

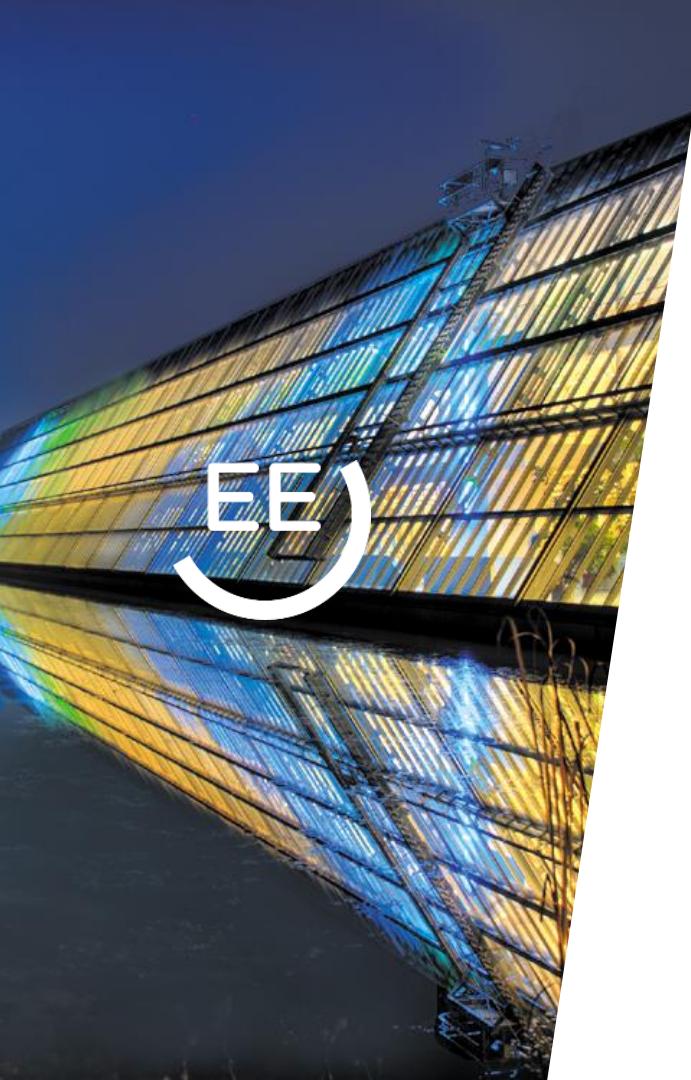


# **TECHNISCH-WIRTSCHAFTLICHE DIMENSIONIERUNG VON ELEKTROLYSEUREN**

3. Branchentag Wasserstoff

Gelsenkirchen, 30. März 2023

Dr. Thomas Kattenstein, Johannes Schindler, Patrick Krieger



## UNSER UNTERNEHMEN

---



> 25 Jahre erfolgreich am Markt



Wissenschaftspark Gelsenkirchen



≈ 8 Millionen € Jahresumsatz



≈ 60 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter



Teil der TÜV NORD GROUP



# UNSERE THEMEN

---

Expert Advice  
Industry &  
Commerce



Energy  
Infrastructures

Renewable  
Energies



Energy  
Economics

Mobility



Hydrogen

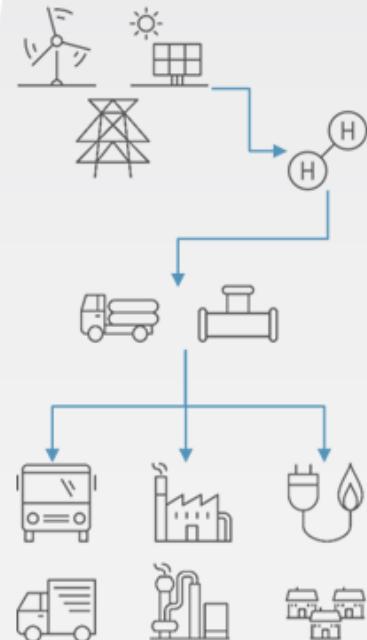
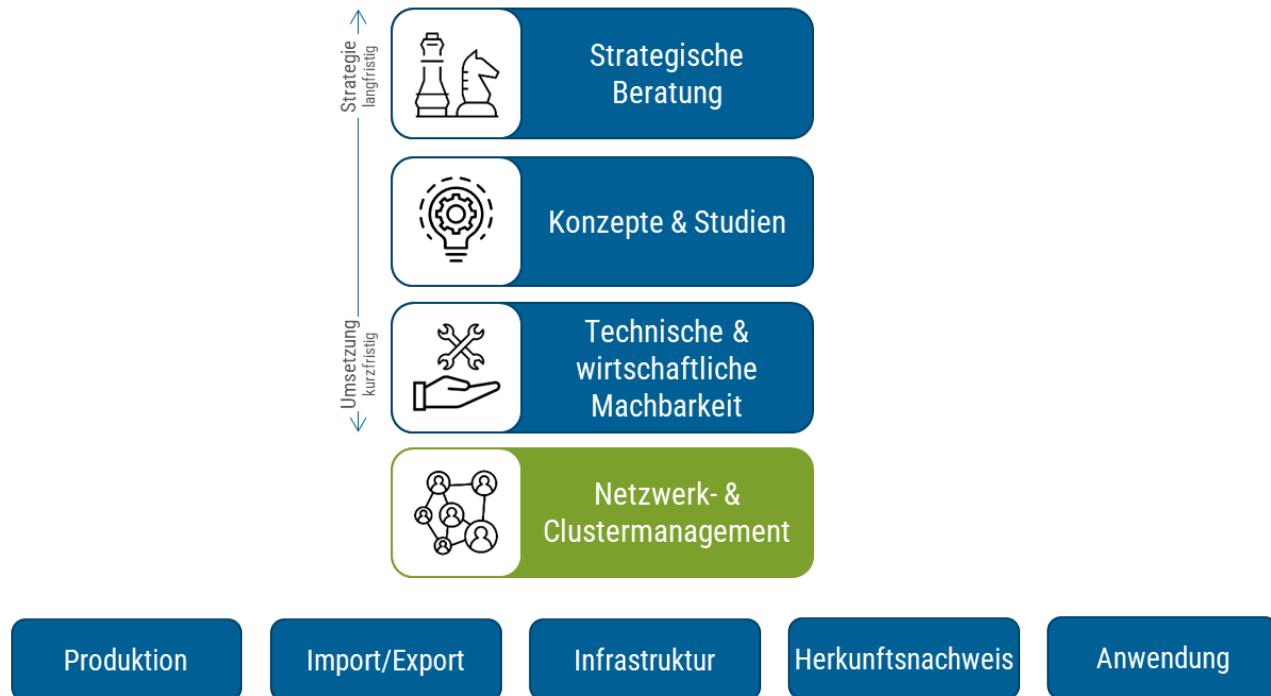
Circular  
Economy



Buildings

# SPEKTRUM UNSERER ARBEIT

Unsere Leistungen reichen von der Strategie bis zur konkreten Umsetzung



# HYDRO HUB – TÜV NORD GROUP



Engineering-Support  
Safety-Engineering  
Strategische und finanzielle Beratung  
Technische Begutachtungen

## H2-Erzeuger



Betriebsstrategien  
IT-Security  
Betriebsmonitoring und -überwachung  
Trassen- und Pipelineengineering für Trassen und Kavernen

## Netz- und Speicherbetreiber



Consulting und Engineering im Bereich Anlagen-, Prozess- und Verfahrenstechnik  
H2-Standortkonzepte (technisch/wirtschaftlich)  
Betreiberpflichtenmanagement

## Industrielle Anwender



## Unsere 360° Wasserstoffstrategie



## Mobilitätsanwendungen

H2-betriebene Fahrzeuge  
Reichweitenberechnungen  
Beratung zu Investitionen in  
H2-Fahrzeugflotten  
CO<sub>2</sub>-Abdruck-Berechnungen



## Öffentliche Hand

Erstellung lokaler Roadmaps  
Rechtliche Fragestellungen  
Umweltschutzgutachten



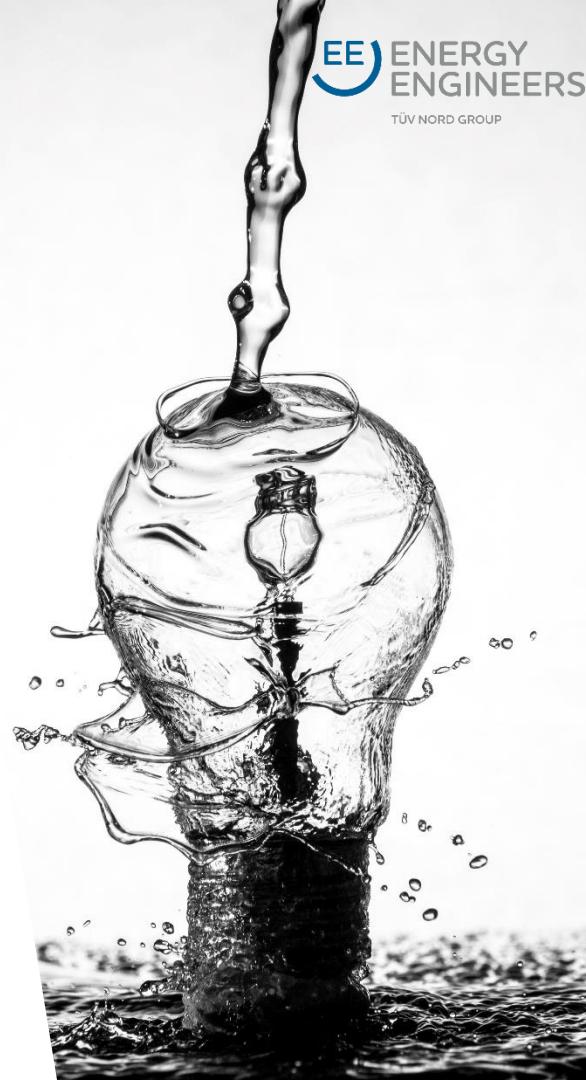
## Investoren

Beurteilung der Werthaltigkeit  
von Konzepten  
Due Diligence  
Financial Engineering  
Geschäftsmodelle

# AGENDA

---

- ④ Technische Möglichkeiten
- ④ Flächen und Infrastrukturen
- ④ Genehmigungen
- ④ Kosten und Wirtschaftlichkeit
- ④ Förderungen
- ④ Fazit



# AGENDA

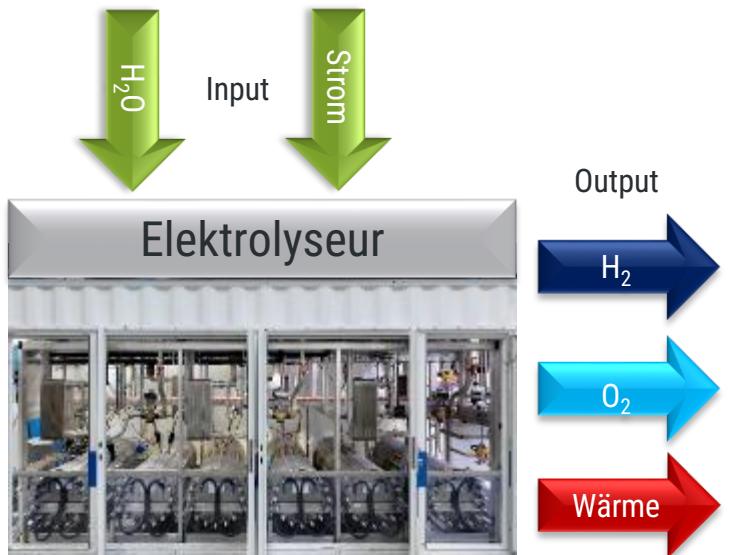
---

- ④ Technische Möglichkeiten
- ④ Flächen und Infrastrukturen
- ④ Genehmigungen
- ④ Kosten und Wirtschaftlichkeit
- ④ Förderungen
- ④ Fazit

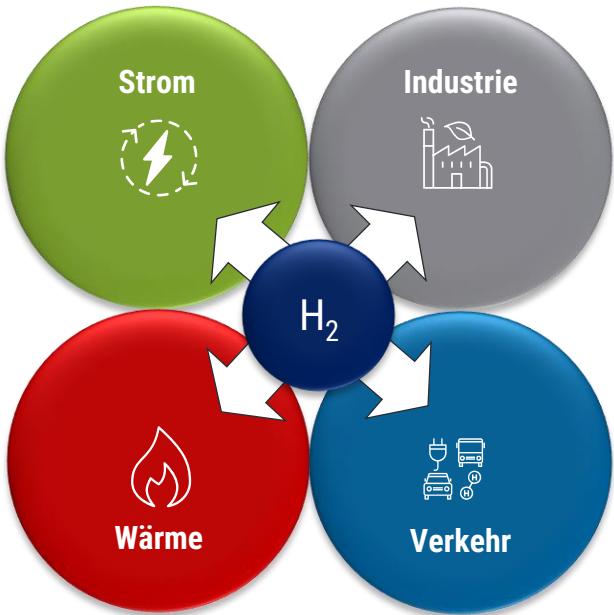


# WASSERSTOFFPRODUKTION PER ELEKTROLYSE

P2X



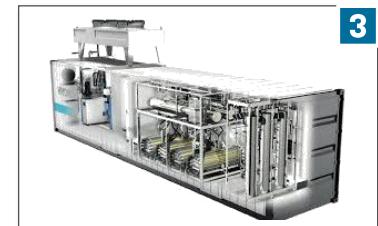
Sektorenkopplung



Quelle: HyLYZER

# H2-PRODUKTION AUS SONNEN- & WINDENERGIE

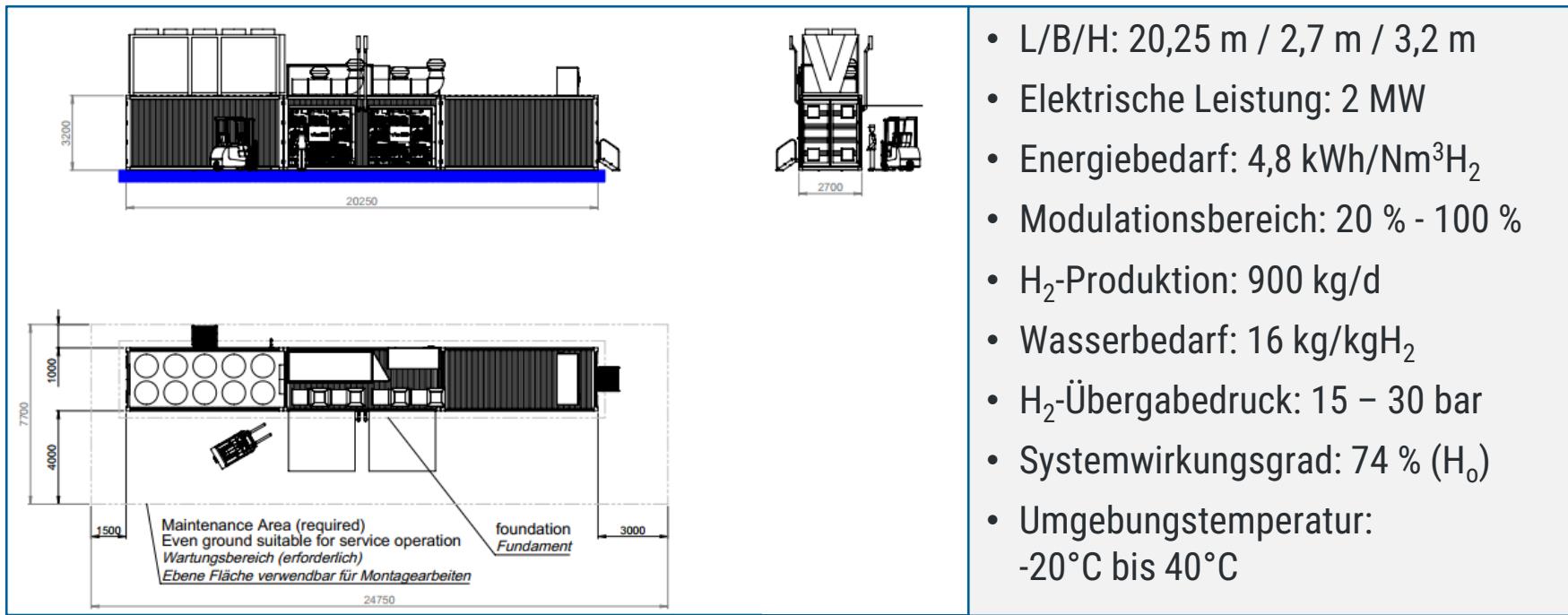
| H <sub>2</sub> -Erzeugung per Elektrolyse |   |
|---|---|
| Benötigte Komponenten                     | <ul style="list-style-type: none"><li>• PV-/Windpark oder Netzanschluss</li><li>• PEM- oder alkalischer Elektrolyseur inkl. Gastrocknung</li><li>• Verdichter für Speicherbefüllung oder Pipeline-Einspeisung</li></ul> |
| Technologiereife                          | Kommerziell erhältlich und breitflächig im Einsatz, zuverlässig und sicher  |
| Leistungsbereich                          | 2,4 - 20.000 kW → 1.000 kW Elektrolyseur = 400 kg H <sub>2</sub> /d (22h)   |
| Input/Output                              | Input: Ø 55 kWh <sub>el</sub> + 13,5 l Frischwasser pro kg Wasserstoff<br>Output: 1 kg H <sub>2</sub> + 8 kg Sauerstoff + 50 - 60 °C Abwärme (20 %) + 4,5 l Retentat  |
| Hersteller                                | Elogen (35 bar), Enapter (35 bar), Fest (40 bar), h-tec (30 bar), ITM Power (20 bar), NEL (1 - 200 bar), ThyssenKrupp Nucera (atm.), Siemens (atm.), ...  |
| Platzbedarf                               | Indoor- oder Containerlösung (Standardcontainern 20 ft - 40 ft)   |
| Planungs- & Errichtungszeit               | Erfahrungswerte über 2 Jahre  |
| Einsatzmöglichkeit                        | Stromverwendung aus PV und Wind oder Netznutzung<br>Wasserstoffverwendung für Mobilität, Industrie, Energie, Quartiere/Gebäude  |



⑧ 1 Pixabay (Lizenzfrei) | 2 ASCORI | 3 Hydrogenics

# ELEKTROLYSEUR

Exemplarisch: H-TEC SYSTEMS Hydrogen Cube System (HCS) – 2 MW



Quelle: H-TEC SYSTEMS

# ELEKTROLYSEUR: AUSGEFÜHRTE ANLAGEN



Source: Shell

## REFHYNE, Shell Raffinerie Köln

- Verwendung von grünem H<sub>2</sub> für Raffinerieprozesse und Betankung
- 10-MW-PEM-Elektrolyseur: 1.300 t H<sub>2</sub>/a
- In Betrieb seit Juli 2021



Source: AWG

## AWG, Wuppertal Wirtschaftsbetriebe

- Verwendung von grünem H<sub>2</sub> aus MHKW-Strom (50 % Bioabfälle) für Betankung von BZ-Bussen und Müllfahrzeugen
- 1-MW-PEM-Elektrolyseur: 400 kg H<sub>2</sub>/d
- In Betrieb seit Mai 2020

# ELEKTROLYSEUR: AUSLEGUNG

## Basierend auf erneuerbarer Stromerzeugung:

- ④ **Windpark:** Elektrolyseur-Leistung = 40 bis 60 % der Windparkleistung
- ④ **PV-Park:** Elektrolyseur-Leistung = 10 bis 30 % der PV-Parkleistung
- ④ **Anschlussleistung Elektrolyse:** bis 30 % höher für weitere Verbraucher

| Vollaststunden<br>EE-Anlage | Vollaststunden<br>Elektrolyseur |
|-----------------------------|---------------------------------|
| Wind: 2.200 h               | 3.500 – 4.000 h                 |
| PV: 1.000 h                 | 2.500 – 3.000 h                 |

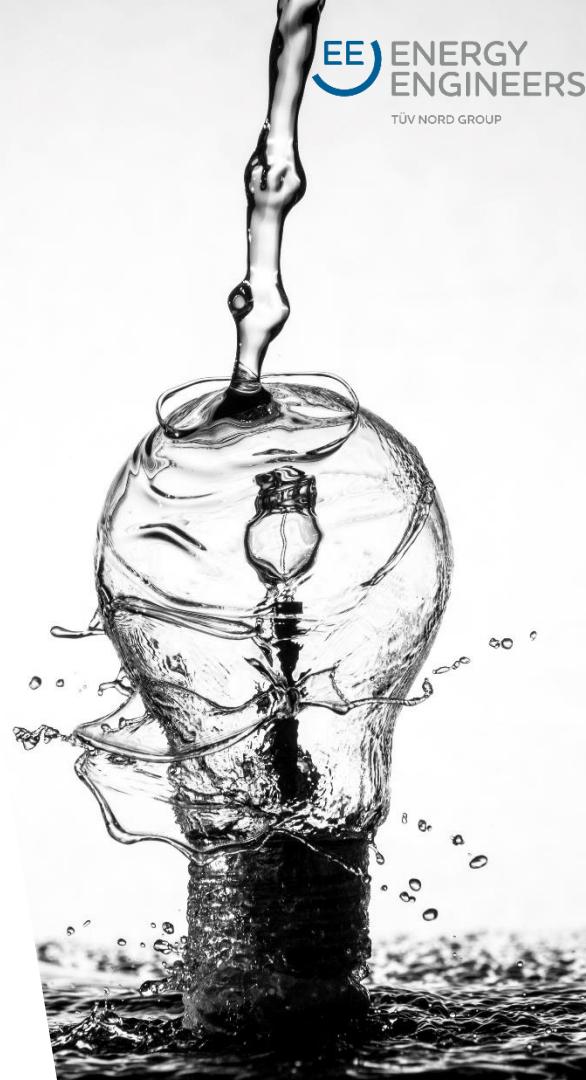
## Steigerung der Vollaststunden:

- ④ Überlastfähigkeit der PEM-Elektrolyseure (bis auf 200 %)
- ④ Power-Purchase-Agreements (PPA)

# AGENDA

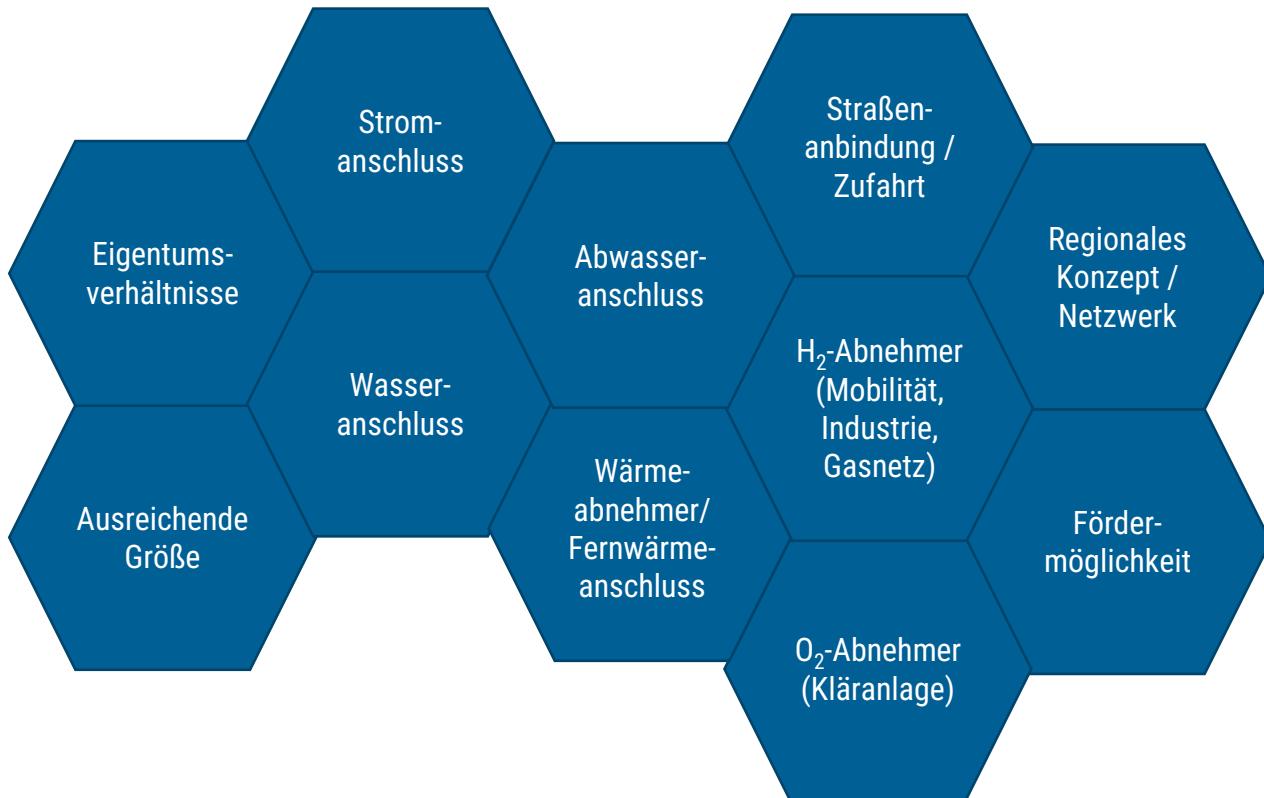
---

- ④ Technische Möglichkeiten
- ④ Flächen und Infrastrukturen
- ④ Genehmigungen
- ④ Kosten und Wirtschaftlichkeit
- ④ Förderungen
- ④ Fazit



# FLÄCHENANFORDERUNGEN

Kurzüberblick



# AGENDA

---

- ④ Technische Möglichkeiten
- ④ Flächen und Infrastrukturen
- ④ Genehmigungen
- ④ Kosten und Wirtschaftlichkeit
- ④ Förderungen
- ④ Fazit



# GENEHMIGUNG

Es sind 5 Rechtsgebiete zu beachten:

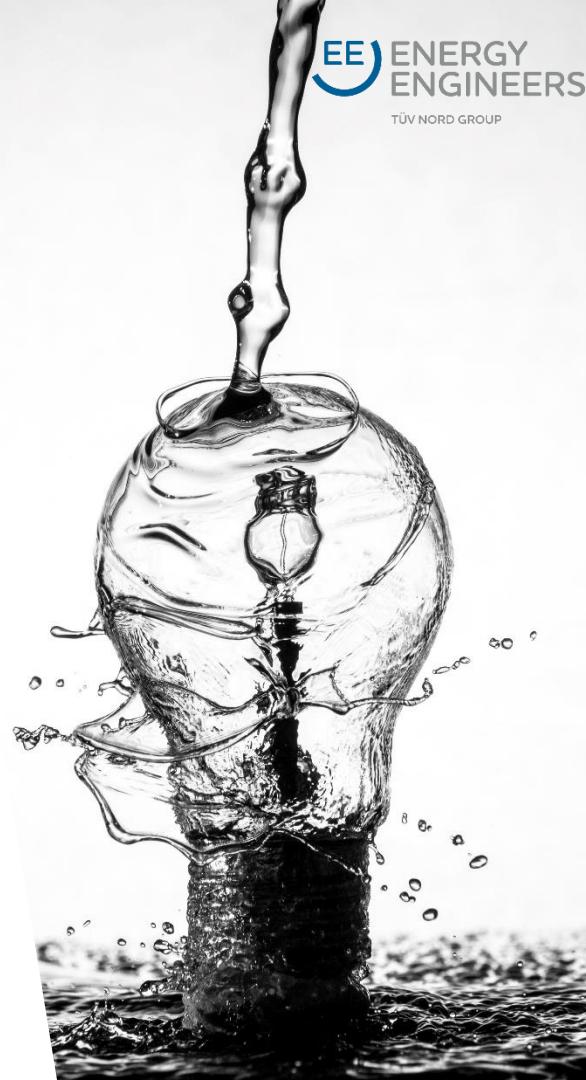
|   |   |   |                     |
|---|---|---|---------------------|
| <b>Baugesetz</b><br><br>Anwendung:<br><br>immer | <b>Arbeitsschutz</b><br>(Gefährdungsanalyse Arbeitsplatz)<br><br>Anwendung: immer             | <b>Störfallrecht</b><br>(12. BImSchV)<br><br>Anwendung: Lagerung > 5t   | Sicherheitsabstände |
|   | <b>Brandschutz, Gefahrenabwehr</b><br>(Brandschutzkonzept, Alarmplan)<br><br>Anwendung: immer | <b>Immissionsschutzgesetz</b><br>(4. BImSchV)<br><br>Anwendung: <ul style="list-style-type: none"><li>- Lagerung &gt; 3t</li><li>- Produktion</li></ul> |                     |

Quelle: nach Hamburger Hochbahn

# AGENDA

---

- ④ Technische Möglichkeiten
- ④ Flächen und Infrastrukturen
- ④ Genehmigungen
- ④ Kosten und Wirtschaftlichkeit
- ④ Förderungen
- ④ Fazit



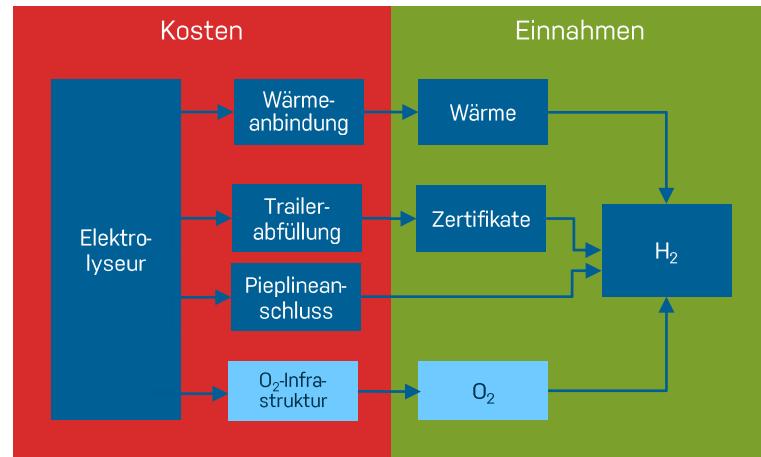
# KOSTEN UND WIRTSCHAFTLICHKEIT

## Kosten:

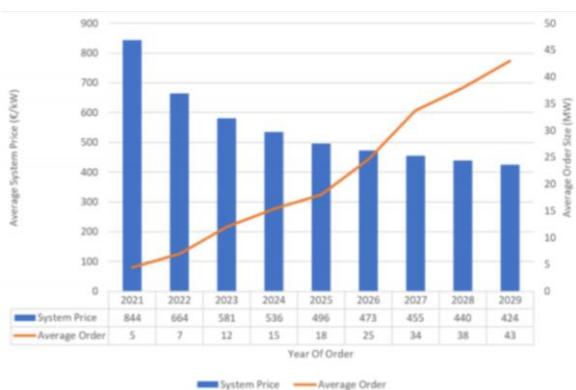
- ④ **CAPEX**: Planung/Genehmigung, Bau, Hardware, Installation, Anschlüsse vor Ort
- ④ **OPEX**: Miete, Personal, Wartung, Versicherung, Ersatzteile, Strom, Wasser und Abwasser

## Einnahmen:

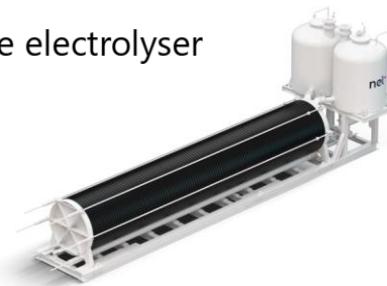
- ④ H<sub>2</sub>-Erlös (Mobilität >> Industrie)
- ④ H<sub>2</sub>-Zertifikate: bei Verwendung in der Mobilität
- ④ Wärmeerlös
- ④ Sauerstofferlös



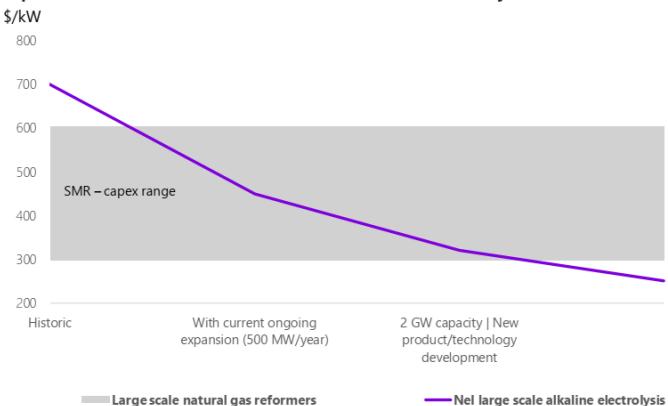
# KOSTEN ELEKTROLYSE



20 MW alkaline electrolyser

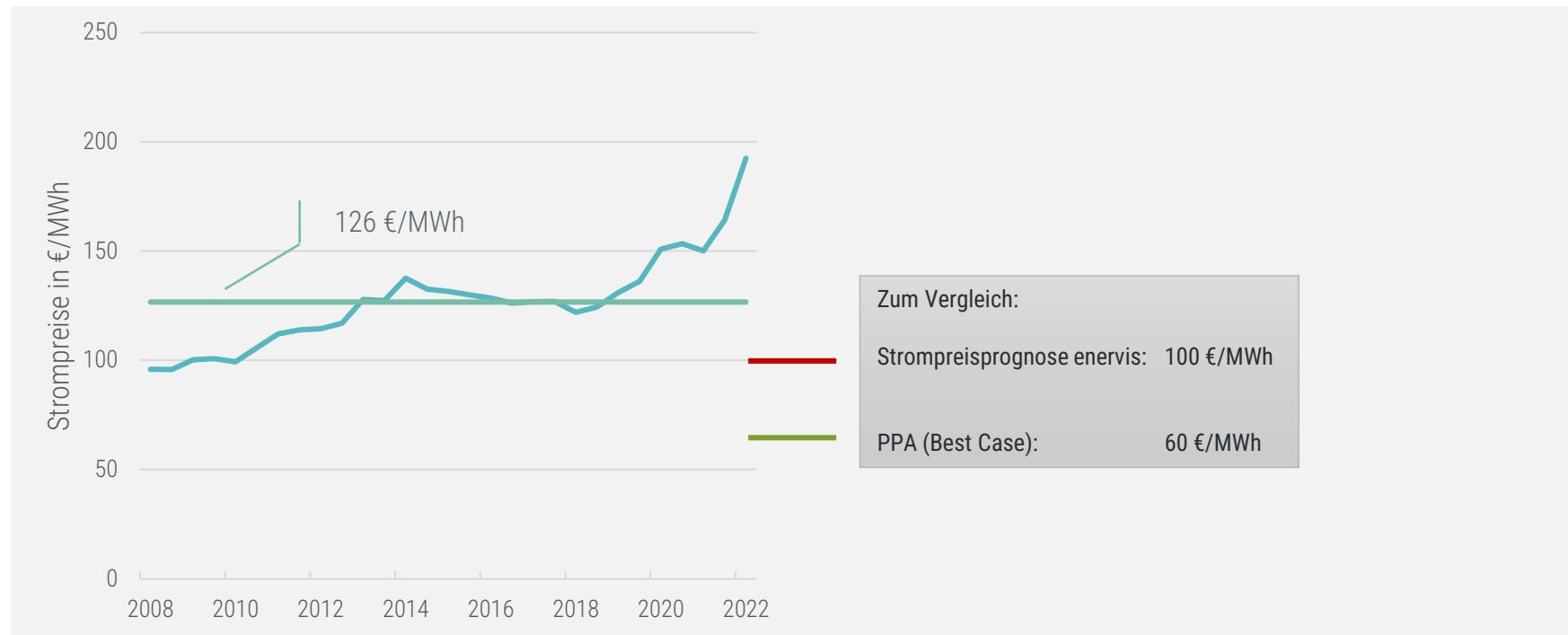


Capex of steam methane reformers (SMR) vs. Nel's alkaline electrolyzers



# STROMPREIS

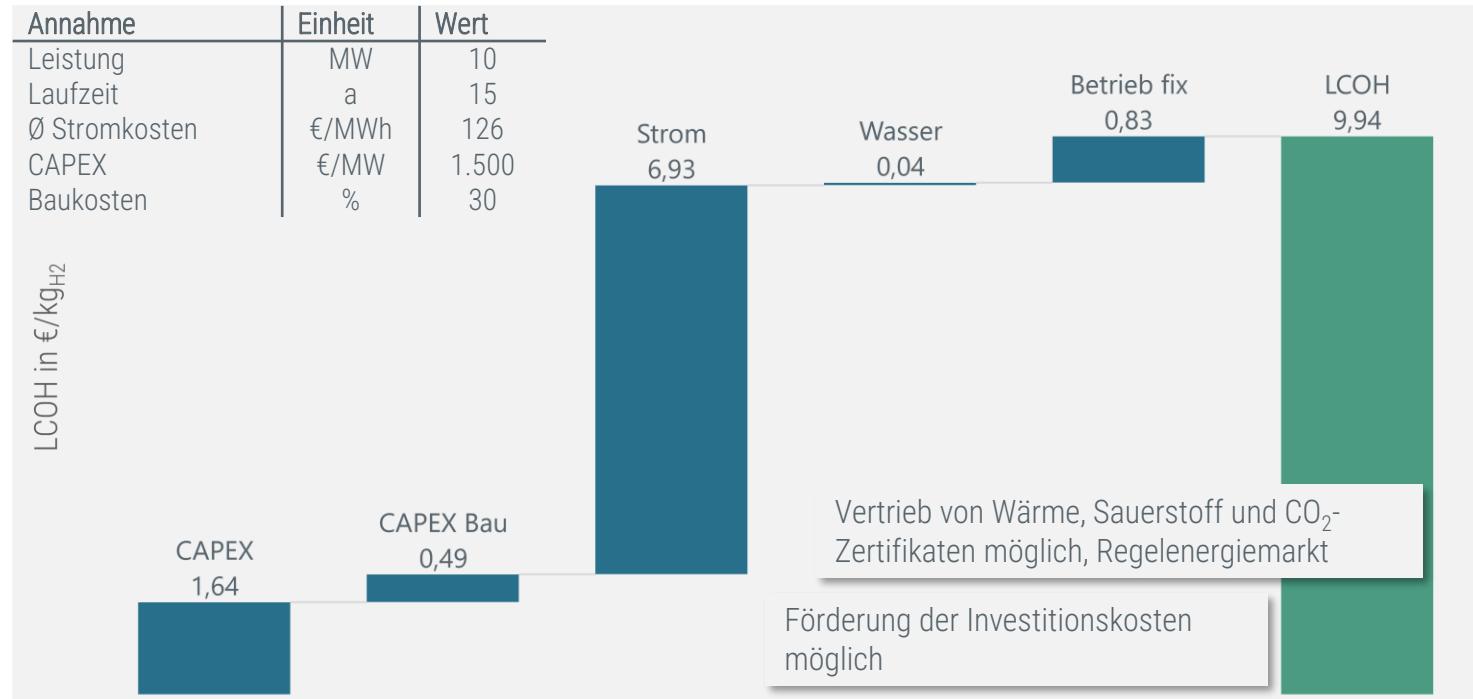
Strompreisentwicklung für Industriekunden (2.000 – 20.000 MWh)



Strompreise für Industriekunden nach destatis 2022

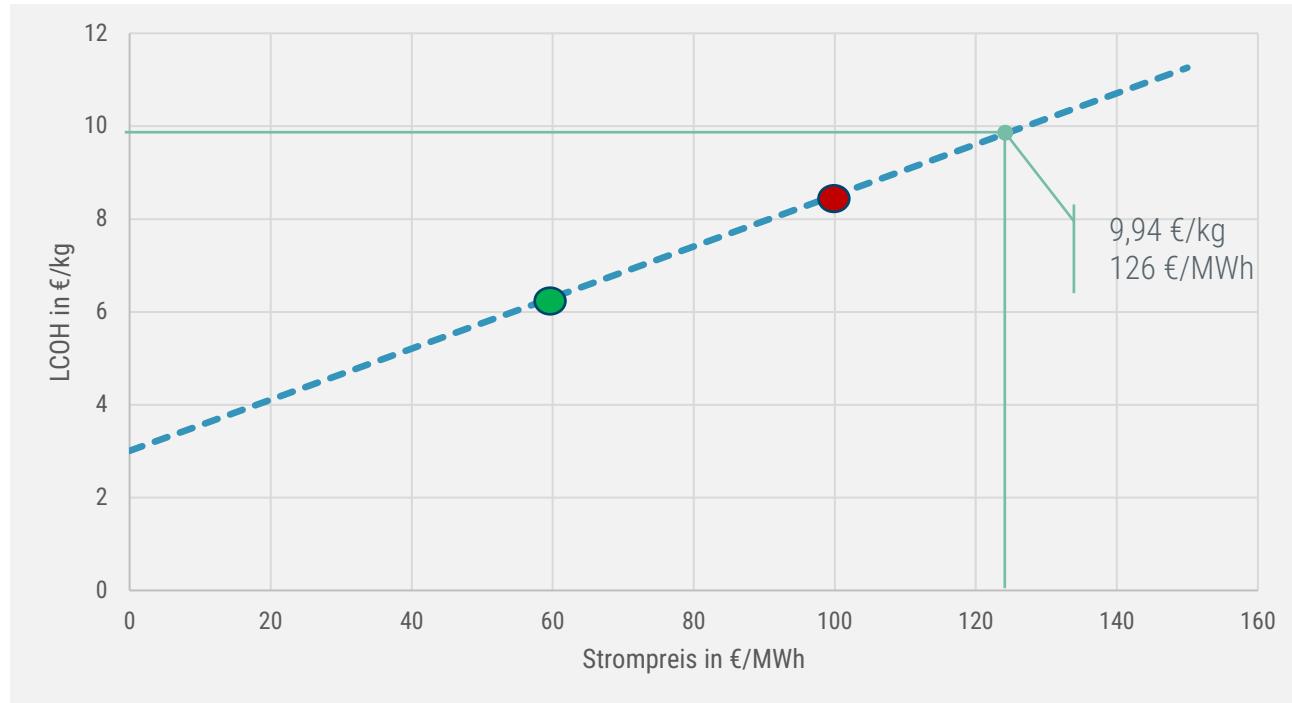
# WASSERSTOFFGESTEHUNGSKOSTEN (LCOH)

Wasserstoffgestehungskosten einer 10 MW PEM-Elektrolyse



# DIE WASSERSTOFFGESTEHUNGSKOSTEN STEIGEN MIT DEN STROMKOSTEN

LCOH abhängig von den Strompreisen mit sonst unveränderten Annahmen

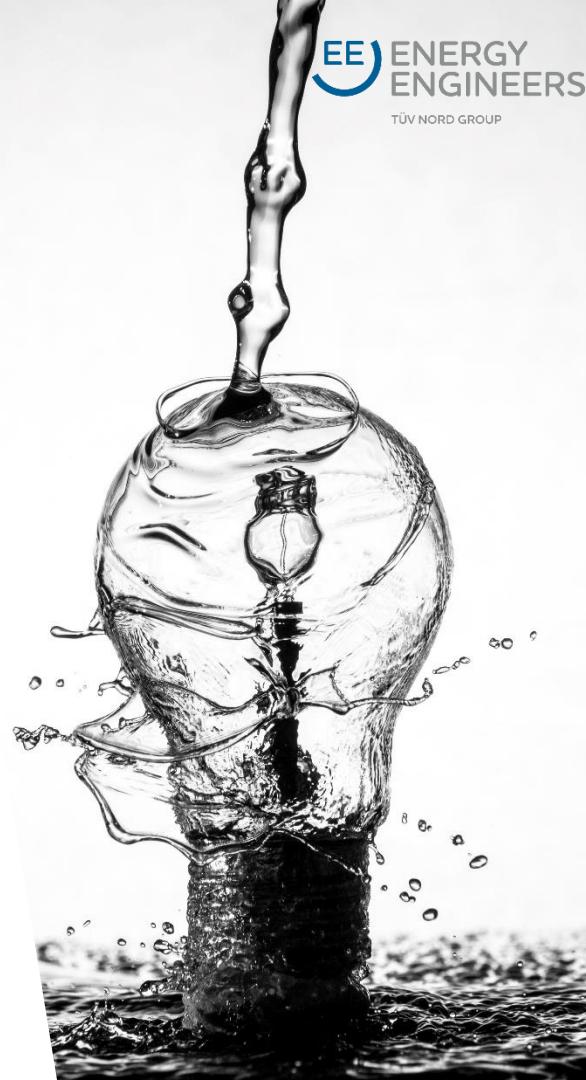


Darstellung auf Basis eigener Berechnungen

# AGENDA

---

- ④ Technische Möglichkeiten
- ④ Flächen und Infrastrukturen
- ④ Genehmigungen
- ④ Kosten und Wirtschaftlichkeit
- ④ Förderungen
- ④ Fazit



# FÖRDERUNGEN

---

## Bund, u.a.:

- **CAPEX-Kosten:** Förderung **Elektrolyseure** von 45 % der Investitionskosten (100 % EE-Strom) für Mobilitätsanwendungen/öffentliche H2-Tankstellen (BMDV); in **Q1/2023** stehen 80 Mio. EUR zur Verfügung
- **Erlösoptimierung durch Umsetzung der RED II** (THG-Quote, 22 % bis 2030): Über Quotenübertragungsverträge können zusätzliche Einnahmen generiert werden (derzeit 400 EUR/t, etwa 5-8 EUR/kg H2)
- **Programm Klimaschutzverträge:** Noch **keine CCfD für Industrie** (Mehrkostenförderung ggü. CO<sub>2</sub>-Zertifikaten)

## Bundesländer, hier als Beispiel NRW:

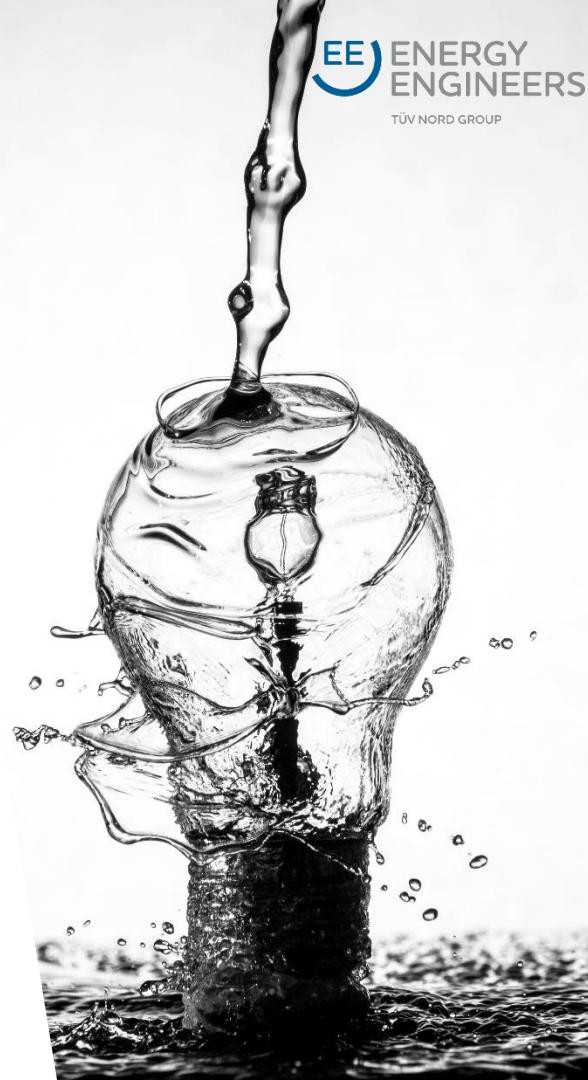
- **CAPEX-Kosten:** Förderung **Elektrolyseure** von 45 % der Investitionskosten (100 % EE-Strom) für Mobilitätsanwendungen/nicht-öffentliche H2-Tankstellen,
- **CAPEX-Kosten:** Förderung **Elektrolyseure**, Wasserstoffspeicher und wasserstoffbasierte Heizkessel in Verbindung mit PV-Anlage: **max. 40 Prozent** (max. 110.000 Euro)



# AGENDA

---

- ④ Technische Möglichkeiten
- ④ Flächen und Infrastrukturen
- ④ Genehmigungen
- ④ Kosten und Wirtschaftlichkeit
- ④ Förderungen
- ④ Fazit



# FAZIT

Regionale Wasserstofferzeugung ermöglicht lokale Wertschöpfung und Netzentlastung

Heimische Wind- und PV-Potentiale können genutzt werden, Abschaltung der Anlagen (Post-EEG) wird vermieden

Regionale Verfügbarkeit von Wasserstoff ermöglicht zeitigen Aufbau der H2-Wirtschaft unabhängig vom Hydrogen Backbone

Heimischer Wasserstoff kann kompetitiv mit Importwasserstoff sein, allerdings sind die Business Cases genau zu analysieren

H2-Infrastrukturen (Pipelines und Tankstellen) sind unter Einbeziehung der potenziellen Nachfrager zu planen bzw. umzustellen

**Abwarten ist keine Option!**

**Chancen und Grenzen der H2-Wirtschaft sollten jetzt untersucht werden, Umsetzungszeiträume sind zu beachten**



Zukunft. Nachhaltig. Gestalten.



**Dr. Thomas Kattenstein**

Managing Consultant

Tel.: +49 173 251 273 9

kattenstein@energy-engineers.de



Wissenschaftspark, Munscheidstraße 14, 45886 Gelsenkirchen

Sitz der Gesellschaft: Gelsenkirchen

Registergericht: Amtsgericht Gelsenkirchen, HRB 8017

Geschäftsführung: Dr. Andreas Ziolek