



ING. CHRISTIAN PÖSTINGER

TB Green Hydrogen & Energy Systems (i.G.)

Optimierung der Stromeigenversorgung mittels Wasserstoff

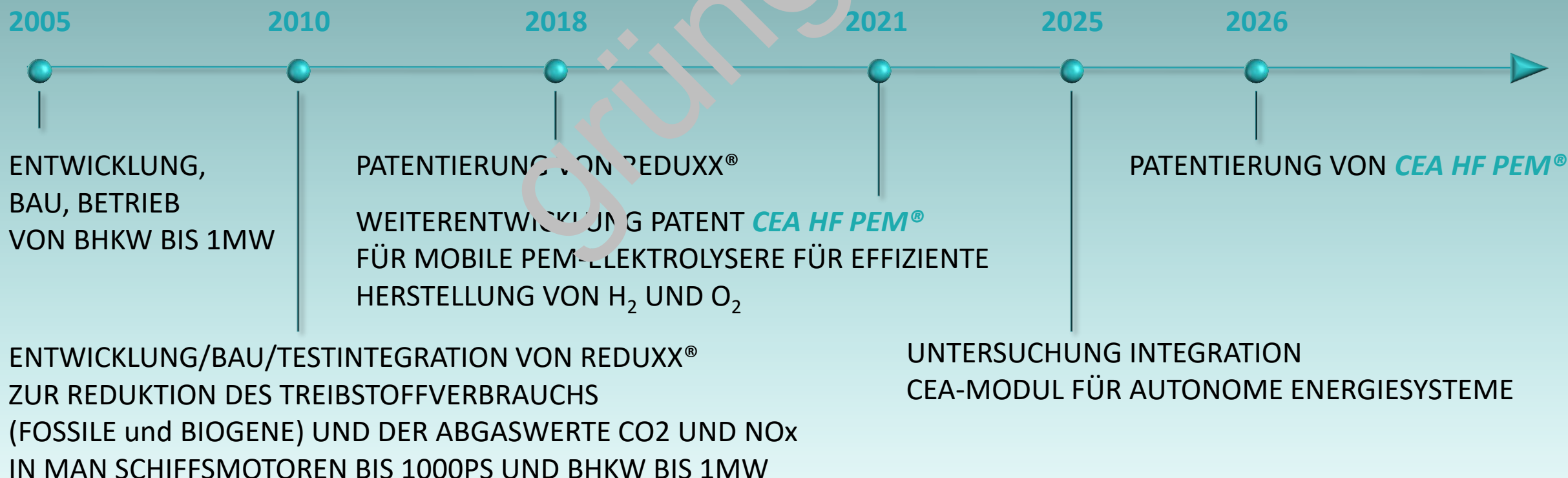
***UNTERSUCHUNG ERWEITERUNG
DER PV ANLAGE UM EINEN
H₂ -MASSENSPEICHER***



ING. CHRISTIAN PÖSTINGER

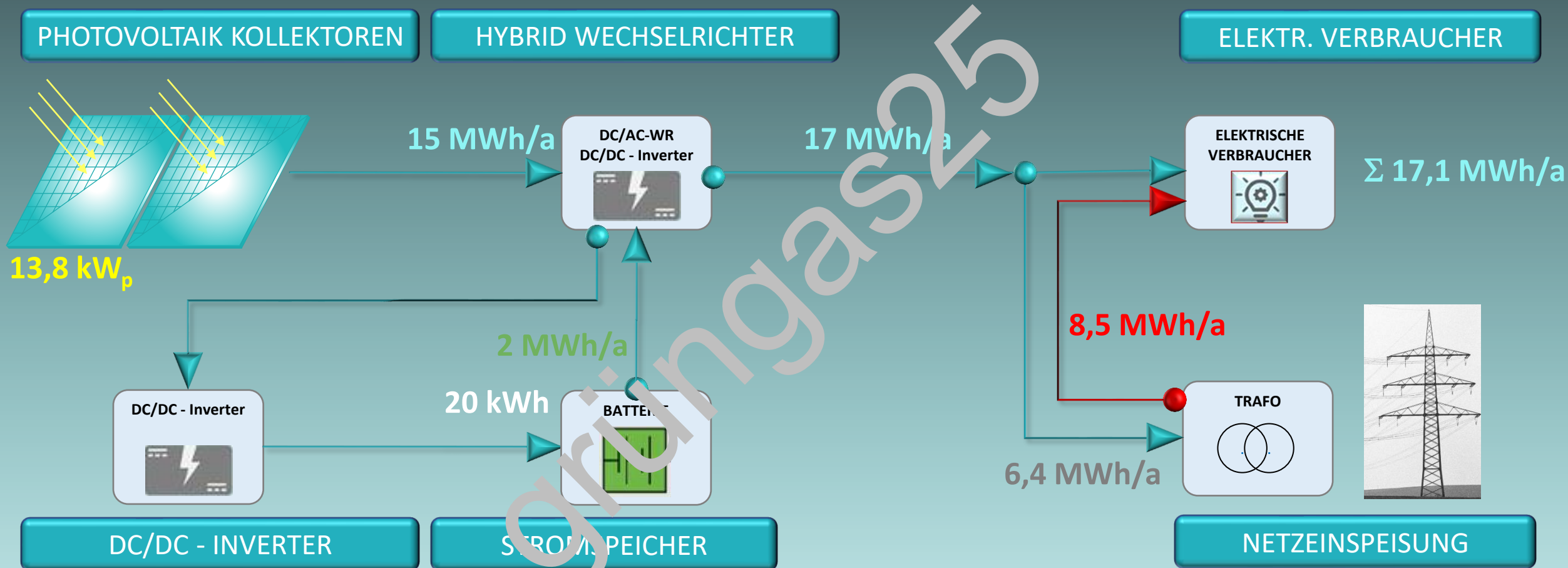
TB Green Hydrogen & Energy Systems (iG)

seit über 20 Jahren Entwicklung von hocheffizienten Energieerzeugungsanlagen, hat bereits seine patentierte Erfindung im Markt integriert und entwickelt auf dieser Basis weitere hocheffiziente H₂-Technologien für mobile Anlagen, Eigenversorgung, Energiespeicher und Systemintegration.



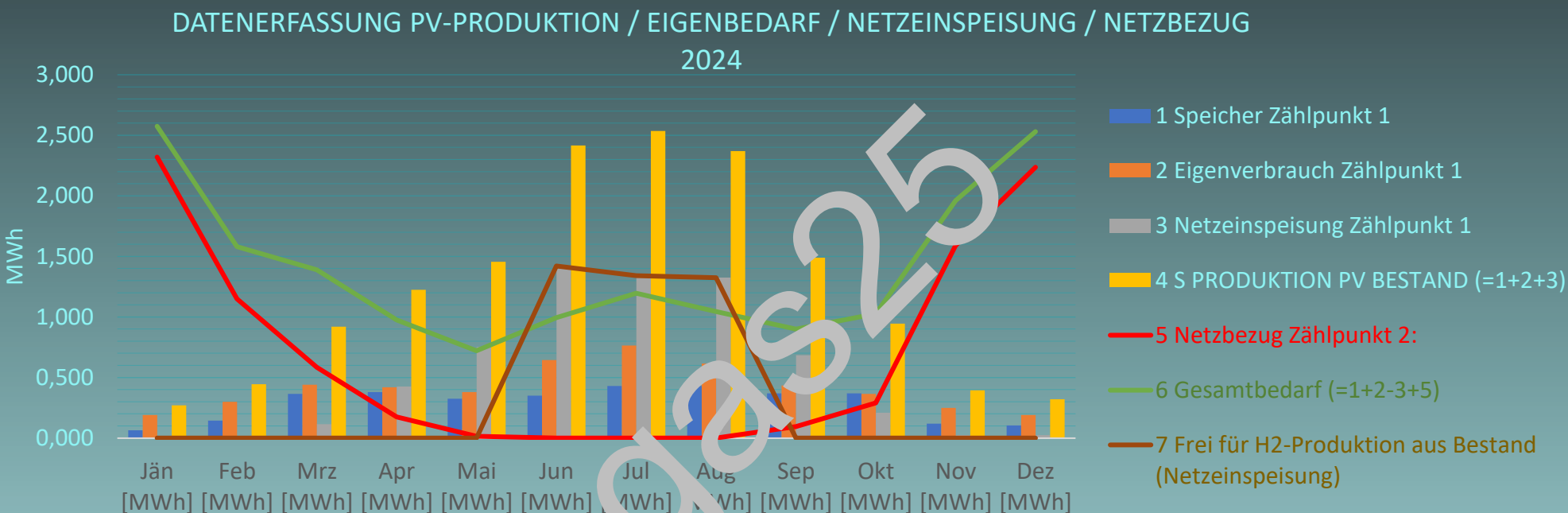
STANDARD PV EINBINDUNG IN DIE HAUSEIGENE ENERGIEVERSORGUNG

AUFBAU



STANDARD PV EINBINDUNG IN DIE HAUSEIGENE ENERGIEVERSORGUNG

IST DATEN



| IST - ERFASSUNG 2024 | | Jän [MWh] | Feb [MWh] | Mär [MWh] | Apr [MWh] | Mai [MWh] | Jun [MWh] | Jul [MWh] | Aug [MWh] | Sep [MWh] | Okt [MWh] | Nov [MWh] | Dez [MWh] | Σ [MWh] |
|----------------------|------------------------------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|------------|
| 1 | Speicher Zählerpunkt 1 | 0,065 | 0,115 | 0,365 | 0,380 | 0,325 | 0,350 | 0,430 | 0,430 | 0,370 | 0,370 | 0,120 | 0,105 | 3,455 |
| 2 | Eigenverbrauch Zählerpunkt 1 | 0,190 | 0,300 | 0,440 | 0,420 | 0,380 | 0,645 | 0,765 | 0,615 | 0,435 | 0,365 | 0,250 | 0,190 | 4,995 |
| 3 | Netzeinspeisung Zählerpunkt 1 | 0,015 | 0,015 | 0,115 | 0,425 | 0,751 | 1,420 | 1,340 | 1,325 | 0,685 | 0,210 | 0,025 | 0,025 | 6,351 |
| 4 | Σ PRODUKTION PV BESTAND (=1+2+3) | 0,270 | 0,430 | 0,920 | 1,225 | 1,456 | 2,415 | 2,535 | 2,370 | 1,490 | 0,945 | 0,395 | 0,320 | 14,786 |
| 5 | Netzbezug Zählerpunkt 2: | 2,120 | 1,150 | 0,585 | 0,175 | 0,015 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,095 | 0,290 | 1,590 | 2,235 | 8,455 |
| 6 | Gesamtbedarf (=1+2-3+5) | 2,550 | 1,330 | 1,390 | 0,975 | 0,720 | 0,995 | 1,195 | 1,045 | 0,900 | 1,025 | 1,960 | 2,530 | 16,890 |
| 7 | Frei für H2-Produktion aus Bestand (Netzeinspeisung) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1,42 | 1,34 | 1,325 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4,085 |

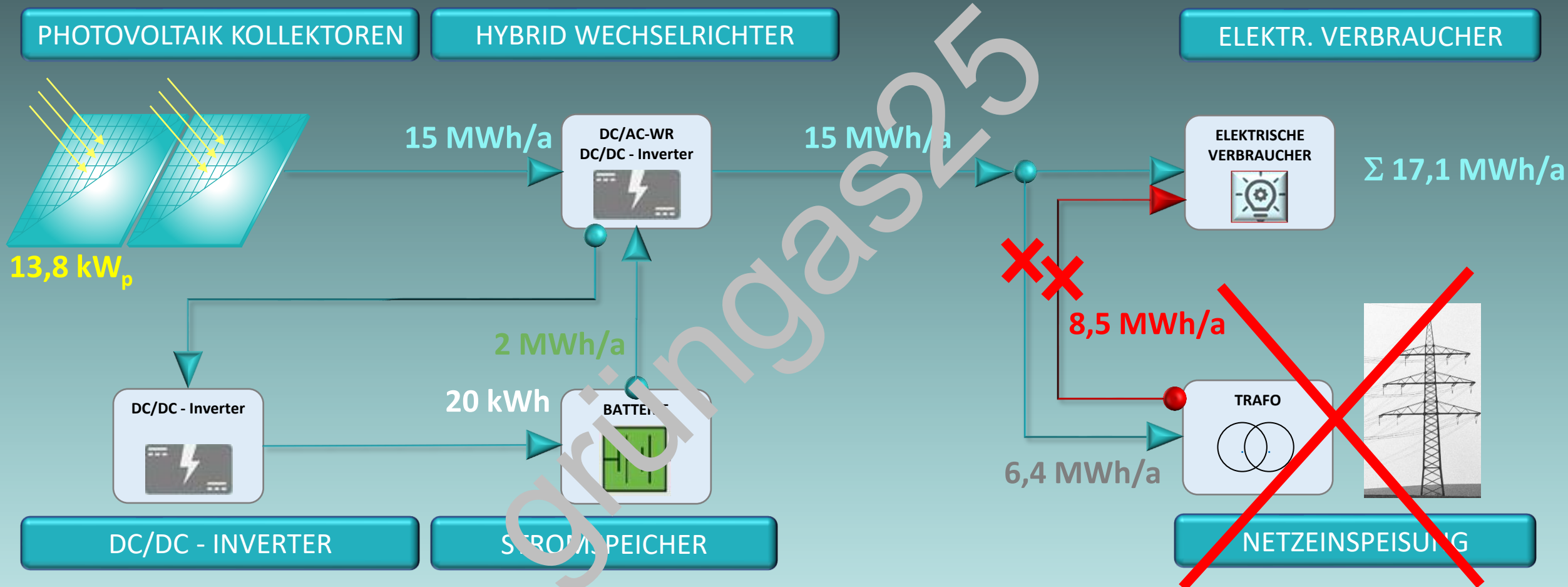
Problematik bei Standard Installation :

- **Netzbezug** in den Wintermonaten → wenig Sonneneinstrahlung, mehr Energieverbrauch durch Licht und Heizung)
- **Netzeinspeisung** in den Sommermonaten → Viel Sonneneinstrahlung, weniger Energieverbrauch

LÖSUNG ZU UNTERSUCHEN:

- Speicherung der überschüssigen Energie aus den Sommermonaten und Verbrauch dieser in den Wintermonaten

AUTONOME ENERGIEVERSORGUNG BEDINGUNG



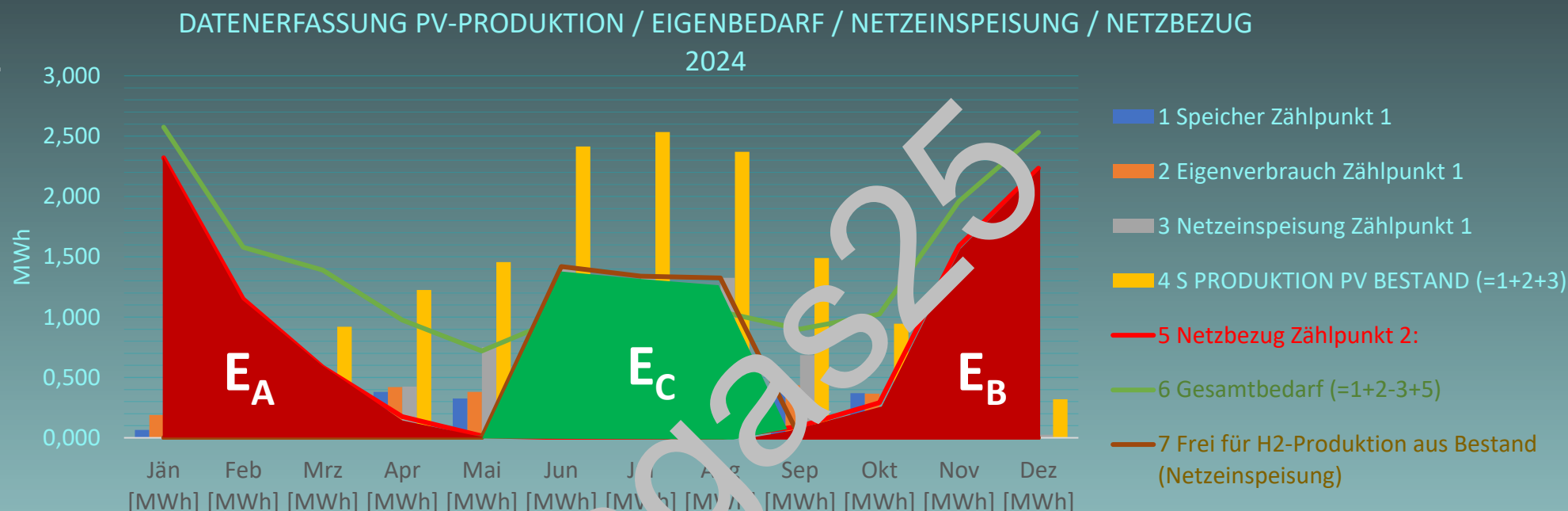
➤ **BEDINGUNG: „ZERO-GRID“**
(kein Netzbezug und auch keine Netzeinspeisung)
➔ **100% autonome Energieversorgung**

EINSPARUNGSPOTENTIAL
Jährl. Netzbezug-Kosten:
!!! EINZIGE BASIS FÜR ROI !!!

8,5 MWh/a * 235 €/MWh = 2000 €/Jahr

EINBINDUNG EINES H₂-SPEICHERS **VAR 1**

SPEICHER- MENGE

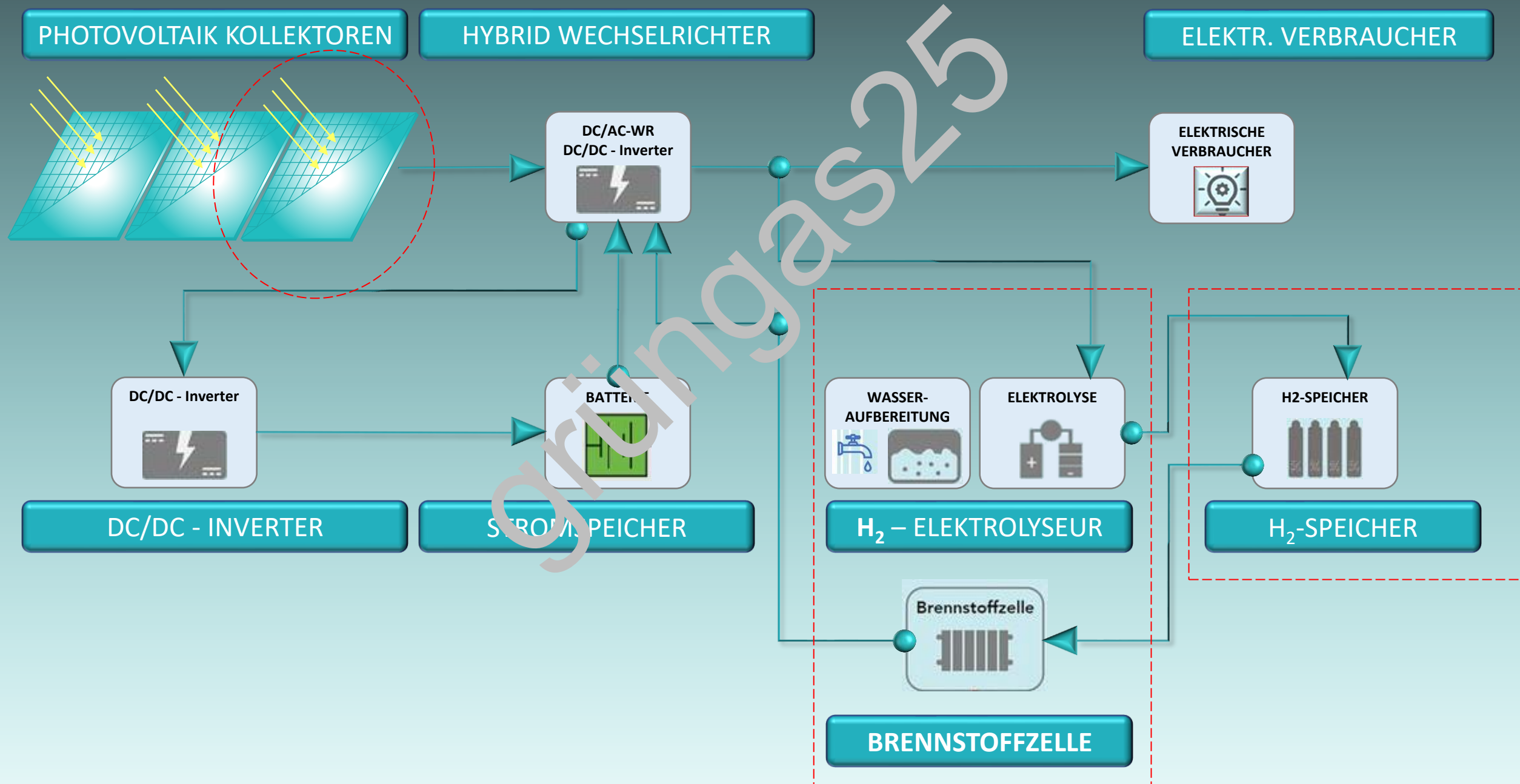


$$E_C < E_A + E_B$$

$$\begin{aligned} E_A + E_B &= 8,5 \text{ MWh/J} \\ E_C &= 6,4 \text{ MWh/J} \end{aligned}$$

ERWEITERUNG/OPTIMIERUNG DURCH H₂-SPEICHERUNG

ERWEITERTER AUFBAU

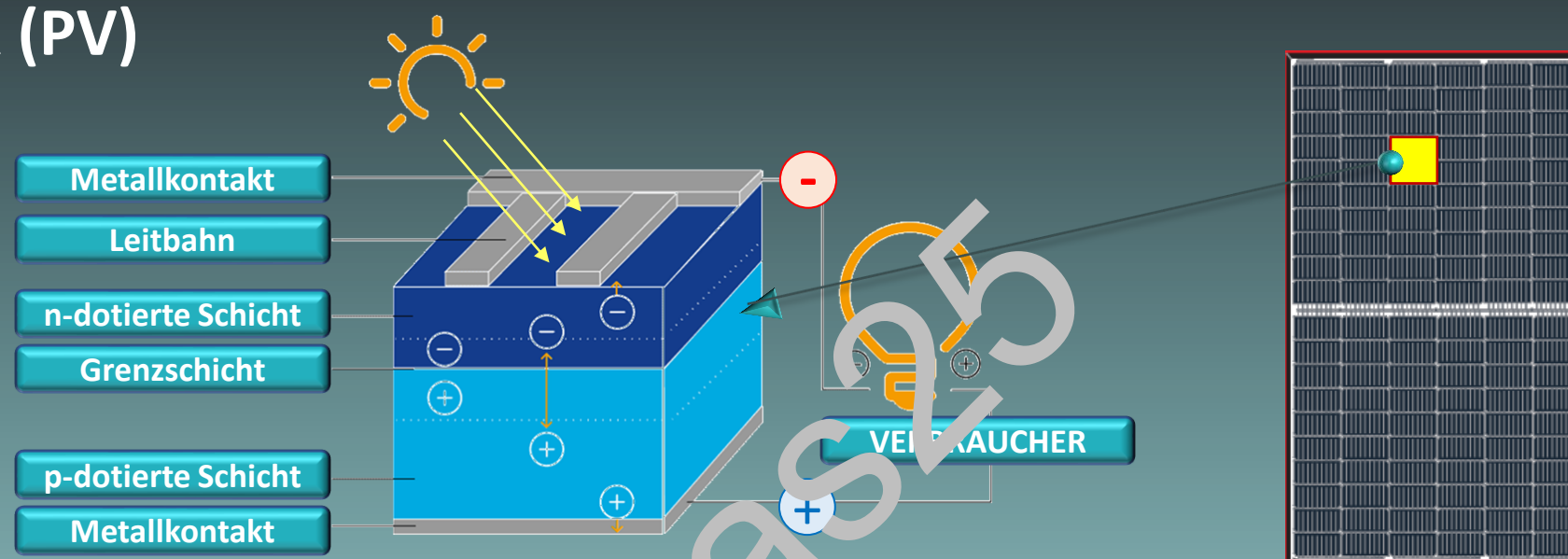


PHOTOVOLTAIK (PV)

SOLARZELLE

WIRKUNGSGRAD:

$$\eta_{PV} = 22\%$$



Aus Licht wird Energie

Ein Photovoltaikmodul besteht aus vielen einzelnen Solarzellen. Mit einer durchschnittlichen Länge von 15 mal 15 Zentimetern sind diese für die tatsächliche Stromgewinnung zuständig und somit das Kernstück des Sonnenkraftwerks. Dafür nutzen sie Silizium, auch Quarzsand genannt, welches eines der wenigen Materialien ist, die durch Sonnenlicht Energie erzeugen können. Die klassische Solarzelle enthält zwei Schichten Silizium, wobei eine Lage mit Bor (**p-dotierte Schicht**), die andere mit Phosphor dotiert (**n-dotierte Schicht**) ist. Dotieren beschreibt den Einbau von Fremdatomen in den atomaren Gitterverbund des Halbleiters, um seine elektrische Leitfähigkeit zu verbessern.

Während die mit Bor dotierte Schicht über zu wenig Elektronen verfügt und damit positiv geladen ist, treten in der mit Phosphor negativ dotierten Schicht freie Elektronen auf. Getrennt werden beide Lagen von einer Grenzsicht, die für freigesetzte Ladungen nur über die Zufuhr externer Energie passierbar ist.

Genau diese Energie liefern Lichtphotonen bei Sonneneinstrahlung auf die Zelle.

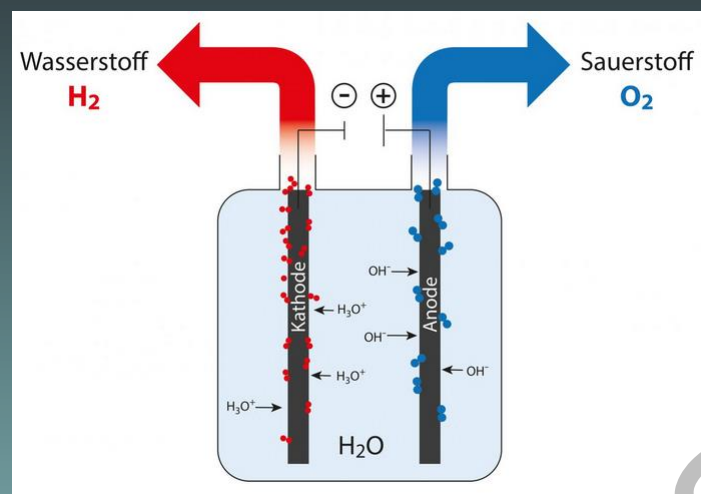
In einer Wechselwirkung zwischen einstrahlendem Sonnenlicht und dem dotierten Halbleiter setzen sich die elektrischen Ladungsträger frei und überqueren die Grenzsicht. Dabei generieren sie ein elektrisches Feld und erzeugen Strom. Dieser wird über Metallkontakte an beiden Seiten der Solarzelle abgeleitet und **als DC zur Speicherung der Batterie** zugeführt.

Den erzeugten Gleichstrom, wie er z. B. auch in Batterien vorkommt, wandelt ein Netzeinspeisegerät, auch Wechselrichter genannt, in Wechselstrom um. Dieser kann schlussendlich **ins Netz eingespeist** oder über einen **Stromspeicher für elektrische Verbraucher genutzt** werden.

ELEKTROLYSE

WIRKUNGSGRAD:

$$\eta_{EL} = 80\%$$



Was passiert:

Elektrische Energie wird genutzt, um Wasser in seine Bestandteile Wasserstoff (H₂) und Sauerstoff (O₂) zu zerlegen

Chemische Reaktion:

An der Kathode (negativer Pol) werden Wasserstoffionen **reduziert** und bilden Wasserstoffgas (H₂).

An der Anode (positiver Pol) wird Wasser zu Sauerstoffgas (O₂) **oxidiert**

Gleichung:



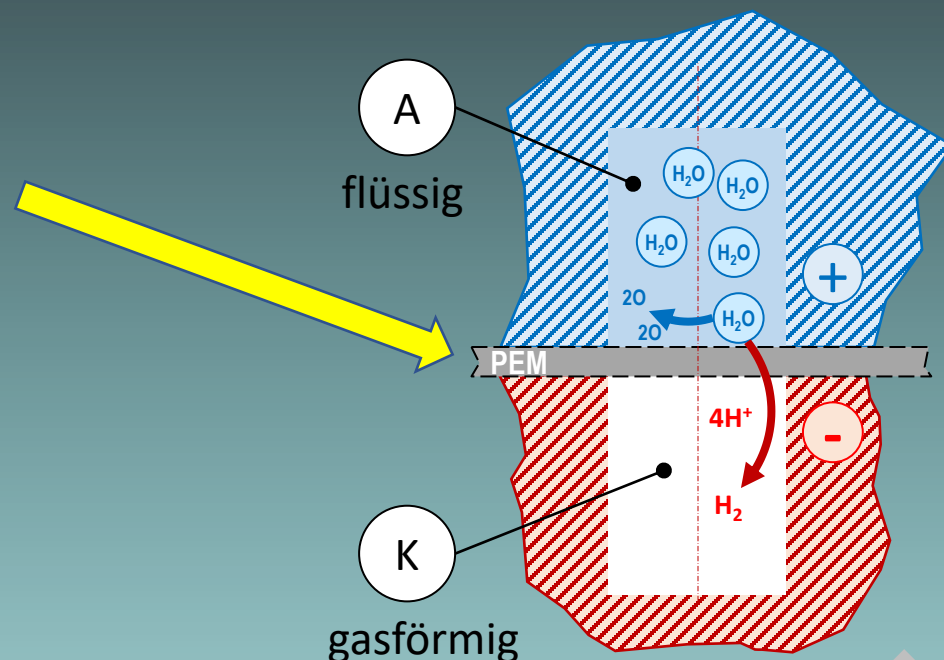
Durchführung:

Eine elektrische Spannung wird an Elektroden angelegt, die in eine Elektrolytlösung (oft mit einem Elektrolyt wie Salz) eingetaucht sind. Wasserstoff sammelt sich an der Kathode (-) und Sauerstoff an der Anode (+).

Ergebnis:

Der Wasserstoff (H₂) kann gespeichert und der Sauerstoff (O₂) kann als Nebenprodukt abgeleitet werden

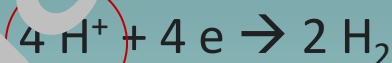
PEM-ELEKTROLYSEUR



Anodenreaktion (A):



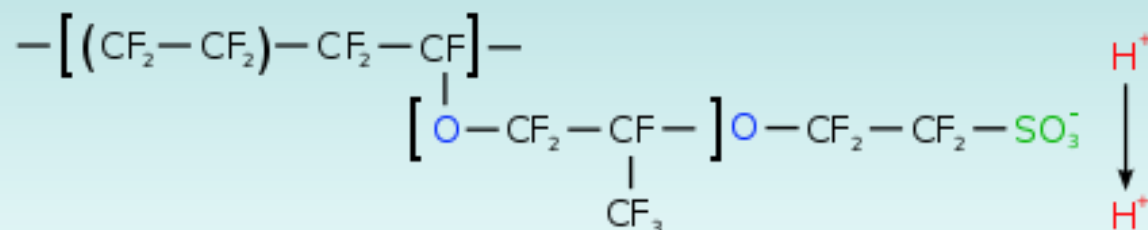
Kathodenreaktion (K):



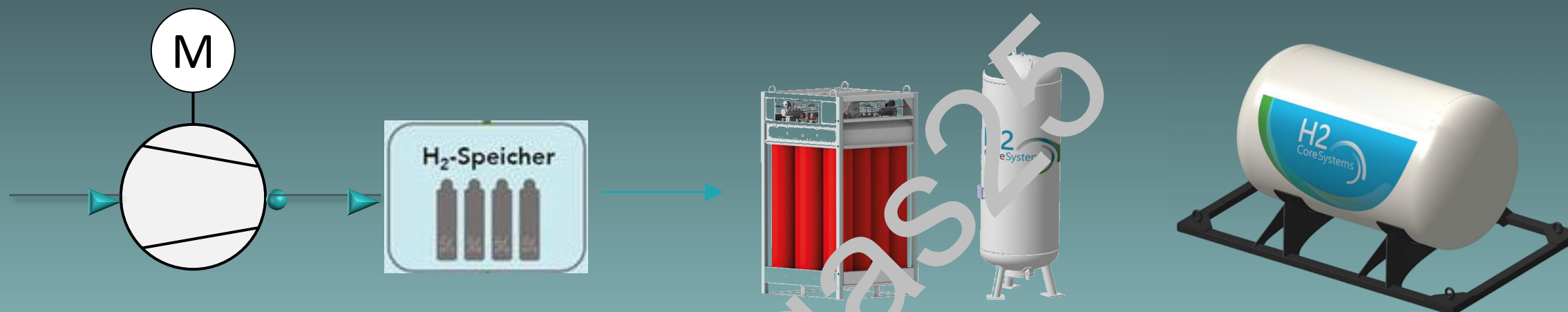
PEM = **P**ROTON **E**XCHANGE **M**EMBRAN

z.B.: Nafion

= ein aus Ionomer hergestellte semipermeable Membran. Diese ist für Protonen durchlässig



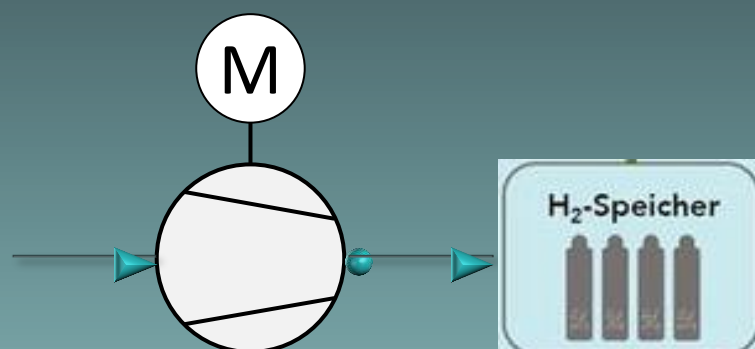
H₂-VERDICHTER IN H₂-SPEICHER



- Der bei der Elektrolyse gewonnene H₂ wird als chemische Energie gespeichert
- Die Speicherung erfolgt in speziellen Tanks oder Flaschenbündel mit 12 Flaschen zu je 50l
- Die H₂-Speichermenge richtet sich nach dem tatsächlichen erzielten End-Druck nach der Kompression.
- Die bei der Kompression entstehende Wärmeenergie kann über einen Wärmetauscher an einen Warmwasserspeicher zur weiteren Wärmenutzung abgeführt werden

H₂-VERDICHTER IN H₂-SPEICHER

→ BERECHNUNG DER SPEICHERMENGE ABHÄNGIG VOM KOMPRESSIONSDRUCK



V..... Flaschenvolumen = 50l = 0,05m³ = im Beispiel konstant

p..... Druck [Pa] (1bar = 10⁵ Pa), p₁=30bar, p₂=150bar, p₃=300bar

M_{H₂} .. Molmasse H₂ = 0,002016 kg/mol

R Universelle Gaskonstante = 8,314 J/(mol*K)

T Eintrittstemperatur H₂ vor Verdichtung [K] = 20°C = 273,15K bei NPT

LHV ... Energiegehalt von H₂ = 33,33 kWh/kg

➤ Ideales Gasgesetz:

$$\text{Masse } m_{H_2} = \frac{(p^* \cdot V)}{(R_{\text{spec}} \cdot T)}$$

➤ Spezifische Gaskonstante:

$$R_{\text{spec}, H_2} = \frac{R}{M_{H_2}} = 4,124 \cdot 10^3 \text{ J/(kg*K)}$$

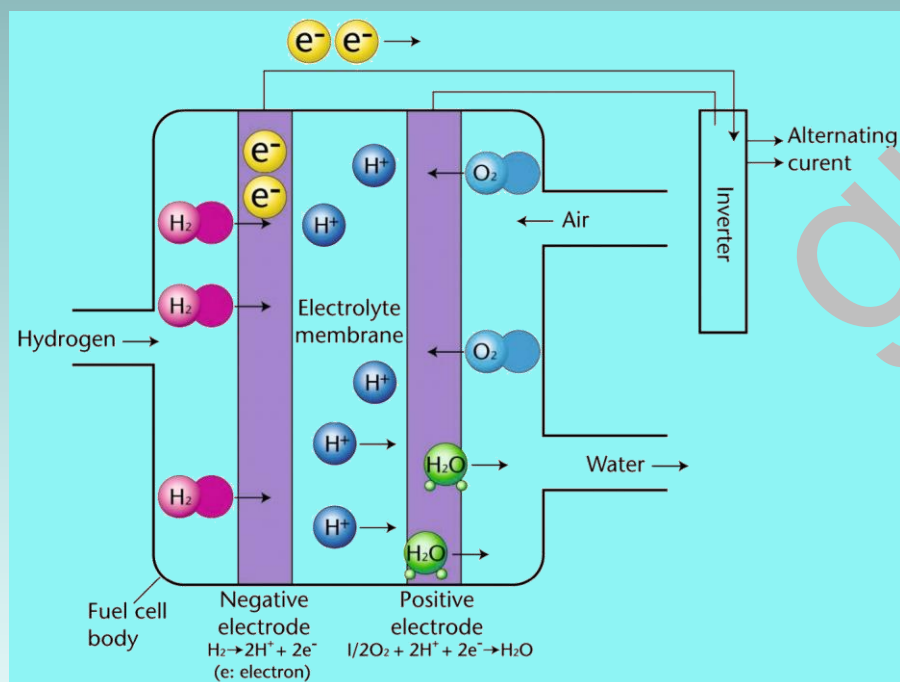
➤ Beispiel 50 Liter Flasche (V=50l = 0,05m³):

- Verdichtung H₂ auf 30bar: → m_{H₂} = 0,124 kg → Energiegehalt gespeicherter H_{2, 30bar} = 4,1 kWh
- Verdichtung H₂ auf 150bar: → m_{H₂} = 0,620 kg → Energiegehalt gespeicherter H_{2, 150bar} = 21 kWh
- Verdichtung H₂ auf 300 bar: → m_{H₂} = 1,124 kg → Energiegehalt gespeicherter H_{2, 300bar} = 41 kWh

RÜCKGEWINNUNG DER GESPEICHERTEN CHEMISCHEN H₂-ENERGIE IN ELEKTRISCHE ENERGIE ÜBER DIE BRENNSTOFFZELLE

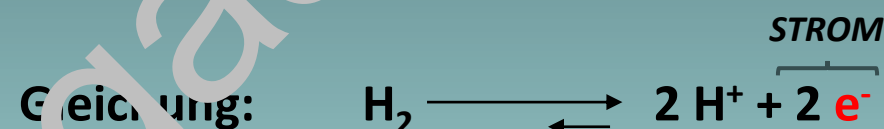
WIRKUNGSGRAD:

$$\eta_{EL} = 60\%$$



- Eine Brennstoffzelle funktioniert im Wesentlichen als „umgekehrte“ Elektrolyse

- **ANODE (- Pol):** Der gespeicherte H₂ wird an der Anode zu Protonen (H⁺) und Elektronen (e⁻) gespalten

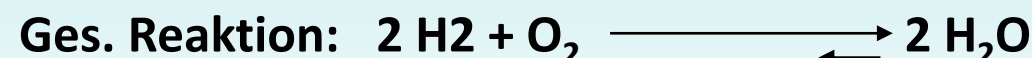


- **Externer Stromkreis:** Die Elektronen (e⁻) fließen durch einen externen Stromkreis und erzeugen so den elektrischen Strom

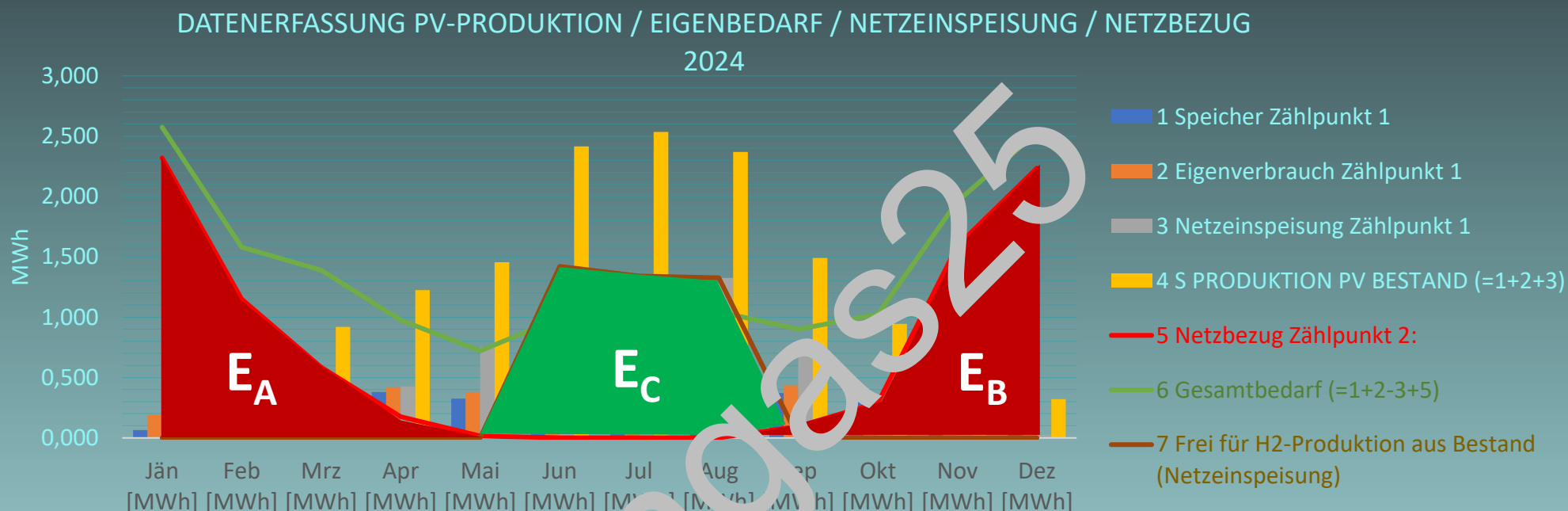
- **KATHODE (+Pol):** Die Protonen wandern durch eine Elektrolytmembran (PEM) zur Kathode. Dort vereinigen sie sich mit den Elektronen und dem Sauerstoff (O₂) (aus der zugeführten Luft) zu Wasser (H₂O).



- **Ergebnis:** Dieser Prozess erzeugt wieder elektrischen Strom, Wasser und Wärme



EINBINDUNG EINES H₂-SPEICHERS **VAR 1**



$$E_C < E_A + E_B$$

$$\begin{aligned} E_A + E_B &= 8,5 \text{ MWh/J} \\ E_C &= 6,4 \text{ MWh/J} \end{aligned}$$

EINBINDUNG EINES H₂-SPEICHERS **VAR 1**

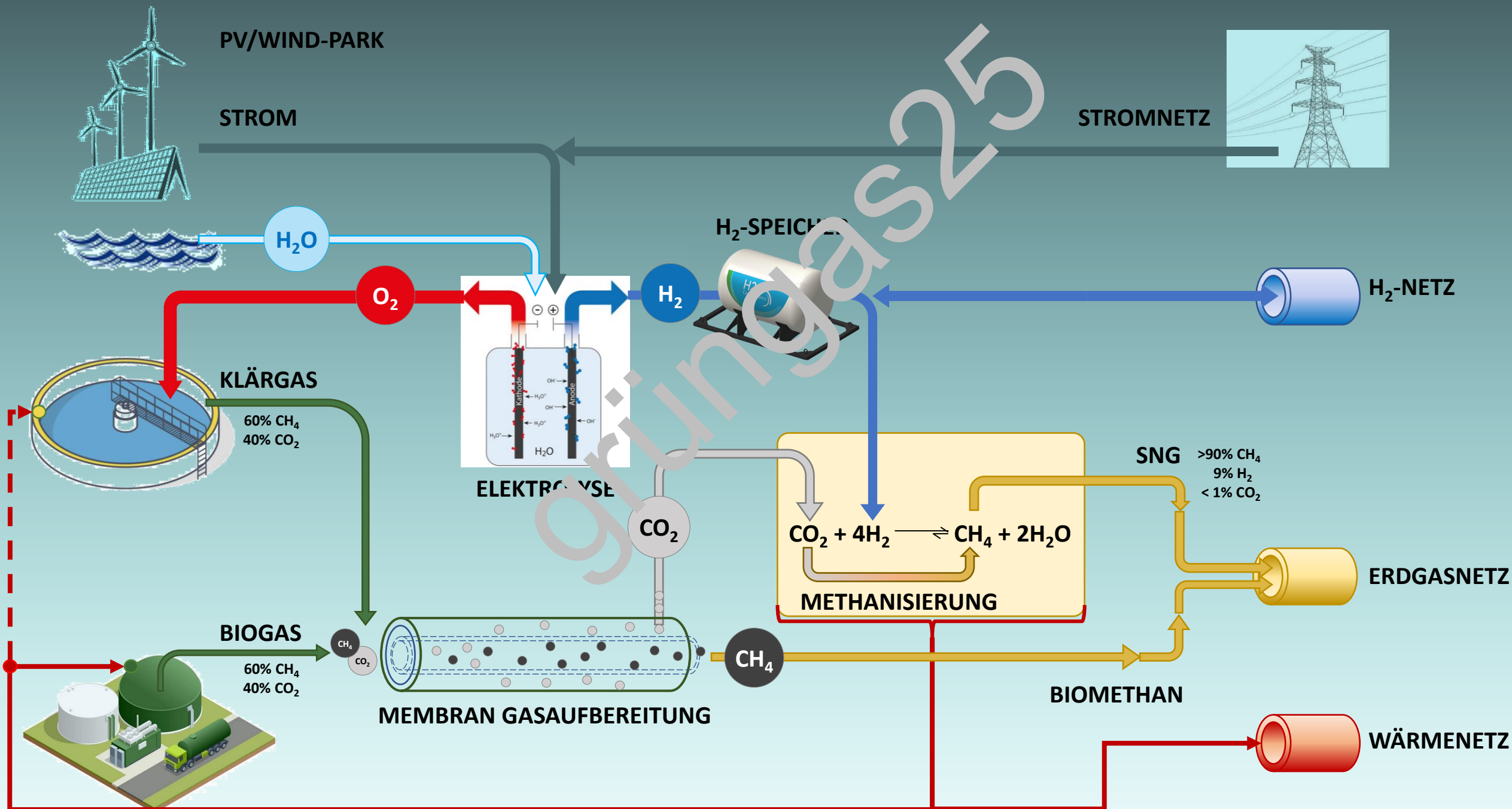
ERMITTLUNG DES INVESTMENTS UND DES ROI

- Σ Wirkungsgrad H₂-Erzeugung, Speicher und Stromrückgewinnung $\eta_{H_2, ges} = 0,46$ (46%)
- 8,5 MWh/J : 0,46 = 18,5 MWh/J (=erforderliche Elektrolyse AC-Energie)
- Erzeugung von Σ 420kg H₂ pro Jahr
 - bei max H₂-Pufferspeicher von ca. 9MWh \cong 265kg Speichermasse bei 300bar \cong **219 x 50 Liter Flaschen !!!**
 - **bei ca. 750 €/kg -> Gesamtkosten H₂-Speicher 200.000€**
- Erforderliche zusätzliche PV-Installation: 14,5 kWp
 - ca. 44 PV-Module
 - **Gesamtkosten Zusätzliche PV-Module ca. 1100€/kWp * 14,5 kWp = 16 000 €**
- Erforderliche Leistung H₂-System:
 - **Gesamtkosten Elektrolyseur + Verdichter = 8 kW + 2 kW = 10kW * 1200 €/kW = 12.000€**

Σ 228.000 €
(ROI: 114 JAHRE)

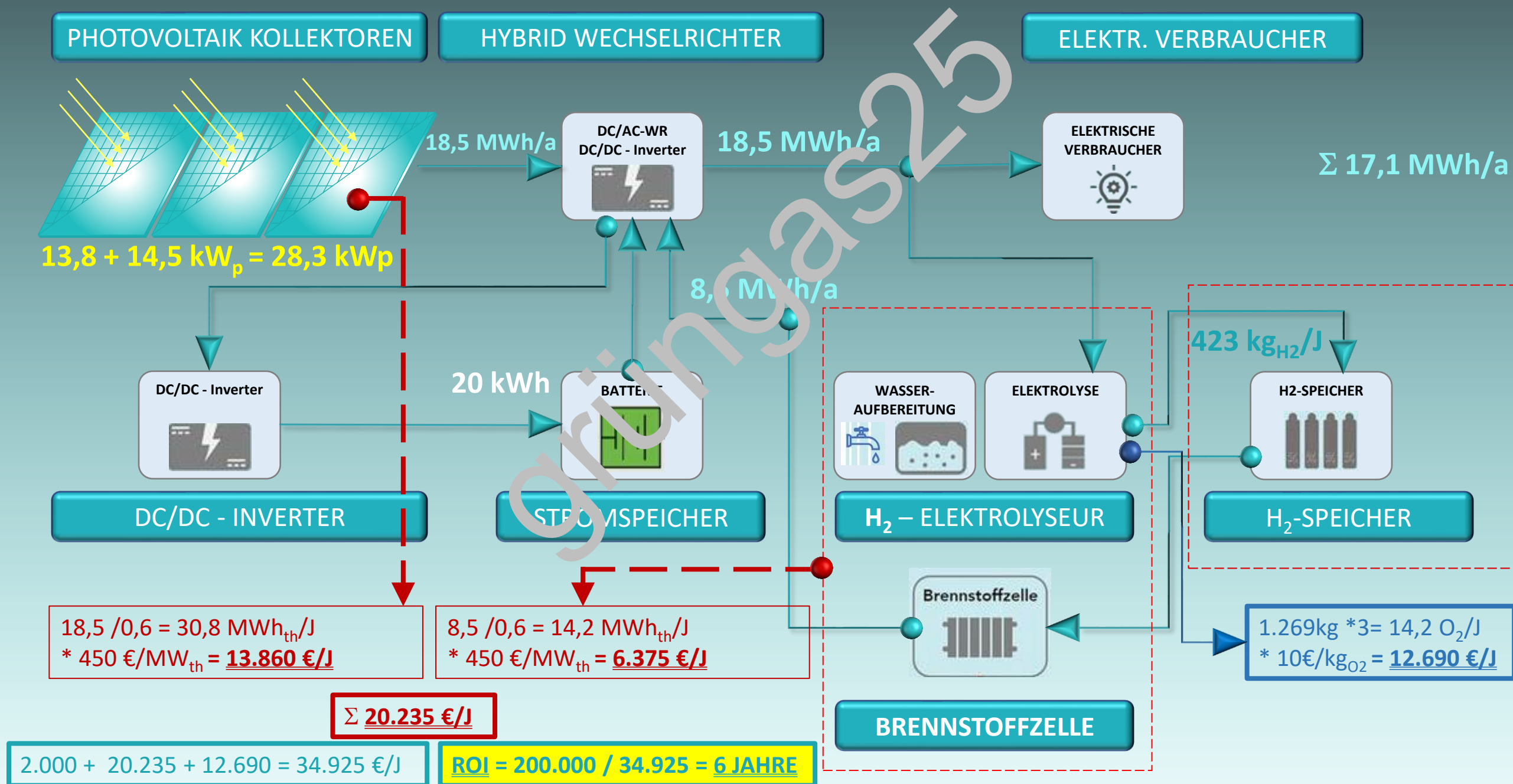
EINBINDUNG EINES H₂-SPEICHERS **VAR 2** MIT WÄRME- UND O₂ NUTZUNG

GEWERBLICHE ANWENDUNGEN WIE ZUM BEISPIEL IN EINER BIOGAS- & KLÄRANLAGE:



ERWEITERUNG/OPTIMIERUNG DURCH H₂-SPEICHERUNG

ABWÄRMENUTZUNG UND O₂-VERKAUF





Optimierung der Stromeigenversorgung mittels Wasserstoff

PV + H₂ - MASSENSPEICHER

DANKE FÜR IHRE AUFMERKSAMKEIT