Elektrolyseur ▪ H_2-Abgabestelle ▪ Peripherie (Transformator, Leitungen, Speicher, etc.)	
Leistung Elektrolyseur	1 MW_{el}
Gelieferter Windstrom (Eigenverbrauchsquote = 50 %)	5 Mio. kWh/a
Produzierter Wasserstoff	84.000 kg/a
Betriebsmodell	Eigenversorgung

Kosten H_2-System	
Investitionskosten ▪ Elektrolyseur ▪ H_2-Abgabestelle ▪ Weiteres (Transformator, Leitungen, Speicher, Planung, etc.)	2,8 Mio. € 1 Mio. € 1,5 Mio. € 300.000 €
Laufende Kosten ▪ Wartung & Instandhaltung ▪ Energie & Betriebsstoffe	500.000 €/a 70.000 €/a 430.000 €/a

Windpark	
Installierte Leistung	7,8 MW
Energieertrag	10 Mio. kWh/a
Weiterbetriebsdauer	6 Jahre
Einnahmeanforderung	5 ct/kWh

Bild: www.freiepresse.de

Praxisbeispiel Szenarien Erzeugungskosten H_2

EV-Quote	Basis
EEG-Umlage	2,7 ct/kWh
Förderquote	0 %
Erzeugungskosten H_2	12,23 €/kg
Grafik	

Annahmen

- EA = 5 ct/kWh
- Pr_{Markt} = 3,7 ct/kWh
  Ø Marktwert Wind
- Pr_{Wind} = 6,28 ct/kWh
- EV = 50 %
- Volllaststunden
  Elektrolyse: 5.000 h

Praxisbeispiel Szenarien Erzeugungskosten H_2

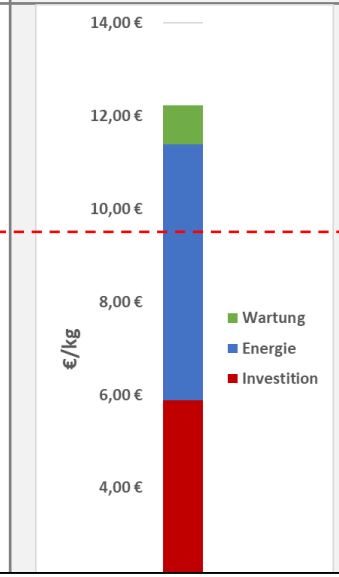
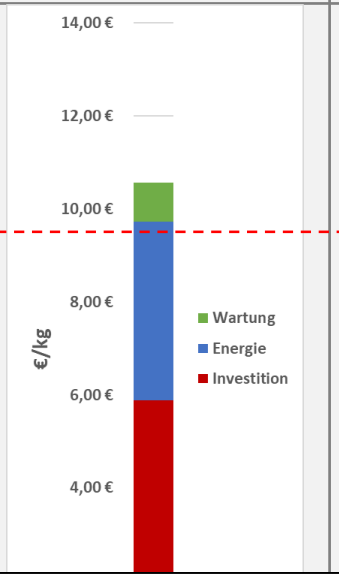
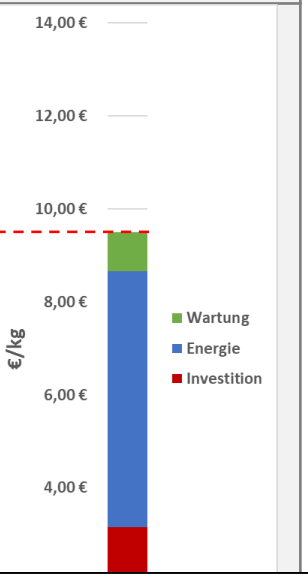
EV-Quote	Basis	Ohne EEG-Umlage
EEG-Umlage	2,7 ct/kWh	0,00 ct/kWh
Förderquote	0 %	0 %
Erzeugungskosten H_2	12,23 €/kg	10,56 €/kg
Grafik		

Zielmarke 9,50 €/kg

Annahmen

- EA = 5 ct/kWh
- Pr_{Markt} = 3,7 ct/kWh
  Ø Marktwert Wind
- Pr_{Wind} = 6,28 ct/kWh
- EV = 50 %
- Volllaststunden
  Elektrolyse: 5.000 h

Praxisbeispiel Szenarien Erzeugungskosten H_2

EV-Quote	Basis	Ohne EEG-Umlage	Inkl. Förderung
EEG-Umlage	2,7 ct/kWh	0,00 ct/kWh	2,7 ct/kWh
Förderquote	0 %	0 %	**52 %**
Erzeugungskosten H_2	12,23 €/kg	10,56 €/kg	9,50 €/kg
Grafik			

Annahmen

- EA = 5 ct/kWh
- Pr_{Markt} = 3,7 ct/kWh
  Ø Marktwert Wind
- Pr_{Wind} = 6,28 ct/kWh
- EV = 50 %
- Volllaststunden
  Elektrolyse: 5.000 h

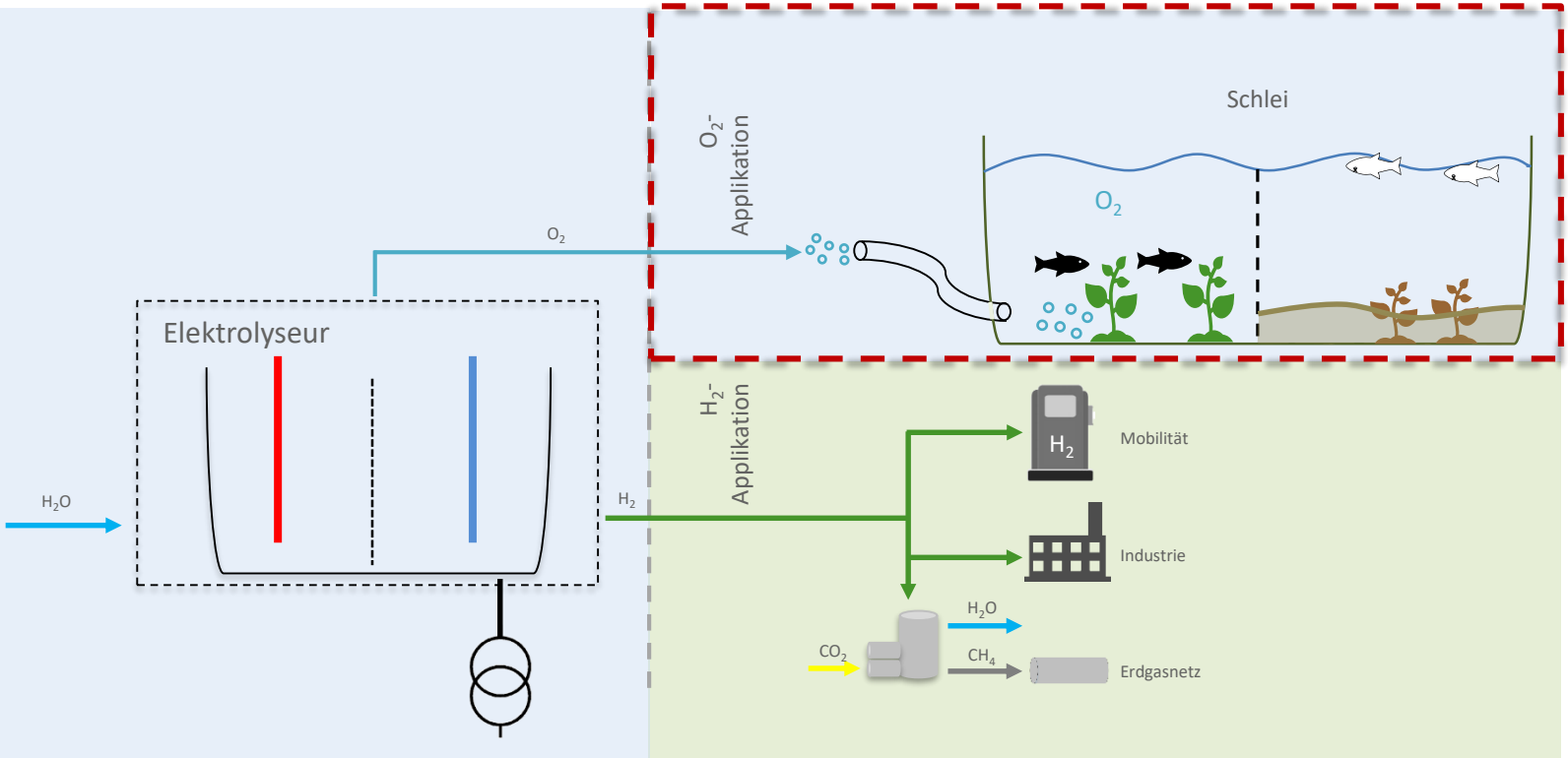
➢ Wasserstoffproduktion durch Alt-WEA ist zu **marktfähigen** Herstellungskosten ohne Förderzuschüsse derzeit **nicht möglich**.

Optimierung durch Sauerstoffnutzung

- Durch Nutzung des **Nebenprodukts** können zusätzliche Einnahmen erzielt werden
- Einnahmen ermöglichen geringere Erlösanforderung bei der Wasserstoffherstellung
- Pro kg H_2 entstehen fast 8 kg O_2
- Sauerstoff wird unter anderem in der Medizin, Industrie (Verbrennungsprozesse) und in der Umwelttechnik verwendet
- Einfachste Nutzung: Kläranlage oder Gewässer, da kaum Mehraufwand

Power-To-H_2 mit Sauerstoffnutzung

Beispiel: Sauerstoffnutzung zur Gewässeraufbereitung



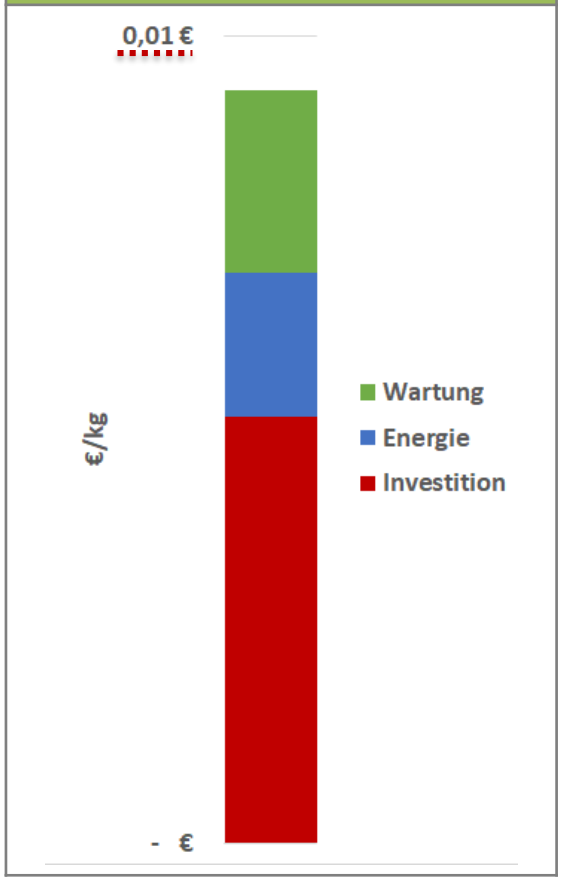
- Einleiten des Sauerstoffs in eutrophierte Gewässer zum Erreichen eines guten Gewässerzustandes gemäß Europäische Wasserrahmenrichtlinie (EU-WRRL)
- Vermeiden von Restaurierungsmaßnahmen, wie z.B. Ausbaggern oder Strafzahlungen aus EU-WRRL

Praxisbeispiel Nutzung des Sauerstoffs zur Aufbereitung der Schlei

O_2-System	
Komponenten ▪ Gebläse ▪ Leitungen ▪ Belüftungsteller	
Leistung Elektrolyseur	1 MW_{el}
Produzierter Wasserstoff	84.000 kg/a
Produzierter Sauerstoff	**665.000 kg/a**
Betriebsmodell	Eigenversorgung

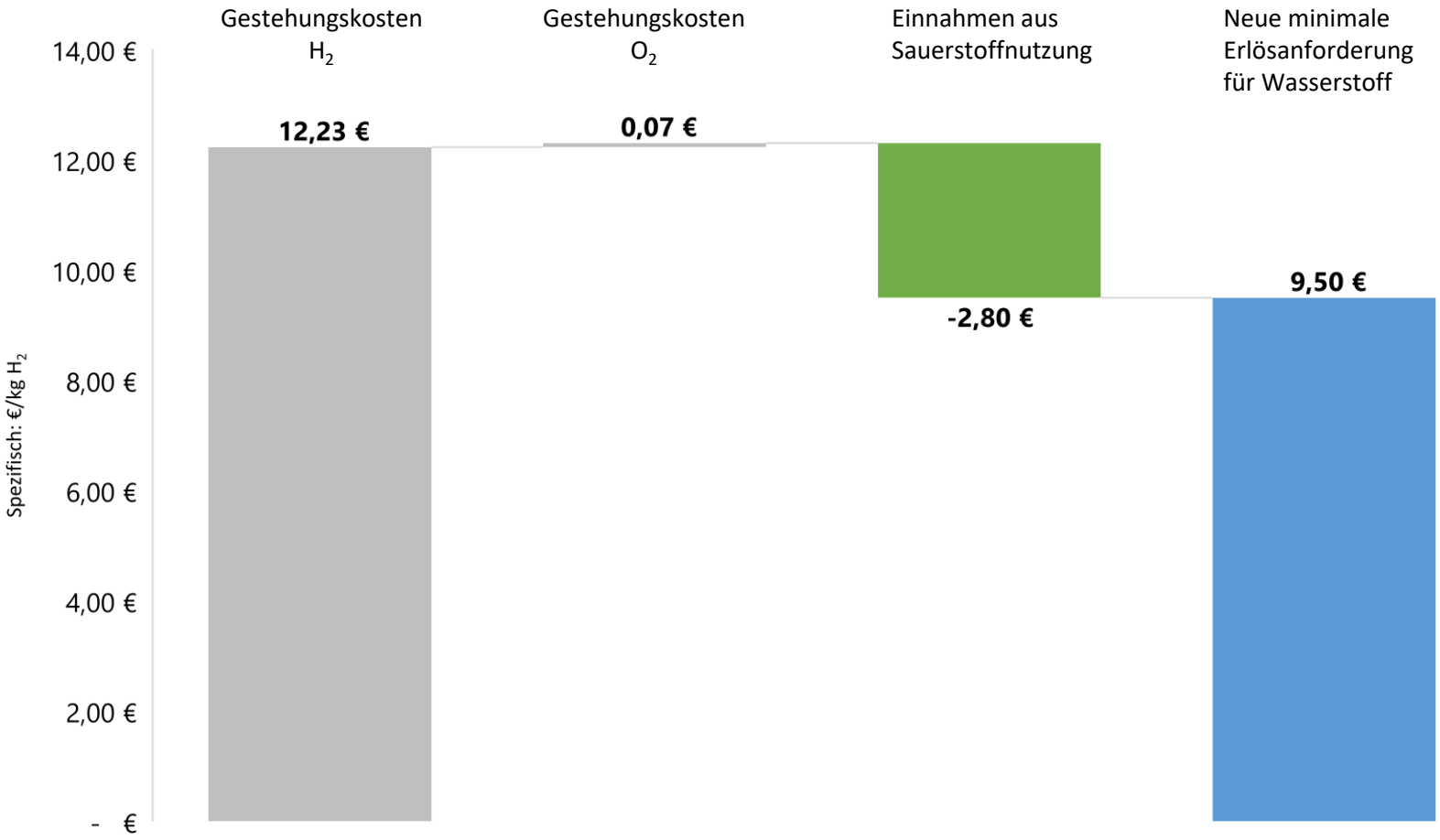
Kosten O_2-System	
Investitionskosten ▪ Gebläse ▪ Leitungen ▪ Weiteres (Belüftungsteller, Verschraubungen etc.)	20.000 € 13.500 € 5.000 € 1.500 €
Laufende Kosten ▪ Wartung & Instandhaltung ▪ Energie & Betriebsstoffe	2.700 €/a 1.500 €/a 1.200 €/a

O_2-Gestehungskosten



Sauerstoffvertrieb zum Preis von **0,36 €/kg**

Einfluss der Sauerstoffnutzung auf die Wasserstoffkosten im Basisszenario

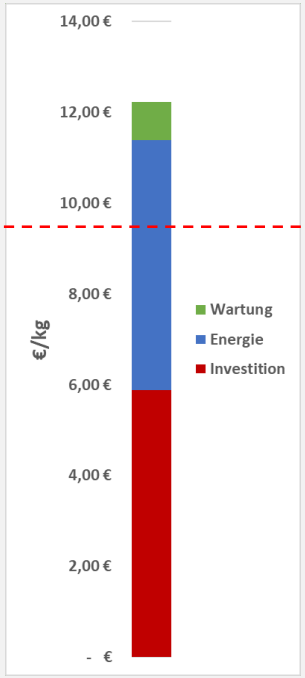


Praxisbeispiel Szenarien Erzeugungskosten H_2

EV-Quote	Basis
EEG-Umlage	2,7 ct/kWh
Förderquote	0 %
Erzeugungskosten H_2	12,23 €/kg
Grafik	

Zielmarke 9,50 €/kg

Praxisbeispiel Szenarien Erzeugungskosten H_2

EV-Quote	Basis	Mit Sauerstoffnutzung
EEG-Umlage	2,7 ct/kWh	2,7 ct/kWh
O_2-Preis/kg		0,36€/kg
Erzeugungskosten H_2	12,23 €/kg	9,50 €/kg
Grafik		

Zielmarke 9,50 €/kg

Inhalt

- RECASE
- Power-To-H_2
- Fazit

Fazit

- Fördernde Faktoren für einen wettbewerbsfähige H_2-Erzeugung sind:
  - Geringe Einnahmeanforderungen (< 4 ct/kWh)
  - Lange Weiterbetriebslaufzeiten (> 6 Jahre)
  - Hohe Auslastung des Elektrolyseurs (= große H_2-Nachfrage)

- Hohe Investitionskosten haben eine abschreckende Wirkung.

- Die EEG-Umlage erschwert die wettbewerbsfähige Herstellung von H_2 erheblich.

- Die Nutzung des Sauerstoffs kann die Wirtschaftlichkeit des Elektrolyseurs erheblich positiv beeinflussen

RECASE®
REGENERATIVE ENERGIEN

Vielen Dank!

RECASE Regenerative Energien GmbH · Alte Landstraße 1 · 24866 Busdorf · T: +49 (0) 4621 4216 640 · M: +49 (0) 1 62 - 910 62 55 · E-Mail: info@recase.de