VORZEIGEREGION ENERGIE

WIVA P&G Energy Model Region

H2PIONEER

H2Pioneer Projektüberblick
WIVA-Jahresveranstaltung 17.10.2022

Dieter Kolhanek - VERBUND
Michael Richter – HyCentA
Darja Markova – EI-JKU

Motivation VERBUND

Verbund

Vom Grünstrom zu grünem Wasserstoff

VERBUND verlängert die Wertschöpfungskette und wird zum ganzheitlichen Dekarbonisierungspartner

Grüner Strom

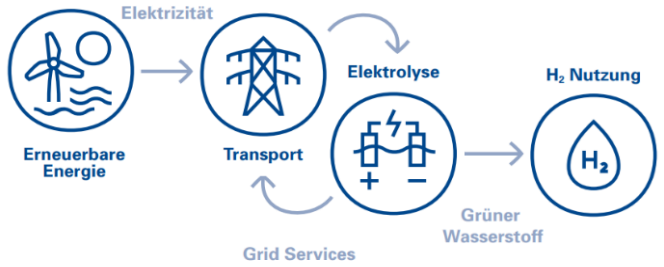
~97%
Erzeugung aus erneuerbaren Energien

bis zu ¼ **der Gesamt-erzeugung**
aus Wind/PV bis 2030

129
Wasserkraftwerke über 8.300 MW

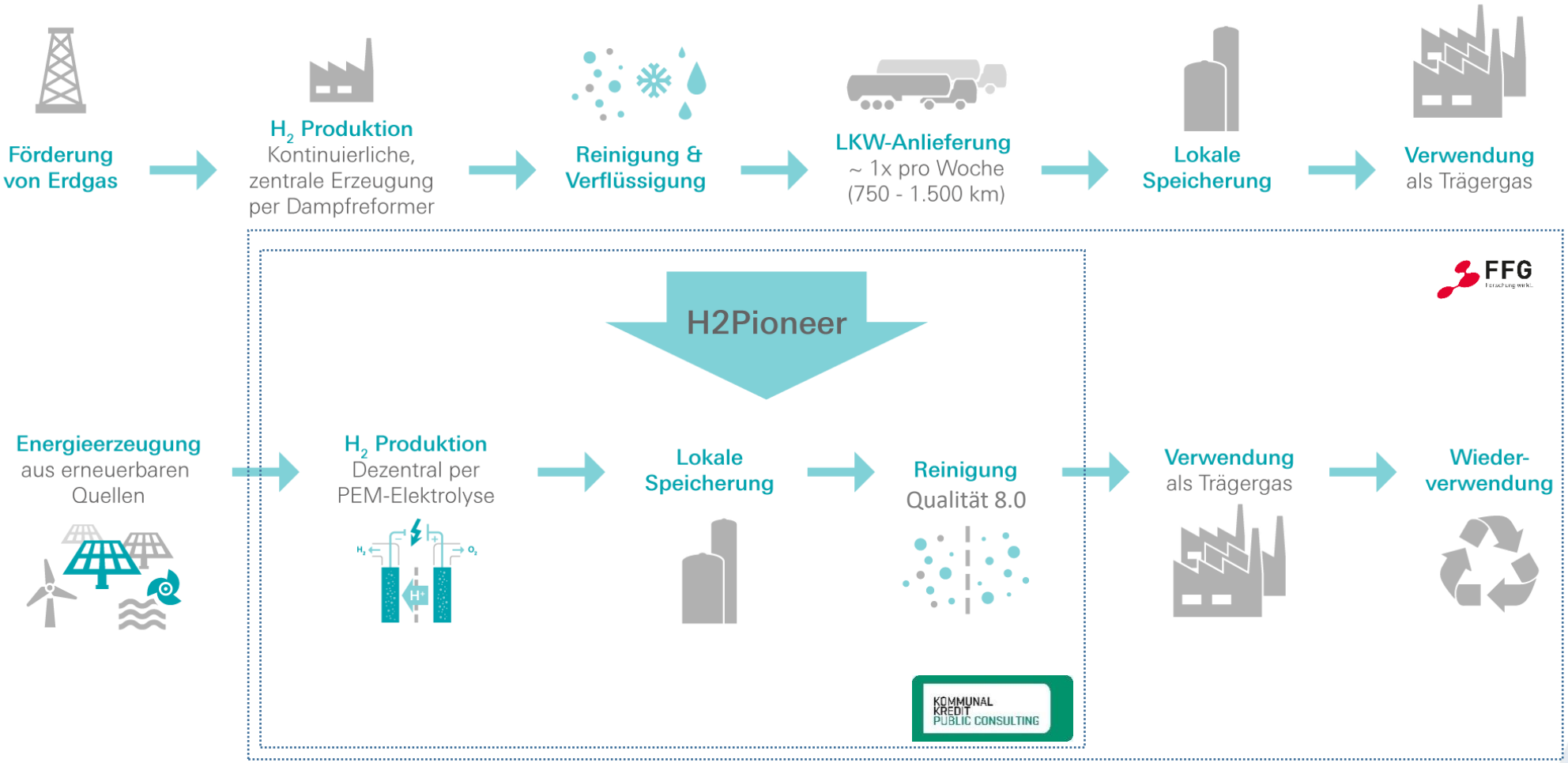
Grüner Wasserstoff

Wasserstoff als Teil der Lösung für:
- **Ausstieg aus der Abhängigkeit** fossiler Energiequellen
- Erreichung ambitionierter **Klimaziele**
- **Dekarbonisierung** für eine saubere Energiezukunft



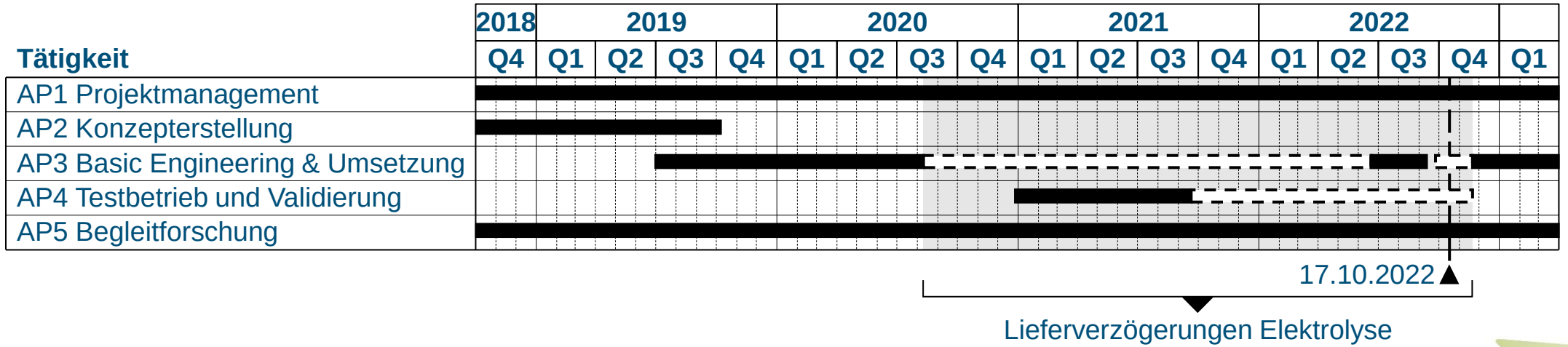
Einsatz von grünem Wasserstoff insbesondere in **Hard-to-Abate-Sektoren**, in denen einen direkte Elektrifizierung nicht möglich ist, wie z.B.
- Stahlindustrie,
- (Petro-)Chemie und
- Teilbereiche der Mobilität (Schwertransport)

Überblicksgrafik



Projektüberblick

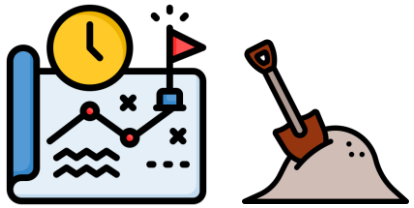
Konsortialführung: Dieter Kolhanek | VERBUND
Dauer: 01.10.2018 – 31.03.2023
Forschungsförderung: ~346 k€
Investförderung: ~1,6 M€



Dieses Projekt wird aus Mitteln des Klima- und Energiefonds gefördert und im Rahmen des Programms Vorzeigeregion Energie durchgeführt.

Projektinhalte

- **Konzept, Planung, Errichtung, Inbetriebnahme und Auswertung des Betriebsergebnisse der Demonstrationsanlage zur Wasserstofferzeugung (KPC-Förderung)**

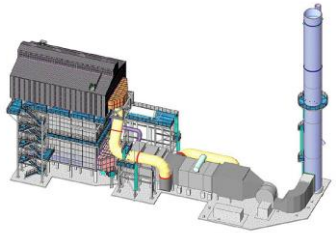


- **Reduzierung der H2-Gestehungskosten durch Speicherbewirtschaftung**
  - Bereitstellung netzdienlicher Leistungen
  - Beschaffungsstrategien am Strommarkt

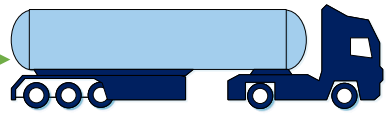
- **Entwicklung des bestgeeigneten Konzepts für die Verwertung des bis dato ungenützten Wasserstoffs**

Halbleiterproduktionsprozess bisher

H_2-Produktion mittels Dampfreformierung

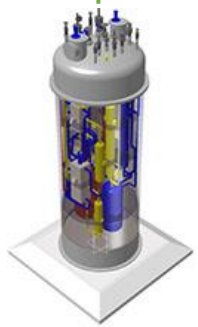


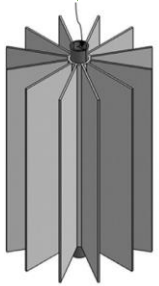
H_2-Transport via Flüssigtrailer



H_2 7.0

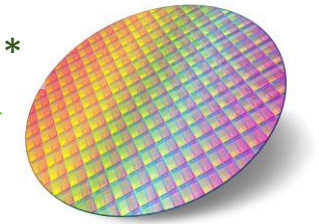
H_2 5.0*





Epitaxie-Prozess

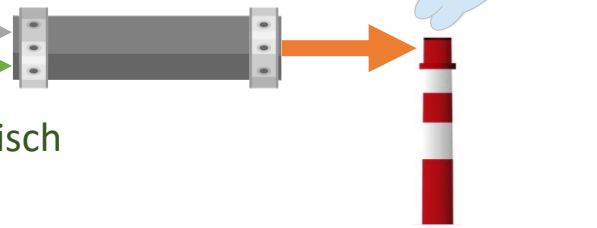
H_2 8.0**



H_2-Verdampfung

H_2-Reinigung und Verflüssigung

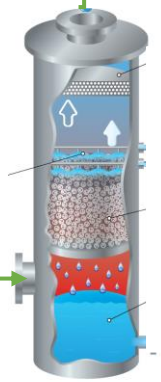
Luft



H_2/N_2-Gemisch

Verdünnung mit Luft
+ Abgabe an Umgebung

H_2/N_2+Dotierstoffe



Reinigung des Abgases

* 5.0 = 99,999 %
** 8.0 = 99,999999 %

powered by klima+ energie fonds

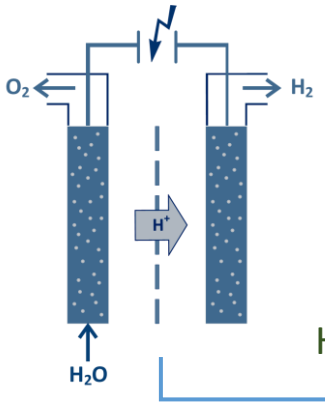
VORZEIGEREGION ENERGIE

FFG Promoting Innovation.

Halbleiterproduktionsprozess neu

WIVA P&G Energy Model Region

H2PIONEER



H_2-Produktion mittels Elektrolyse

H_2 5.0

H_2-Rezyklierung

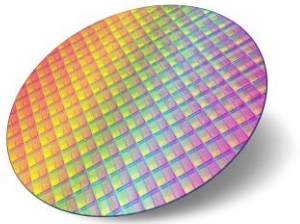
H_2 5.0

2. Reinigungsstufe

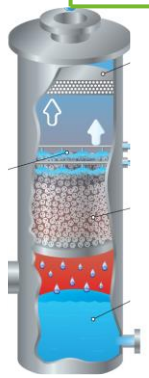
H_2 8.0

Kryogene Reinigung

Epitaxie-Prozess

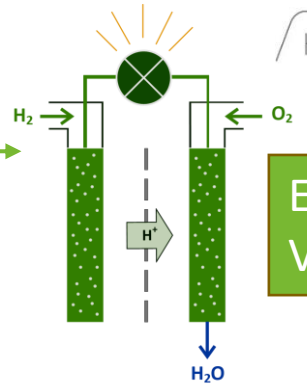


H_2/N_2+Dotierstoffe



1. Reinigungsstufe

H_2 5.0



Energetische Verwertung in BZ

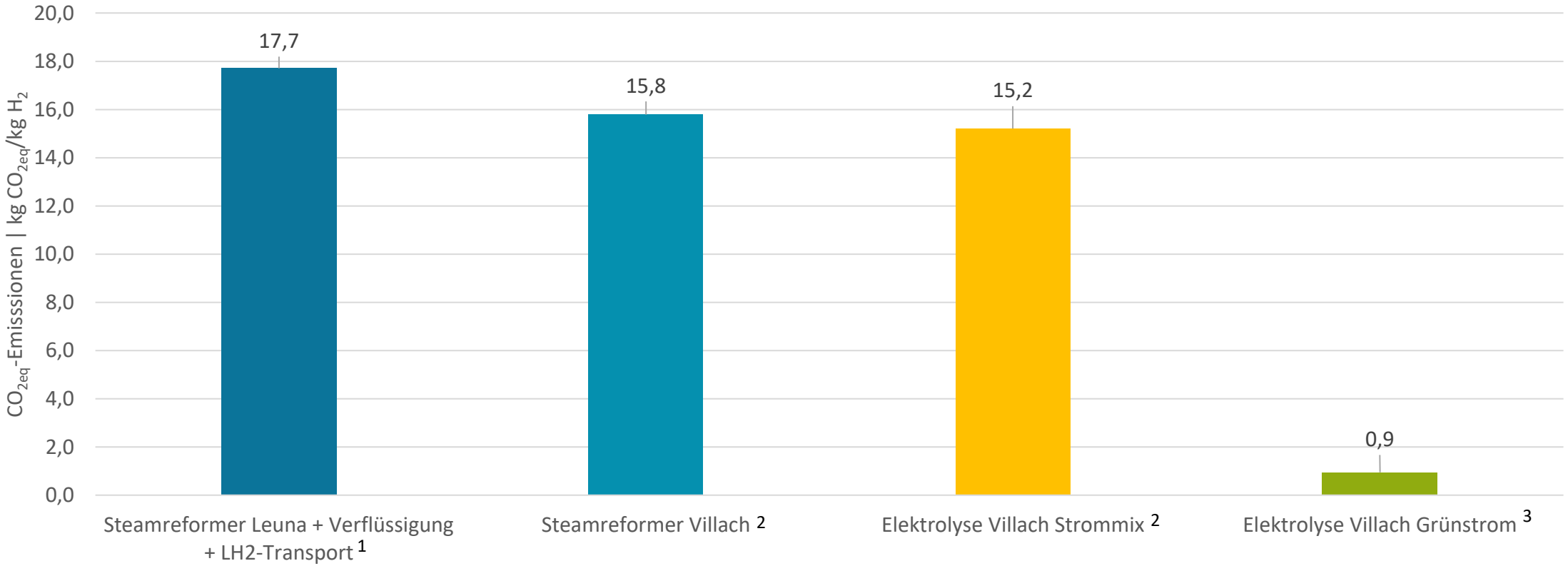
Versorgung lokaler BZ-Busflotte

H_2/N_2-Gemisch

Energetische Verwertung in VKM

powered by klima+ energie fonds
VORZEIGEREGION ENERGIE
FFG Promoting Innovation.

THG-Emissionen - Herstellungsvarianten



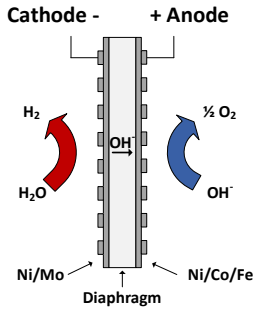
Emissionsdaten:

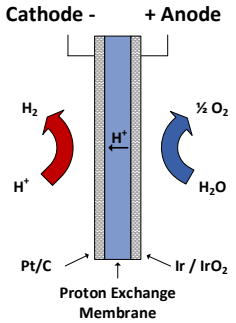
[1] **Umweltbundesamt Deutschland:** Strommix 474 g CO_{2eq}/kWh, Erdgas 201 g CO_{2eq}/kWh
[2] **Umweltbundesamt Österreich:** Strommix 258 g CO_{2eq}/kWh, Diesel 0,97 g CO_{2eq}/Fzkm
[3] **Umweltbundesamt Österreich:** zertifizierter grüner Strom 16 g CO_{2eq}/kWh

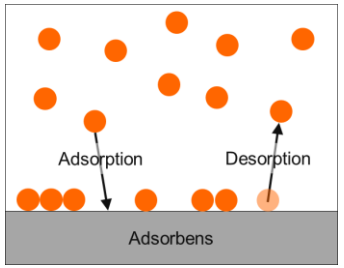
Energiebilanz:

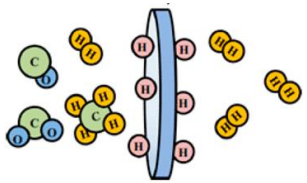
Steamreformer: 58 kWh CH_4/kg H_2
Verflüssigung: 12 kWh/kg H_2
Transport: 32 l Diesel/100 km, 728 km
Elektrolyse: 59 kWh/kg H_2

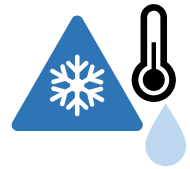
Technologievergleich – Elektrolyse & Aufreinigung







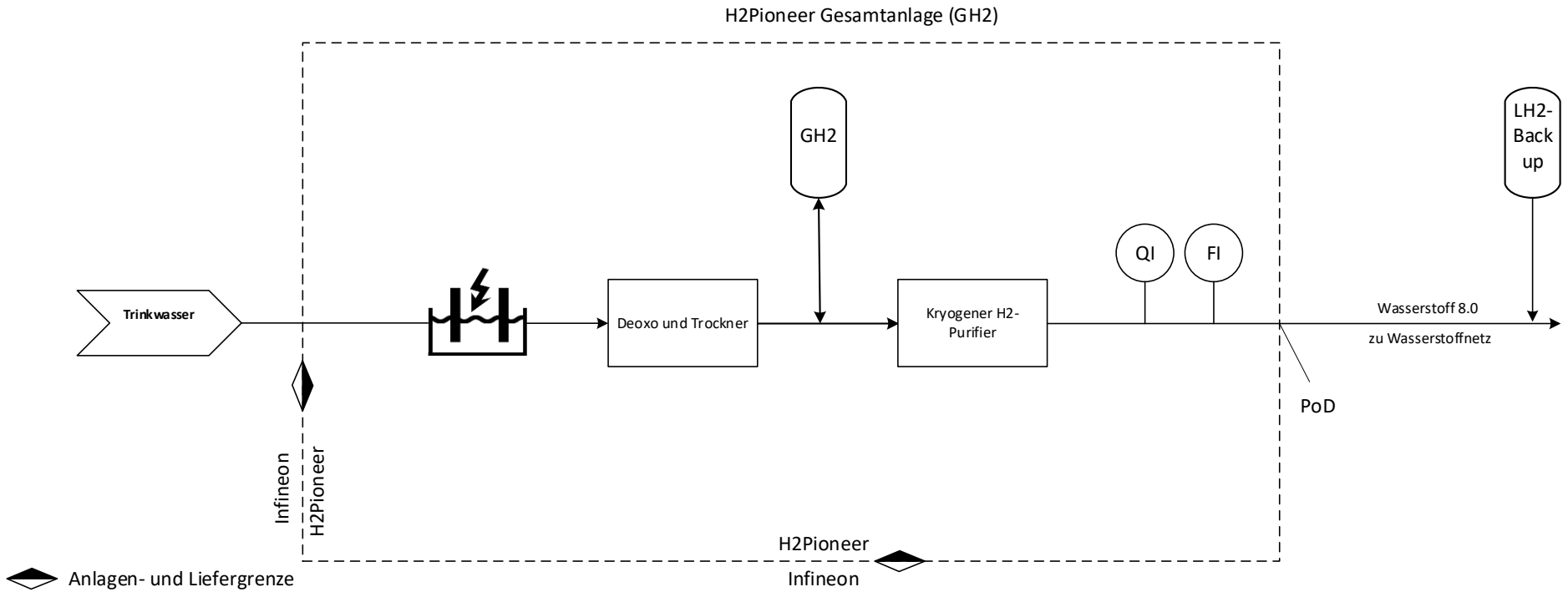




	AEL	PEMEL	Adsorber - Getter	Pd-Membran	Kryo-Reiniger
Fläche:	90 – 200 m²	**70 – 110 m²**			
Teillast:	17 %	**5%**			
CAPEX:	**0,8 M€/MW**	1,4 M€/MW			
Reinheit:	3.0-4.0	**4.8-5.5**			
Reinheit IN:			5.0-6.0	3.5 / kein S	5.0
Reinheit AUS:			**9.0**	**9.0**	**9.0**
CAPEX:			490 k€ / 400 Nm³	1,8 – 2,5 M€ / 400 Nm³	**420 k€ / 400 Nm³**
OPEX:			Adsorber-Bett-Tausch: 244 k€/a	k.A. dp >> 1 bar	**LN_2: 66 k€/a**

Anlagenkonzept

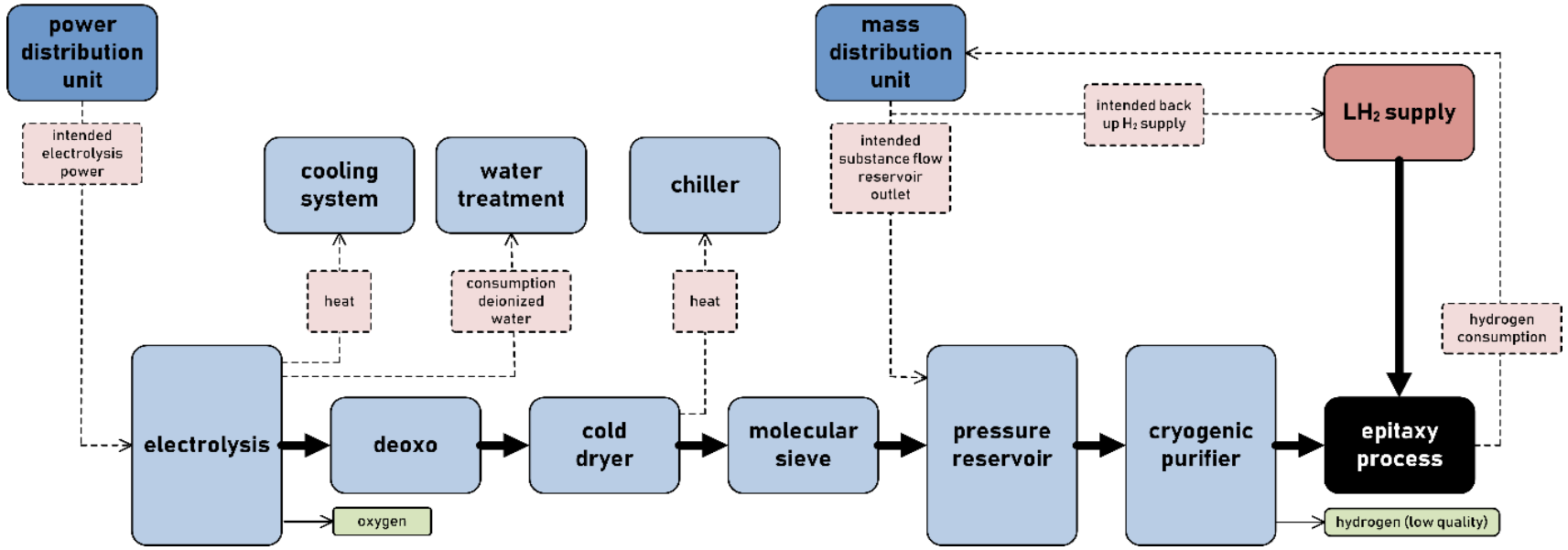
Elektrische Energie	Elektrolyse	ND-Speicher	Kryoreiniger	Gasanalyse	LIN	GAN
Mittelspannung Niederspannung	400 Nm³/h 36 kg/h P = 20 bar(ü)	$\dot{V}_{H2}$ = 115 m³ $\dot{m}_{H2,\ gesamt}$ = 194 kg $m_{H2,\ nutzbar}$ = 147 kg p = 20 bar(ü)	Reinheit Eingang 5.0 Reinheit Ausgang 8.0	H2O 0-1000 ppb O2 250-1000 ppb CO2, CO, CH4, N2 0-1000 ppb		



Simulationsmodell Erzeugungsanlage

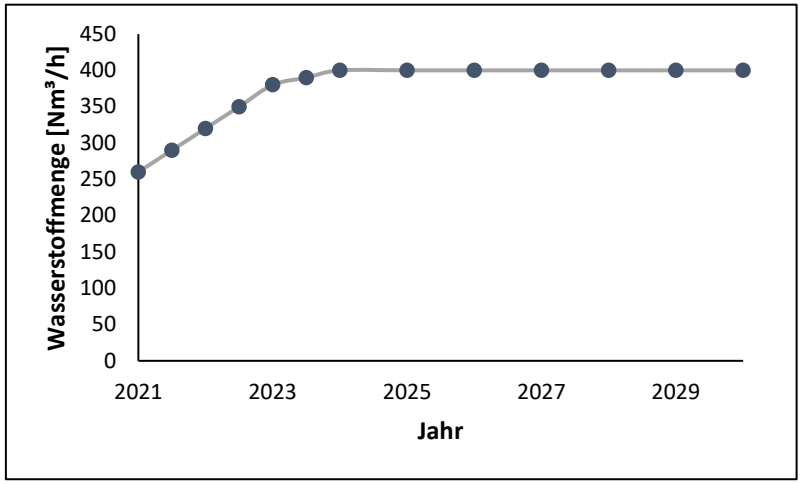
Ziel:

- Untersuchung von **Anlagenkonfigurationen und Betriebsparametern** hinsichtlich Wirtschaftlichkeit
- Untersuchung ausgewählter Anlagenkonfiguration hinsichtlich **Energie-** (Stromverbrauch) und **Massenströme** (Durchfluss, Reinheit, etc. an verschiedenen Positionen der Anlage)

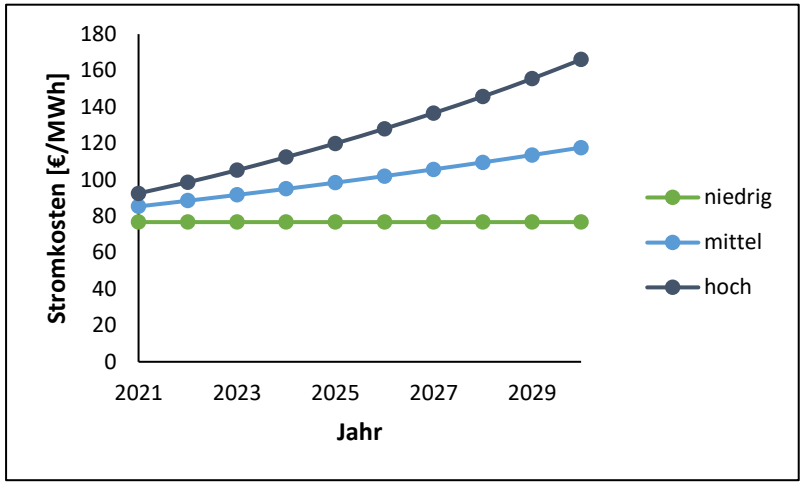


Betrachtungszeitraum
10 Jahre

Bedarfsprofil des Epitaxie-Prozesses



Strompreisentwicklung

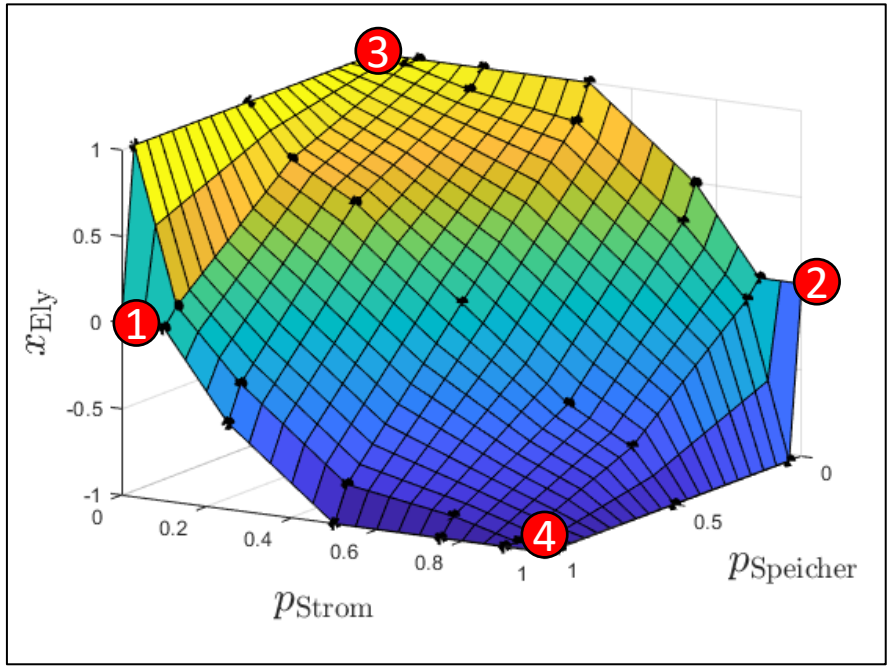


- **getrennte Simulation der Jahre 2021 bis 2024 (Auflösung 1 Hz)**
- **Hochrechnung der Jahre 2025 bis 2030**

- **<u>Dynamische Wirtschaftlichkeitsberechnung</u> laut ÖNORM M 7140:2013-07-01**
  - Kapitalgebundene Kosten
  - Betriebsgebundene Kosten
  - Verbrauchsgebundene Kosten

Parametervariation
Betriebsweise

- **Konstanter Speicherstand**
  Regelung des Speicherstandes mithilfe eines PI-Reglers auf eingestellten Soll-Wert
- **Strompreisgeführt**
  Ermittlung der Produktionsmenge als Funktion von aktuellem Strompreis und aktuellem Speicherstand



1 : Bedarf

2 : Bedarf

3 : Volllast

4 : kein Betrieb

Variation der Elektrolyse-Größe:

2 MW **4 MW**

Variation der Speichergröße:

95 m³ **190 m³**

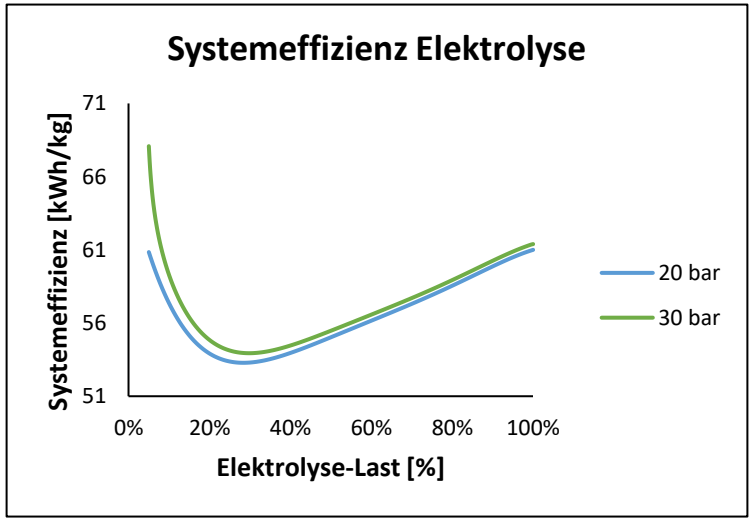
Insgesamt **30** verschiedene **Parameterkombinationen**

Ergebnisse
Strompreisführung vs. Wirkungsgrad (1)

2 Effekte:

- **Strompreisoptimierung:** Produktion möglichst dann, wenn Strom billig
- **Systemeffizienz:** am höchsten bei ca. 30 %

→ **Strompreisführung** und **Wirkungsgradverlauf** können **nicht unabhängig voneinander** ausgenutzt werden.



Beispiel: Strompreisführung mit engem Betriebsbereich
(Produktion möglichst nur bei „sehr niedrigem“ Strompreis)

→ bei etwas höheren Strompreisen keine Produktion, bei sehr niedrigen Preisen volle Produktion

→ umso enger der Betriebsbereich, desto mehr Verschiebung Richtung 0/1-Betrieb

→ Wirkungsgrad bei Volllast deutlich geringer als bei Teillast

→ durchschnittlicher Wirkungsgrad sinkt

Ergebnisse
Strompreisführung vs. Wirkungsgrad (2)

Effekte der Strompreisführung und Wirkungsgradverlauf heben sich gegenseitig auf

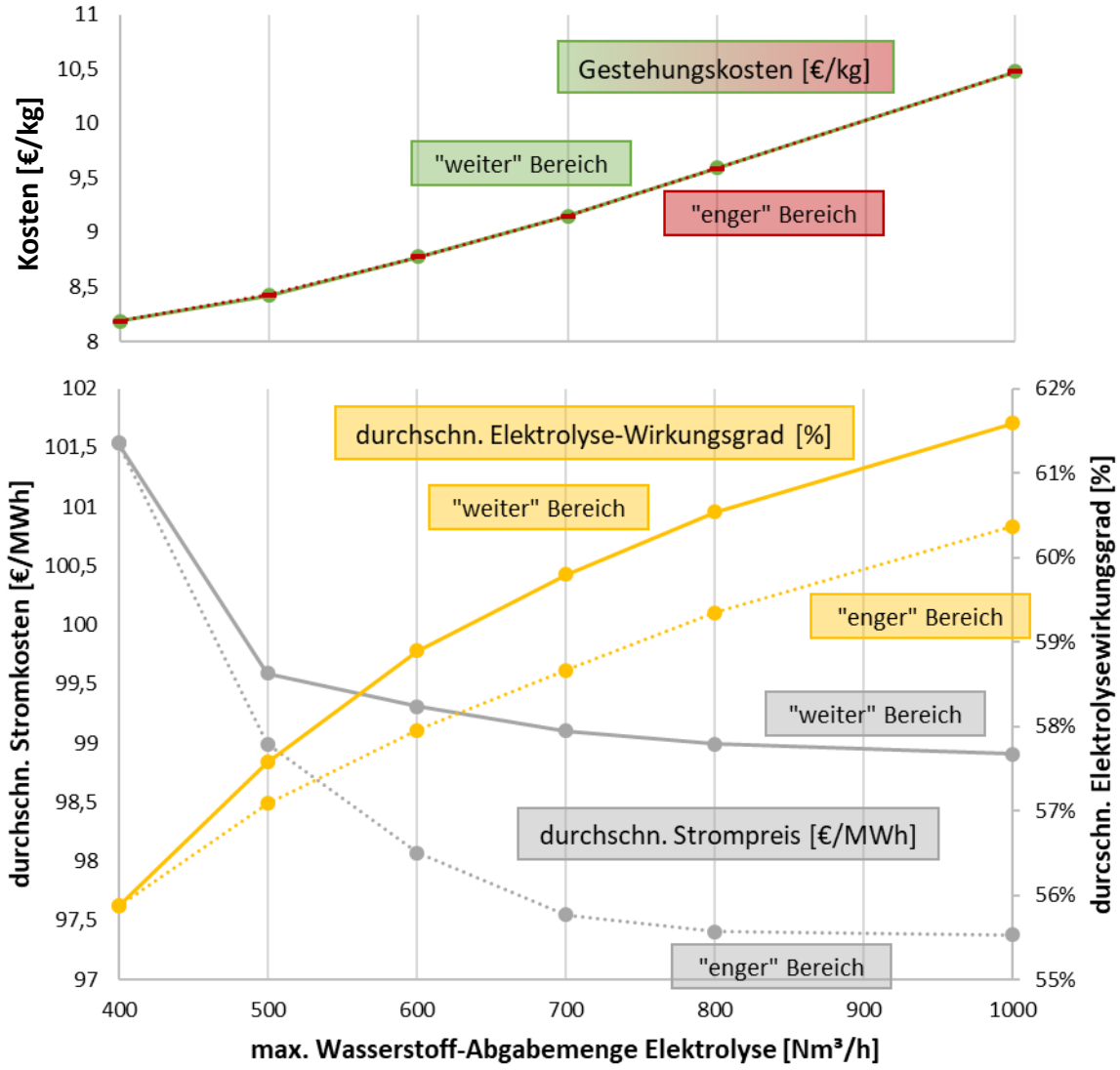
Anlagenüberdimensionierung

→ Verschiebung in den Teillastbereich
→ **Einsparungen im Betrieb**

Gestehungskosten in Euro je kg

Strompreisszenario		
niedrig	mittel	hoch
7,00 €/kg	8,20 €/kg	9,50 €/kg

Strompreise: 2020



powered by klima+ energie fonds
VORZEIGEREGION ENERGIE
FFG Promoting Innovation.

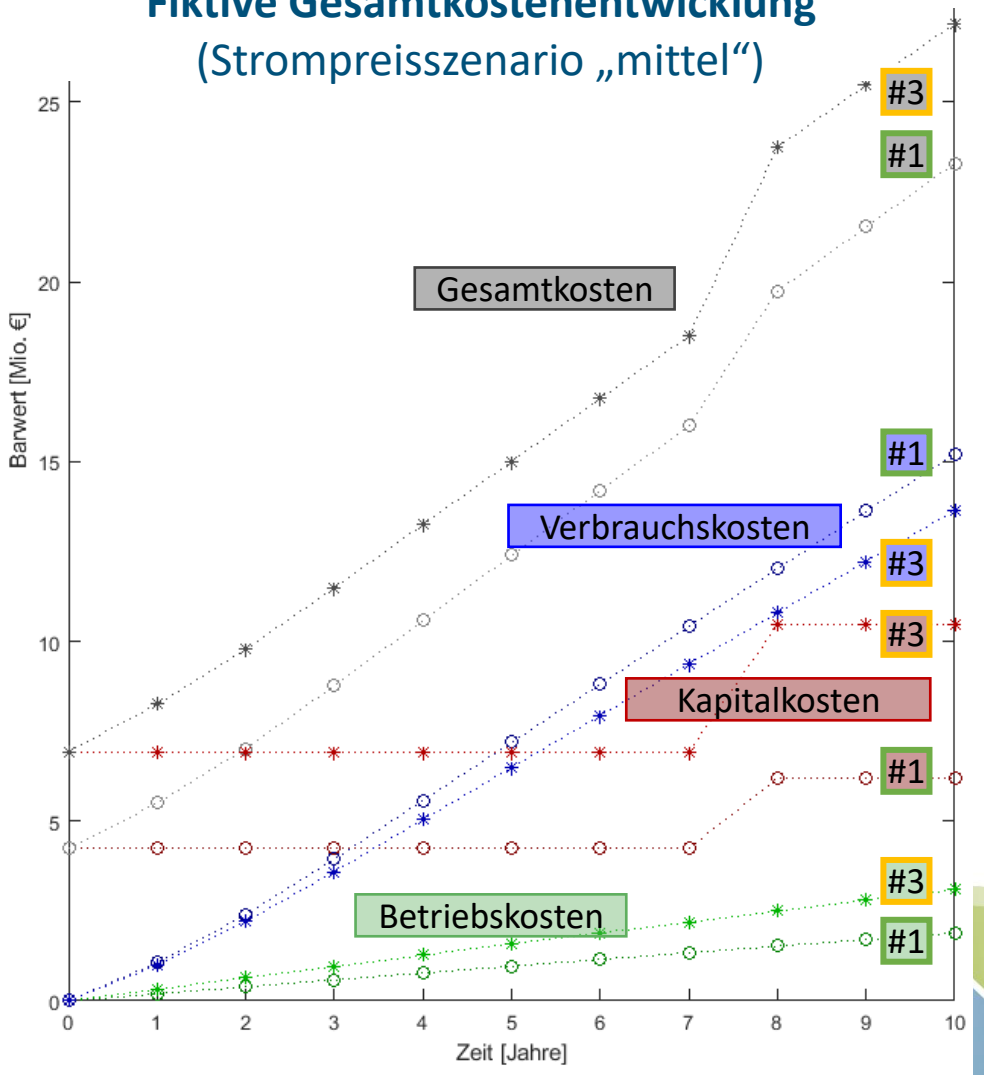
Ergebnisse
#1 Strompreisführung vs. #3 Bedarfsgeführter Betrieb

Einsparung der Verbrauchskosten (ohne Kapital- und Betriebskosten) über 10 Jahre

	Strompreisszenario		
	niedrig	mittel	hoch
#2 gegenüber #1	27 000 €	50 000 €	83 000 €
#3 gegenüber #1	1 172 000 €	1 570 000 €	2 027 000 €
#4 gegenüber #1	37 000 €	61 000 €	96 000 €
#5 gegenüber #1	1 233 000 €	1 656 000 €	2 148 000 €

#1	Konstanter Speicherstand	2 MW	1 Speicher = 95 m³
#2	Strompreisgeführt	2 MW	1 Speicher = 95 m³
#3	Strompreisgeführt	4 MW	1 Speicher = 95 m³
#4	Strompreisgeführt	2 MW	2 Speicher = 190 m³
#5	Strompreisgeführt	4 MW	2 Speicher = 190 m³

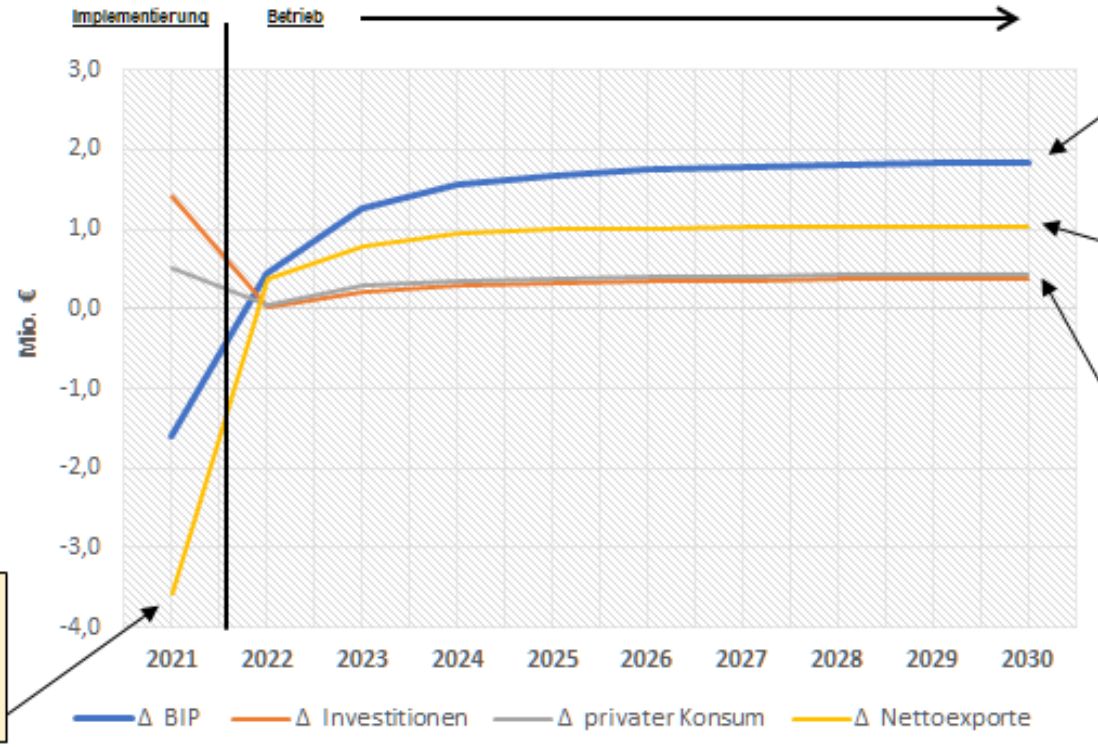
Fiktive Gesamtkostenentwicklung
(Strompreisszenario „mittel“)



powered by klima+ energie fonds
VORZEIGEREGION ENERGIE
FFG Promoting Innovation.

Simulation H_2-Anlage – Makroökonomische Analyse

Effekte der H_2-Produktion im Zeitverlauf 2021-2030



BIP_{2030}:
+1,8 Mio €

Nettoexporte (Leistungsbilanz): **Direkte positive** Effekte durch **Substitution von H_2-Importen**

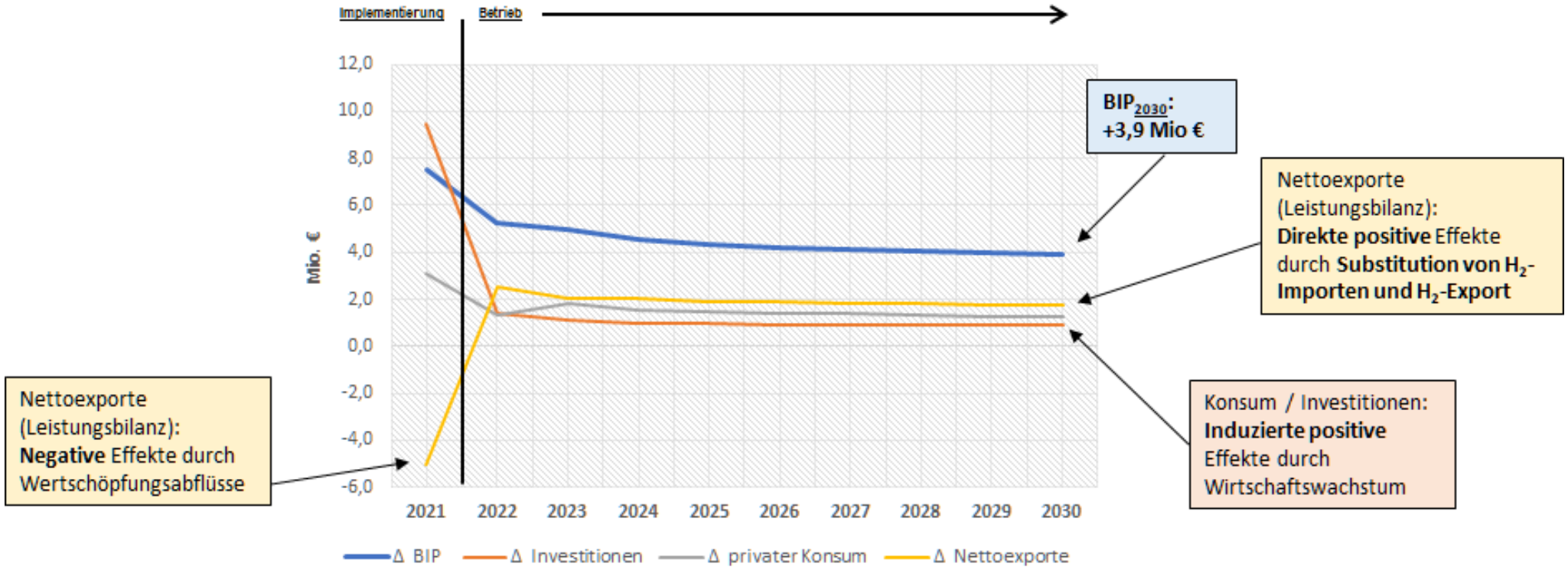
Konsum / Investitionen: **Induzierte positive** Effekte durch Wirtschaftswachstum

Nettoexporte (Leistungsbilanz): **Negative** Effekte durch Wertschöpfungsabflüsse

Anmerkung: Inklusive Mehrundereffekte. Konsum der privaten Haushalte = energetische + nicht-energetischer Konsum. Nettoexporte = (energetische + nicht-energetische) Exporte - (energetische + nicht-energetische) Importe
Quelle: Eigene Berechnungen anhand des Simulationsmodells MOVE2, Linz, Dezember2020

Simulation Rezyklierung

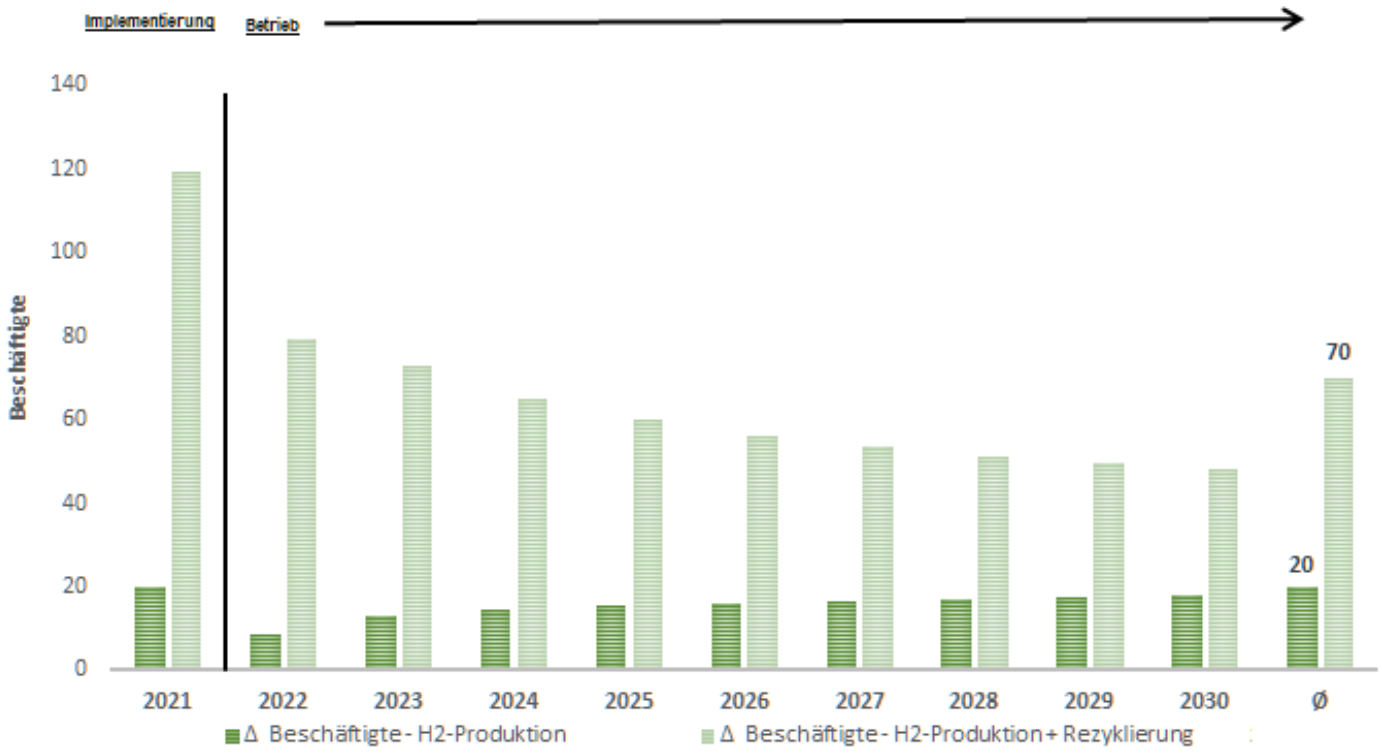
Effekte der H_2-Produktion & -Rezyklierung im Zeitverlauf 2021-2030



Anmerkung: Inklusive Mehrundeneffekte. Konsum der privaten Haushalte = energetische + nicht-energetischer Konsum. Nettoexporte = (energetische + nicht-energetische) Exporte - (energetische + nicht-energetische) Importe
Quelle: Eigene Berechnungen anhand des Simulationsmodells MOVE2, Linz, Dezember2020

Simulation H_2-Anlage – Makroökonomische Analyse

Beschäftigungseffekte H_2-Produktion exkl. /inkl. Rezyklierung



Beschäftigungseffekte sind abhängig von
- Investitionen in 2021
- Wirtschaftswachstum bis 2030

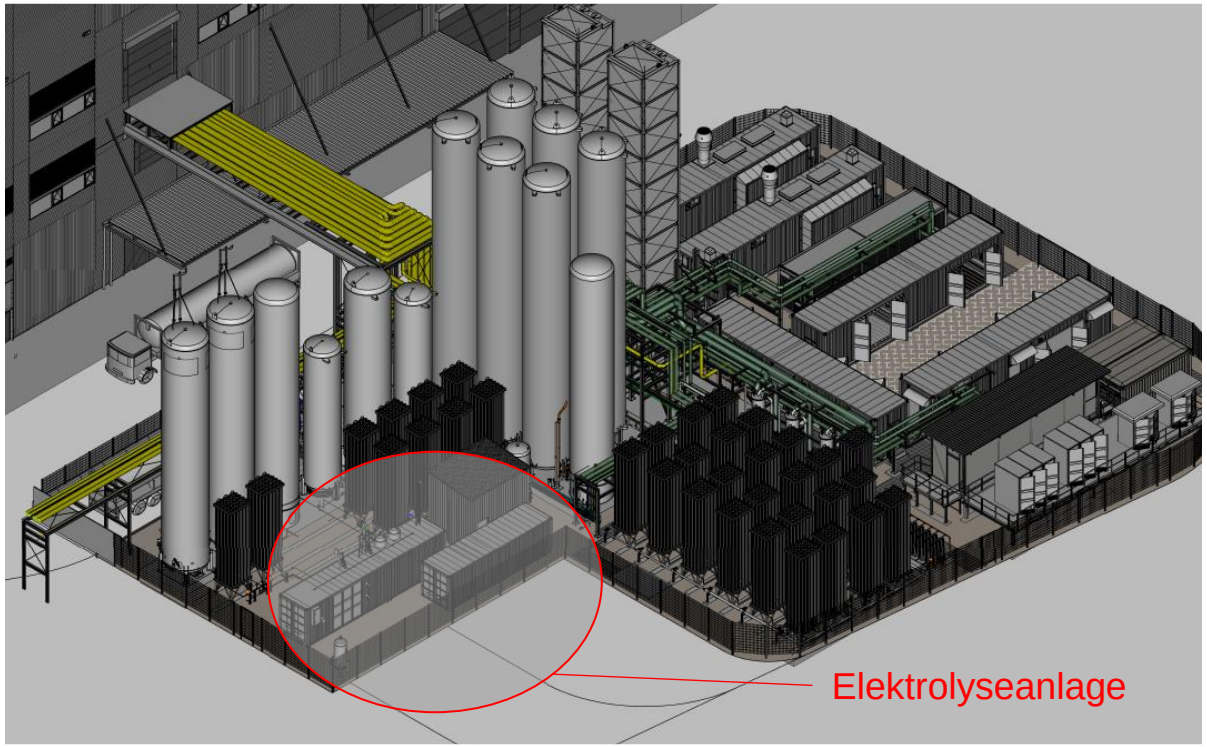
Höhere Beschäftigungseffekte durch zusätzliche Rezyklierung!

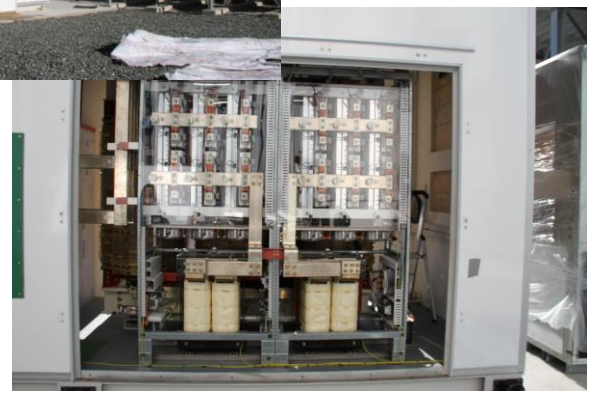
Quelle: Eigene Berechnungen anhand des Simulationsmodells MOVE2, Linz, Dezember2020

Simulation H_2-Anlage – Makroökonomische Analyse

- Die Umsetzung des H_2PIONEER-Konzeptes hat **positive Auswirkungen auf das Bruttoinlandsprodukt und die Beschäftigung**.
  - Zentrale Treiber sind H_2-Produktion und mögliche - Rezyklierung und daraus resultierende
    - **Investitionsimpulse**
    - **heimische Wertschöpfung** und **Substitution von H_2-Importen**
    - sowie **Multiplikatoreffekte** (induzierter Konsum / Investitionen).
  - Z**usätzliche** H2-Rezyklierung könnte zu **höheren volkswirtschaftlich positiven Effekten führen**.
  - Je **höher** der **H_2-Importpreis** und der **inländische Wertschöpfungsanteil** der Technologiekomponenten desto **positiver** sind die Effekte.
  - **Hohe Importquoten** für den benötigten Strom sowie **hohe Stromspotmarktpreise** können die volkswirtschaftlich positiven Effekte mindern.

Anlagenerrichtung





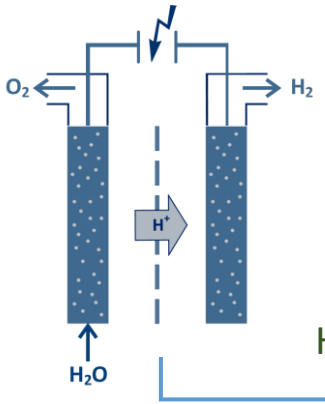
2018	2019				2020				2021				2022				2023			
Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4
Einreichung									1. Laufzeitverlängerung				2. Laufzeitverlängerung				?			

17.10.2022 ▲ ▲ Ende aktuell

Verzögerung Anlieferung Elektrolyseur

H_2-Wiederverwertungsmöglichkeiten

WIVA P&G Energy Model Region
H2PIONEER



H_2-Produktion mittels Elektrolyse

H_2 5.0

H_2-Rezyklierung

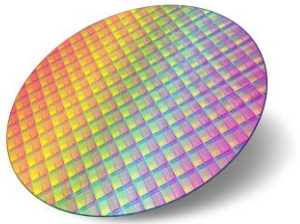
H_2 5.0

2. Reinigungsstufe

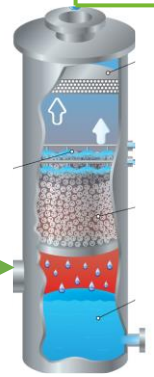
H_2 8.0

Kryogene Reinigung

Epitaxie-Prozess

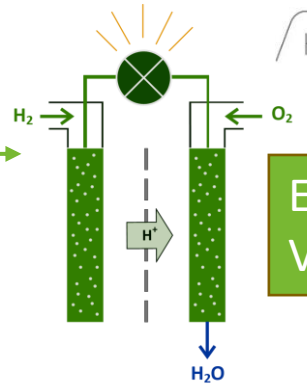


H_2/N_2+Dotierstoffe



1. Reinigungsstufe

H_2 5.0



Energetische Verwertung in BZ

Versorgung lokaler BZ-Busflotte

H_2/N_2-Gemisch

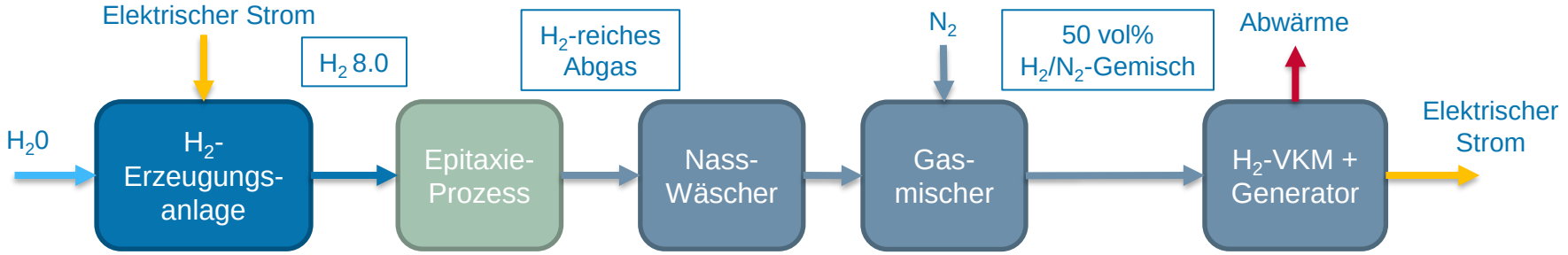
Energetische Verwertung in VKM

powered by klima+ energie fonds
VORZEIGEREGION ENERGIE

FFG Promoting Innovation.

H_2-Wiederverwertungsmöglichkeiten
Technische Analyse

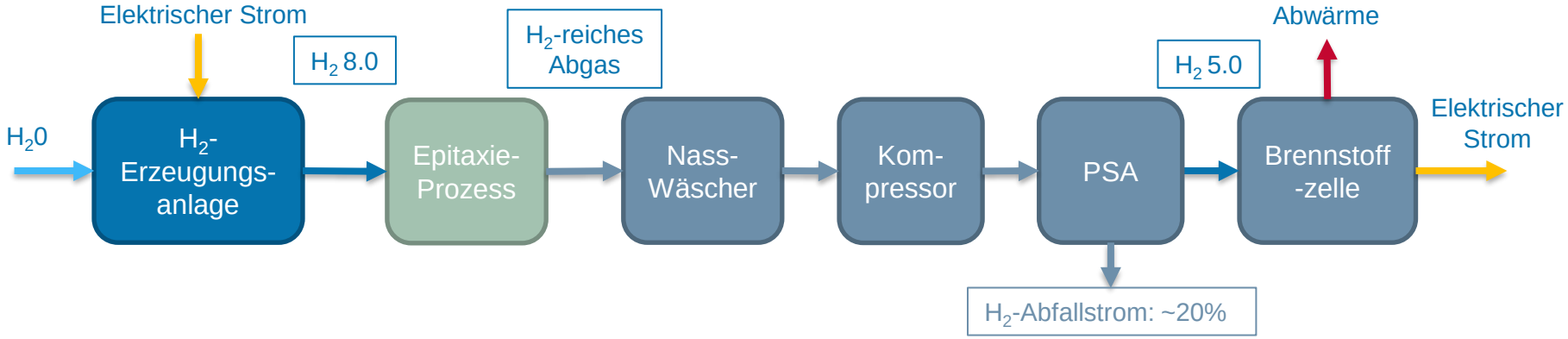
Energetische Verwertung in VKM:

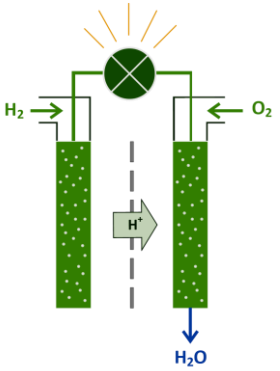


- Wenige Komponenten, erprobte Technologie
- Gasmischer zur Sicherstellung von > 50% N_2-Gehalt (Rückzündung)
- **$\eta_{el,max}$ = 39%, η_{nutz} = 81%**
- **12,5 MWh_{el}/t_{H2}** → **20%** der elektrischen Energie für Elektrolyse; **14 MWh_{th}/t_{H2}**

H_2-Wiederverwertungsmöglichkeiten
Technische Analyse

Energetische Verwertung in stationärer Brennstoffzelle:

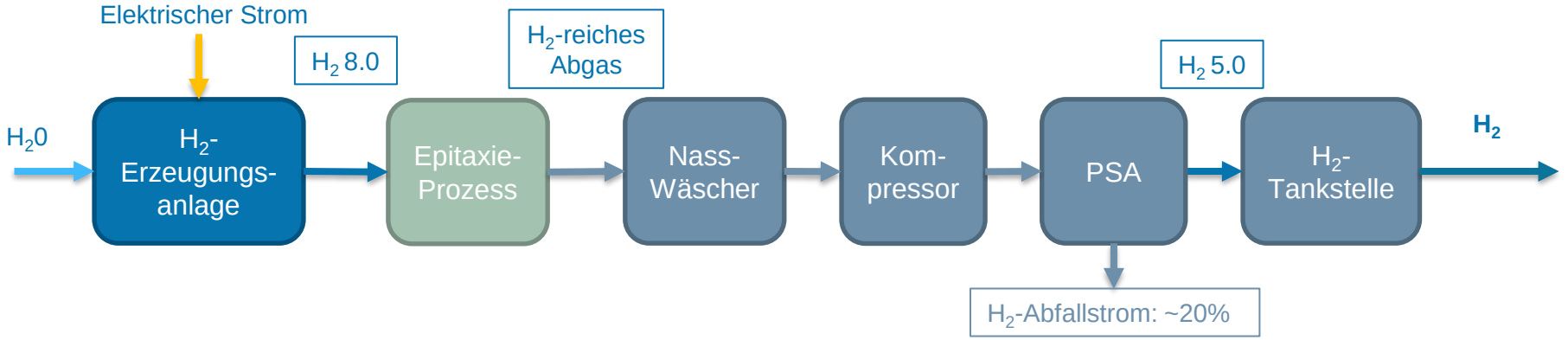




- Aufreinigung auf BZ-Qualität (ISO 14687-2) in Druckwechseladsorption
  - Vorreinigung, Pufferbehälter etc. notwendig → Detailbetrachtung
- Mögliche Beeinträchtigung der BZ durch Verunreinigungen im EPI-Abgas
- **$\eta_{el,max}$ = 62%, η_{nutz} = 92%, η_{PSA}= 80%**
- **7 MWh_{el}/t_{H2} → 12%** der elektrischen Energie für Elektrolyse; **10.9 MWh_{th}/t_{H2}**

H_2-Wiederverwertungsmöglichkeiten
Technische Analyse

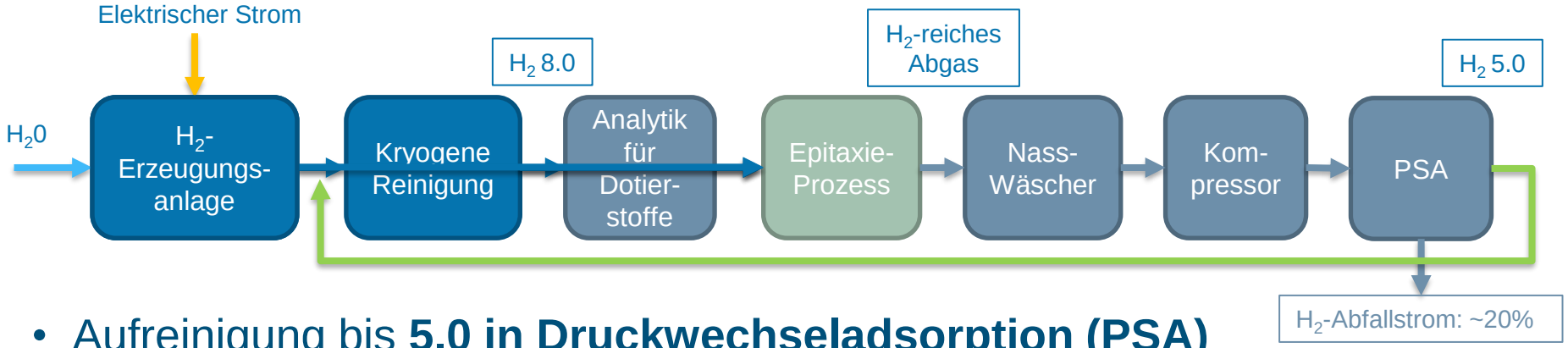
Verwendung in der Mobilität – BZ-Busflotte:



- Aufreinigung auf BZ-Qualität (ISO 14687-2) in Druckwechseladsorption (PSA)
  - Vorreinigung, Pufferbehälter etc. notwendig → Detailbetrachtung
- Mögliche Beeinträchtigung der BZ durch Verunreinigungen im EPI-Abgas
- Bus-Verbrauch: **7,5 kg/100 km**, Ersatz von **30 l Diesel/100 km**
- **> 13.300 km/t H_2**

H_2-Wiederverwertungsmöglichkeiten
Technische Analyse

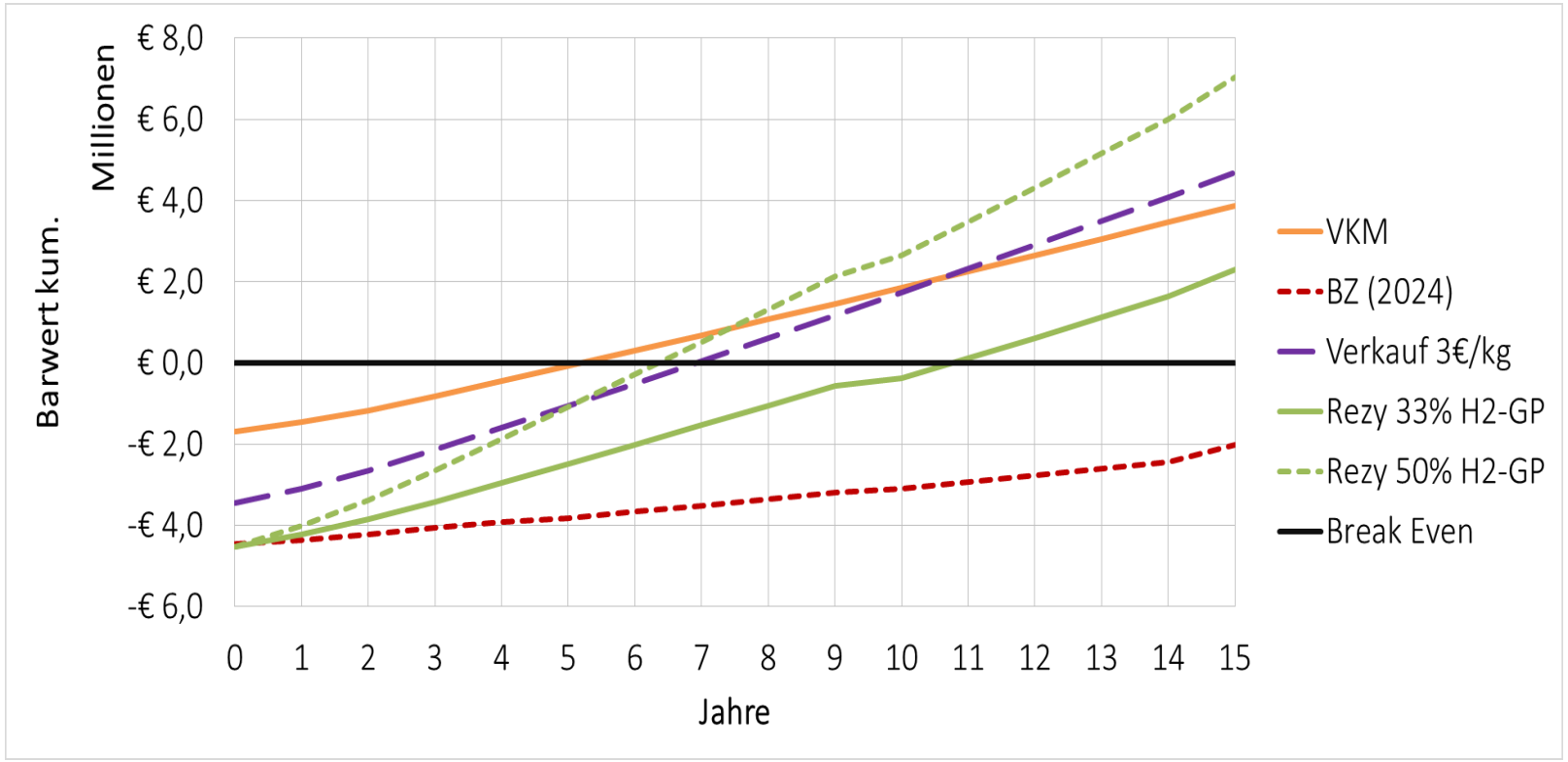
Rezyklierung in Epitaxie-Prozess:



- Aufreinigung bis **5.0 in Druckwechseladsorption (PSA)**
  - Vorreinigung, Pufferbehälter etc. notwendig → Detailbetrachtung
- Einspeisung von recycelten H_2 vor **Kryo-Reinigung auf 8.0**
- Gesamt **ca. 74% Rückgewinnung**
- **Aktuelles Umsetzbarkeitshindernis:**
  online-Analytik im **ppt-Bereich** nicht verfügbar → **zu hohes Risiko**

MA: Julian Trattner:

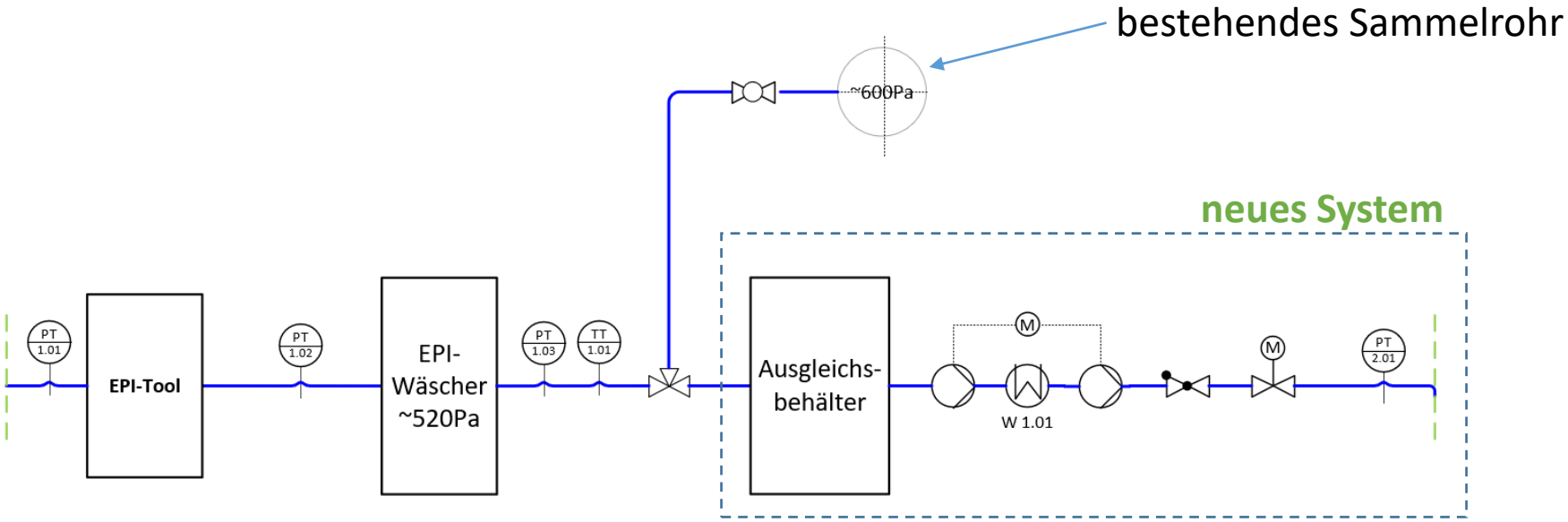
Energieeinsparungsmöglichkeiten durch Verwertung oder Aufreinigung von Wasserstoff in Abgasen von Industrieprozessen



- **VKM:** schnellste Amortisierung durch geringe Anfangsinvestitionen
- **Rezyklierung:** schnelle Amortisierung, innovativ, hohe technische Anforderung an Analytik → aktuell nicht verfügbar
- **Verkauf – Verwertung in Mobilität:** Amortisierung <10 J. innovativ, Sektorkopplung, Dekarbonisierung des ÖPNV

*FCHJU3: Berücksichtigung Kostenentwicklung stat. BZ

Auskopplung:

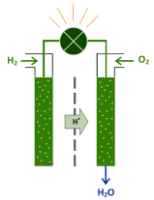


- **<u>Anforderung:</u> keine Druckstöße zurück auf EPI-Prozess**
- 1. Abschätzung mithilfe einer 1D-CFD-Simulation zur Identifizierung der Druckstöße ausgelöst durch einen 2stufigen Kolbenkompressor

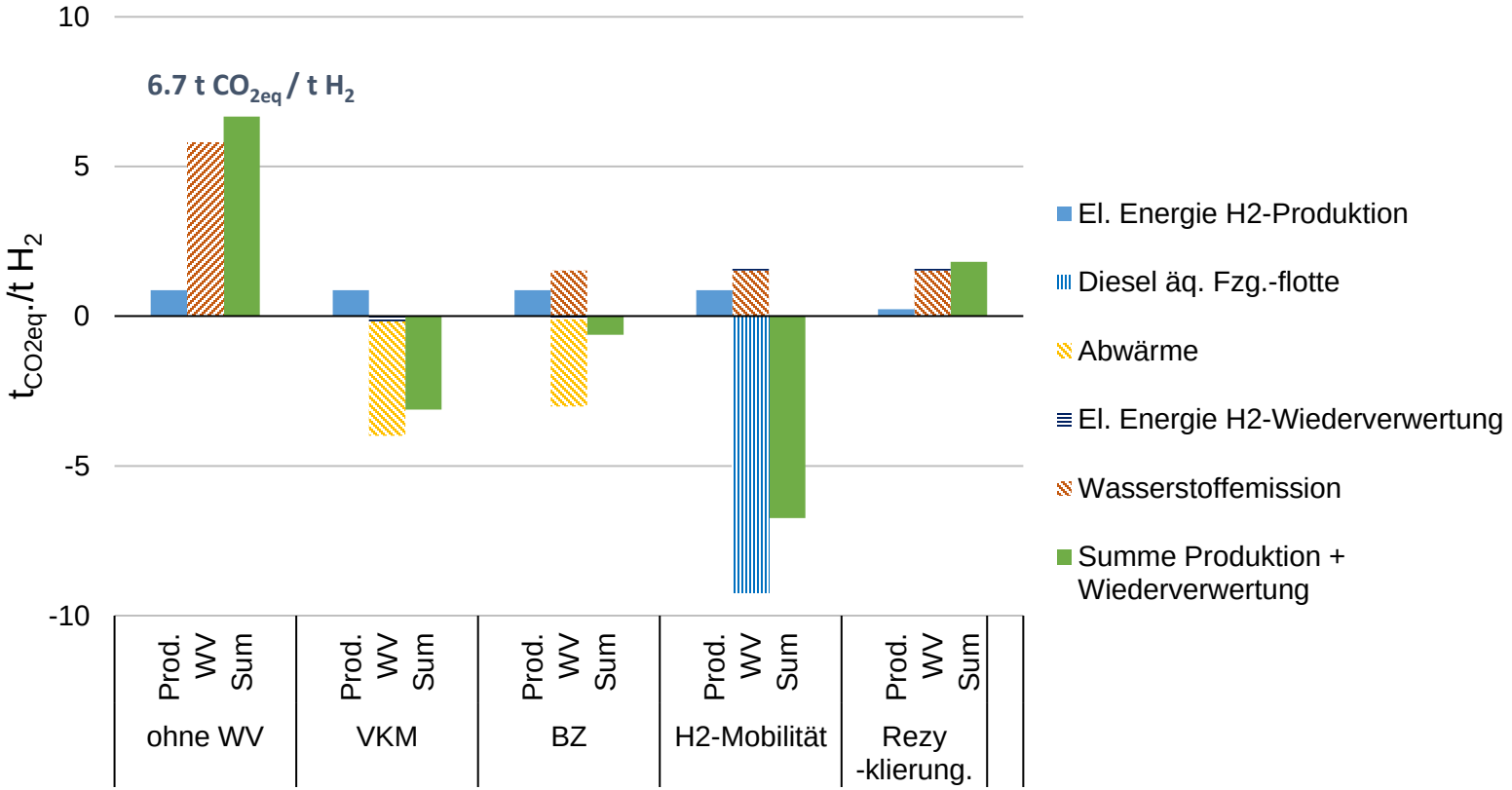
Nutzwertanalyse H_2-Wiederverwertungsmethoden

WIVA P&G Energy Model Region

H2PIONEER

Bewertungsskala: 1 (schlecht) – 5 (gut)		VKM		 Brennstoffzelle		Mobilität (H_2-Tankstelle für Busse)		Rezyklierung	
Kriterien (technisch, ökologisch, ökonomisch)	Gewichtung	Bewertung	Nutzwert	Bewertung	Nutzwert	Bewertung	Nutzwert	Bewertung	Nutzwert
Amortisationsdauer	25 %	5	1,25	1	0,25	3	0,75	4	1
CO_2-Einsparungspotential	20 %	4	0,8	3	0,6	5	1	2	0,4
Lebensdauer	20 %	4	0,8	1	0,2	4	0,8	4	0,8
TRL = Komplexität der Realisierung	20 %	5	1	4	0,8	3	0,6	1	0,2
Innovation	15 %	1	0,15	4	0,6	4	0,6	5	0,75
	100 %								

THG-Emissionen H_2-Wiederverwertungsmethoden



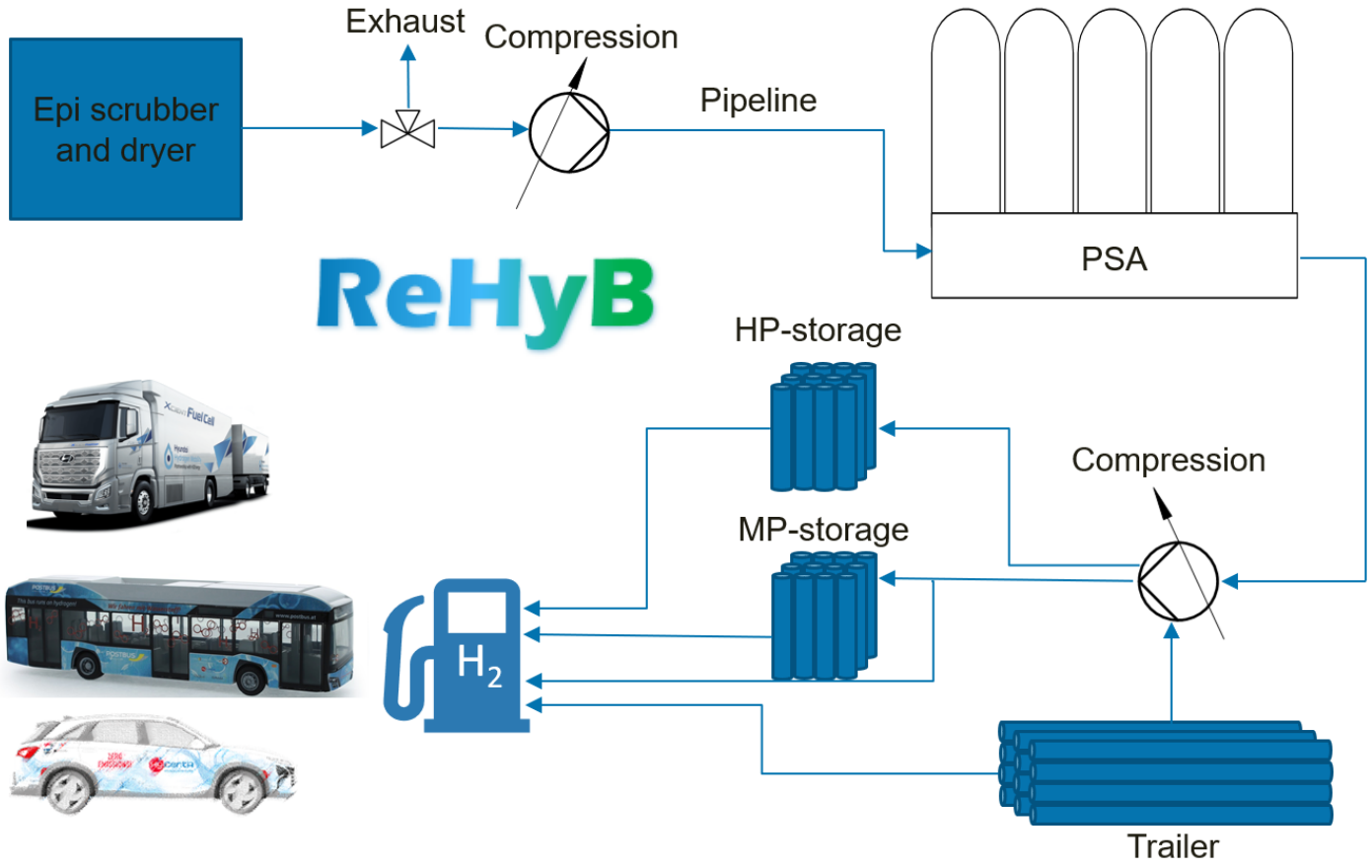
Energieträger	kg_{CO2eq}/MWh
Strommix Österreich	219 [1]
Grünstrom	**14 [1]**
Erdgas	268 [1]
Diesel (inkl. 5,6% Biodiesel)	321 [1]
Wasserstoff	174 [2]

[1] Umweltbundesamt, „Berechnung von Treibhausgas-Emissionen verschiedener Energieträger,“ https://secure.umweltbundesamt.at/co2mon/co2mon.html
[2] R. Derwent, P. Simmonds, S. O'Doherty, A. Manning, W. Collins und D. Stevenson, „Global environmental impacts of the hydrogen economy,“ IJNHPA, Bd. 1, Nr. 1, p. 57, 2006

Aktuelle Prozessversorgung mit grauem Flüssig-Wasserstoff aus Deutschland:

23.5 t CO_{2eq}/t_{H2}

ReHyB – Reuse of Hydrogen for Bus Applications



- ReHyB Projekt seit **2021**
- **Prototyp für Auskopplung** von H_2 in finaler Engineering-Phase: Testlauf ab Jänner 2023
- **5 H_2-Busse** ab **Q4 2022** in Villach
- **Übergangstankstelle** am Gelände von Postbus bis Fertigstellung der öffentlichen Tankstelle
- Bis zu **40 H_2-Busse** im Großraum Villach **geplant**
- Zusätzliche Betankung von **Trucks** und **PKWs** mit **700bar** Tanksystem

Abschlussstatement

- **5000 t/a CO_2 eingespart**
  - Zusätzliche 1200 t/a bei Wiederverwertung in der Mobilität
- **Versorgungssicherheit**
  - Keine externe Anlieferung nötig (problematische Lieferketten)
- **Makroökonomische Effekte**
  - Positive Effekte auf BIP und Beschäftigung
  - Rezyklierung -> höhere positive volkswirtschaftliche Effekte
- **Sektorkopplung durch Wiederverwertung**
  - Auskopplung ermöglicht Folgeprojekt ReHyB
- **Optimierungspotential ist noch nachzuweisen**

VORZEIGEREGION
ENERGIE

WIVA P&G
Energy Model Region
H2PIONEER

Thank you for your attention!