



# AUSLEGUNG EINES ELEKTROLYSEURS FÜR EINEN WINDPARK

**DEUTSCHE**  
**WINDGUARD**

Dr.-Ing. Dennis Kruse  
31. Windenergietage | Forum 9 | 9. November 2023

# AGENDA

ÜBER UNS

AUSLEGUNG ELEKTROLYSEUR

FAZIT

# ÜBER UNS

„Unser Ziel ist es, dass in Zukunft  
80 bis 90 Prozent des weltweiten Energiebedarfs  
aus Erneuerbaren gedeckt werden.“

Gerhard Gerdes, Axel Albers, Dr. Knud Rehfeldt –  
Gründer Deutsche WindGuard



© Urs Siedentorp/Radius Media

# AUF EINEN BLICK

## ERFAHRUNG

- gegründet im Jahr 2000
- umfangreich akkreditiert und zertifiziert
- Mitgestalter in Fach- und Normungsgremien

## EXPERTISE

- 200 Mitarbeiter
- darunter zahlreiche Ingenieure, Physiker, Techniker und Experten weiterer Fachgebiete

## SCHWERPUNKTE

### 50 verschiedene Dienstleistungen in den Bereichen:

- Consulting & Standortanalysen
- Messungen
- Windkanalzentrum
- Technische Inspektionen & Betriebsführung
- Offshore
- Zertifizierung

## KUNDEN

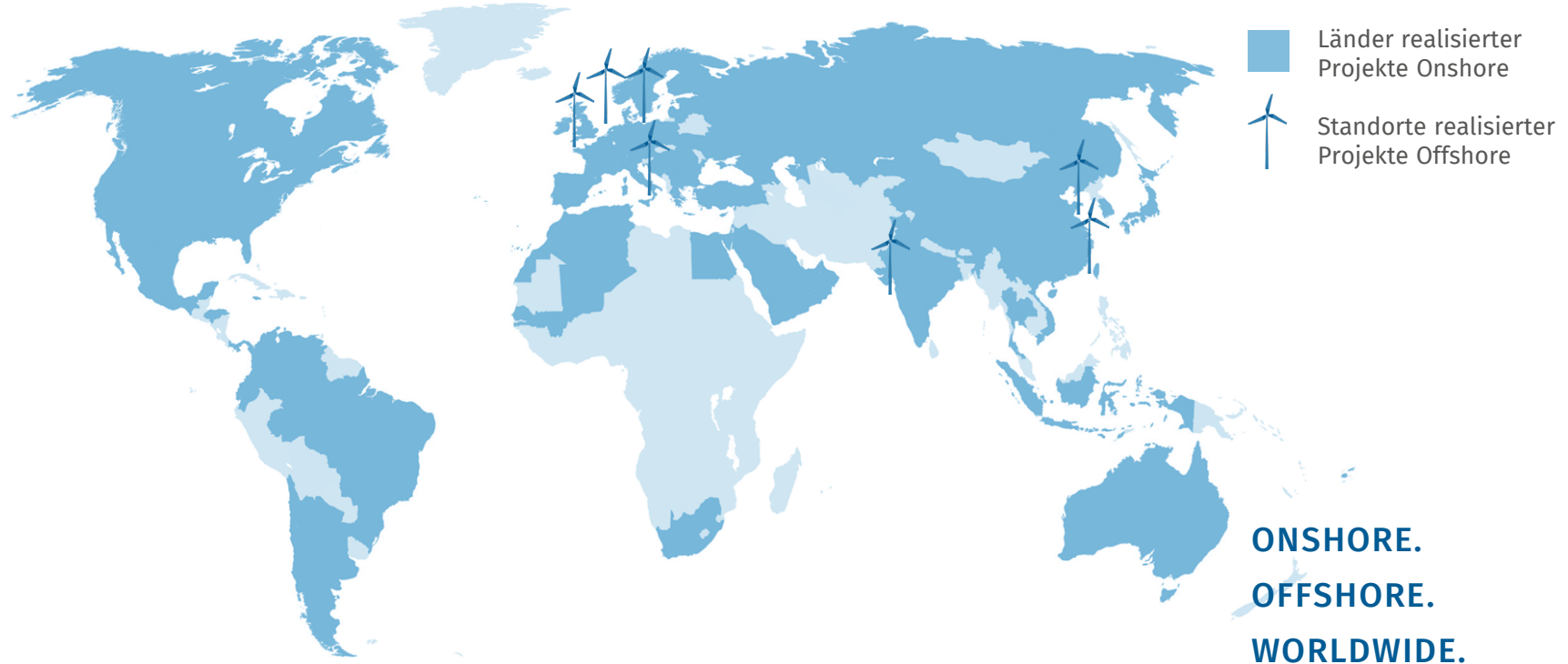
- Hersteller von Windenergieanlagen und Komponenten
- Projektentwickler
- Investoren
- Banken
- Finanzierer
- Windparkbetreiber
- Regierungen und Ministerien

## STANDORTE



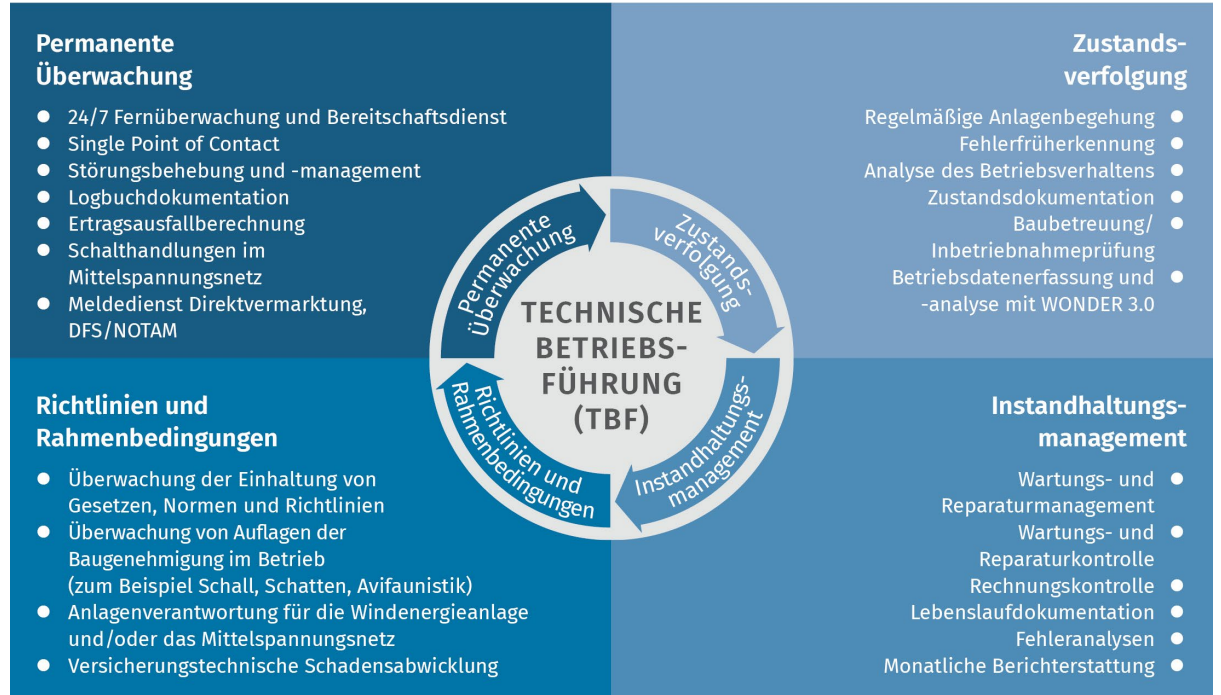
Über uns

# WELTWEIT FÜR SIE IM EINSATZ



# TECHNISCHE BETRIEBSFÜHRUNG

- 380 Windenergieanlagen
- in 82 Windparks
- > 910 MW



# AUSLEGUNG ELEKTROLYSEUR

# AUSGANGSLAGE



**Bundesweit häufige Abregelung von Windenergieanlagen wegen Netzengpässen o.ä.**



**Umspannwerk in der Region eines ausgewählten Windparks in 2020 mit einem Anteil von 14 % der Betriebsdauer von vollständiger Abschaltung betroffen**

## **ZIEL:**

- Ansätze zur Verhinderung der Abregelung von erneuerbaren Stromerzeugungsanlagen entwickeln
- Möglicher Ansatz ist die Nutzung von abzuregelndem Strom aus Wind und PV für die Erzeugung von grünem Wasserstoff

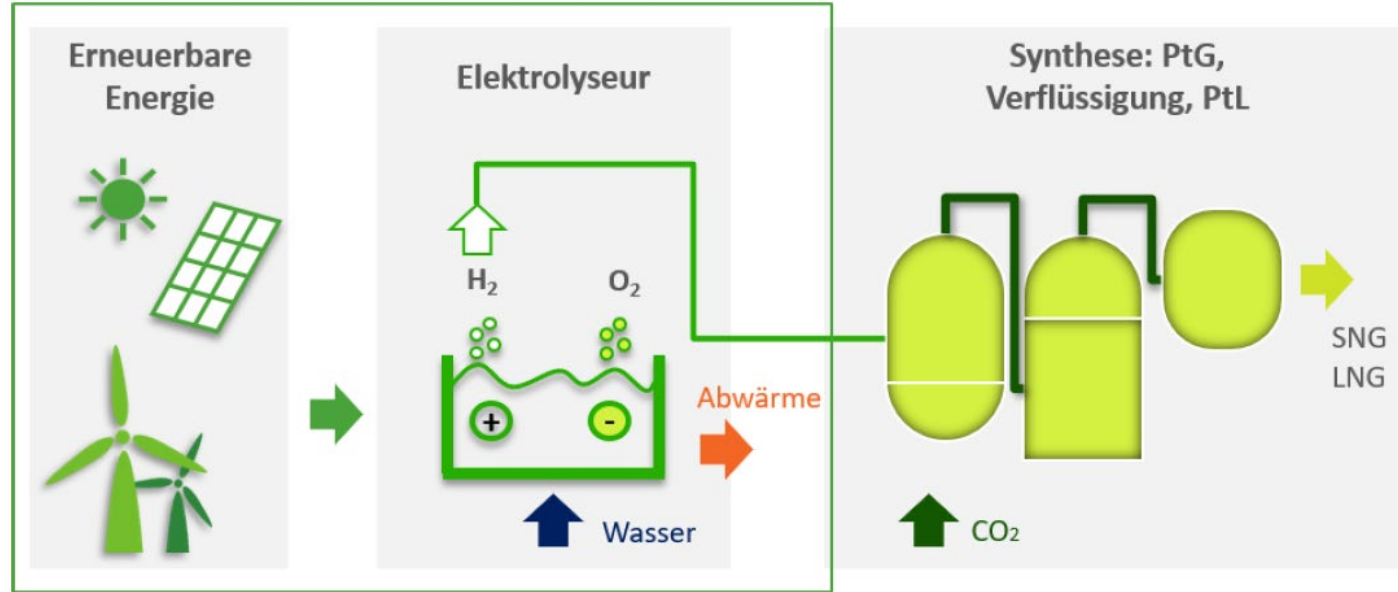


# ARBEITSPAKETE

1. Berechnung der Wasserstoffmengen für das aufgeführte Szenario in  $\text{Nm}^3$  und kg in 10-Min Schritten sowie die Gesamtsumme für das Betriebskonzept „minimale Wasserstoffgestehungskosten“ (Berechnungsgrenze: Ausgang des Elektrolyseurs, ohne Speicherung und Netzeinspeisung).
2. Ermittlung der Gestehungskosten in €/kg und €/Nm<sup>3</sup> für das aufgeführte Szenario für den Elektrolyseur mit den geringsten Wasserstoffgestehungskosten.
3. Darstellung der Auslastung des ermittelten, passenden Elektrolyseurs im PtG-Simulationstool für das aufgeführte Szenario für das Betriebskonzept „minimale Wasserstoffgestehungskosten“.
4. Ermittlung der benötigten Wassermenge für das aufgeführte Szenario, für den Prozess der Elektrolyse (Wasserstoffherstellung) für den Elektrolyseur mit den „geringsten Wasserstoffgestehungskosten“.
5. Darstellung der Mengen der Nebenprodukte Sauerstoff und Wärme für das aufgeführte Szenario für den Elektrolyseur mit den „geringsten Wasserstoffgestehungskosten“.

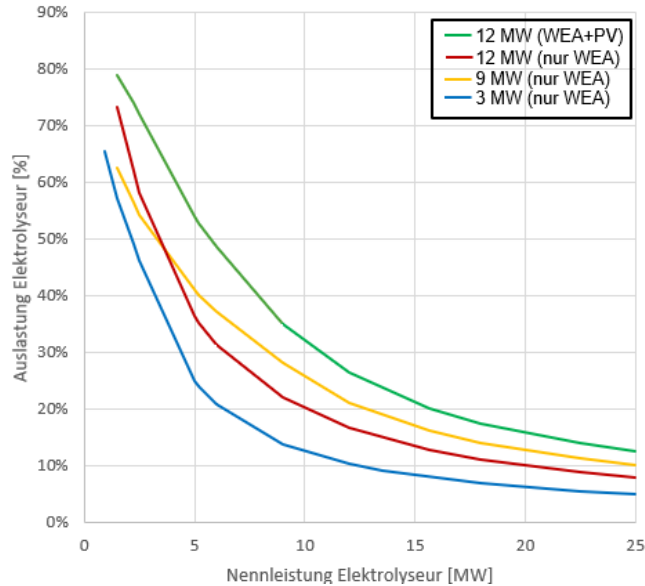
# PROZESSKETTE

Bei der PtG Simulation wird der grün umrandete Bereich (Erneuerbare Energien → Wasserstoff) betrachtet.



# SIMULATION AUF BASIS VON 10-MIN DATEN

Auslastung eines Elektrolyseurs bei unterschiedlichen Nennleistungen und Leistungsprofilen von Erneuerbaren Energien Anlagen



Die rote Linie in der Grafik zeigt die Auslastungskurve der Elektrolyseure mit der Kopplung eines Windparks (12 MW Gesamtleistung) an der Küste.

Die grüne Linie in der Grafik zeigt die Auslastungskurve der Elektrolyseure mit der Kopplung eines Wind- und PV-Parks (12 MW Gesamtleistung) im Binnenland.

Bei der selben Gesamtleistung der Erzeuger von 12 MW ergeben sich unterschiedliche Auslastungskurven bei der PtG Simulation mit 10-Min Daten. Grund dafür sind die unterschiedlichen und fluktuierenden Leistungsprofile sowie die verschiedenen Standorte der EE-Anlagen.

**Es ist somit für jedes Projekt notwendig die variierende Auslastung und in Folge die variierenden Wasserstoffgestehungskosten zu berechnen.**

# BERECHNUNGSGRUNDLAGEN

Bezeichnung	Wert	Einheit
Ausgewählter Windenergieanlagentyp	5 x Senvion 3.4M-104	-
Anschlussleistung der Windenergieanlagen	17	MW
Jahr der Winddatenaufnahme	2020	Jahr
Überschussprofil	Siehe <u>Anhang 1</u> .	-
Gestehungskosten	3,8	ct/kWh
Gewähltes Elektrolyseur Betriebskonzept	Minimale Wasserstoffkosten Bandbezug	-
Wasserbezug	1,5	l/Nm <sup>3</sup>
Oberer Heizwert Wasserstoff	3,54	kWh/Nm <sup>3</sup>
Dichte Wasserstoff	0,0899	kg/Nm <sup>3</sup>
Betriebsdauer des Elektrolyseurs	15	a

# BERECHNUNGSGRUNDLAGEN

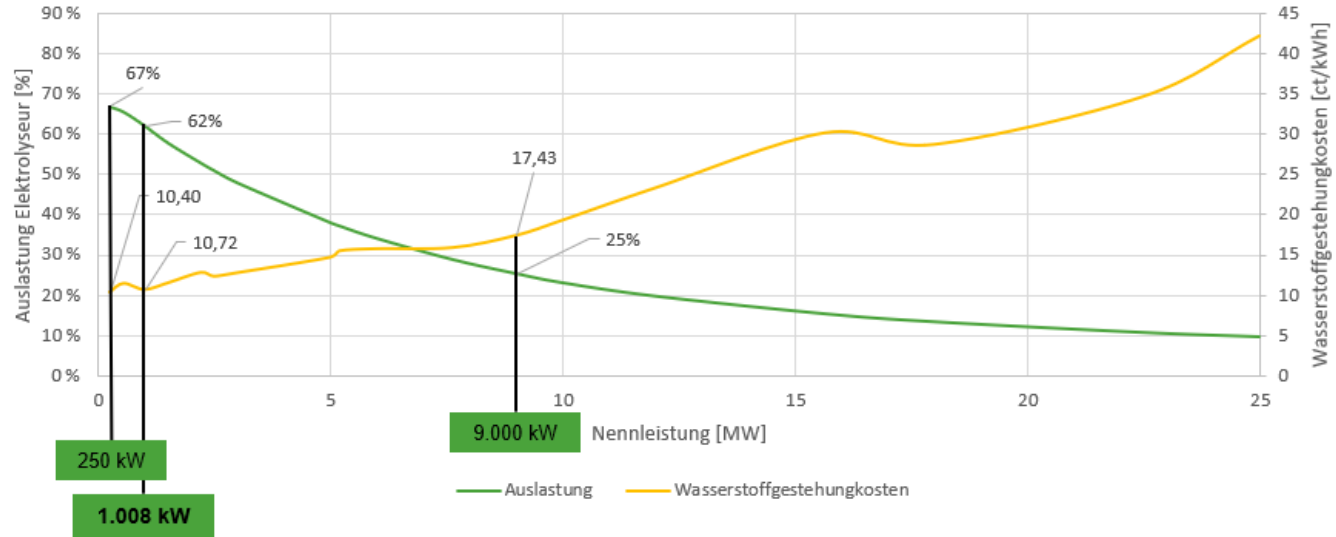
## BERECHNUNGSMETHODIK DES ÜBERSCHUSSPROFILS:

**Das Überschussprofil dient als Grundlage für die PtG Simulation und wird wie folgt berechnet:**

- Die einzelnen Leistungen der Windenergieanlagen werden pro jeweiligem 10-Min Schritt addiert. Der Eigenverbrauch der Windenergieanlagen wird nicht berücksichtigt. Das bedeutet, die in den 10-Min Daten vorhandenen Minuswerte werden auf Null gesetzt.
- Das Überschussprofil enthält 52.704 Werte, da das Betrachtungsjahr 2020 ein Schaltjahr ist.

Energiemengen aus	Wert	Einheit
Berechnetes Überschussprofil	20.996.755	kWh

# AUSWAHL DES ELEKTROLYSEURS



## ERGEBNIS DER ANALYSE:

Die Grafik zeigt die Wasserstoffgestehungskosten im Verhältnis zu der Auslastung des jeweiligen Elektrolyseurs. Die Kurve der Wasserstoffgestehungskosten verläuft nicht linear, da die unterschiedlichen Elektrolyseure verschiedene Systemverbräuche haben. Eine Auslastung von über 50 % erreichen die Elektrolyseure mit einer geringeren Nennleistung als 2.500 kW.

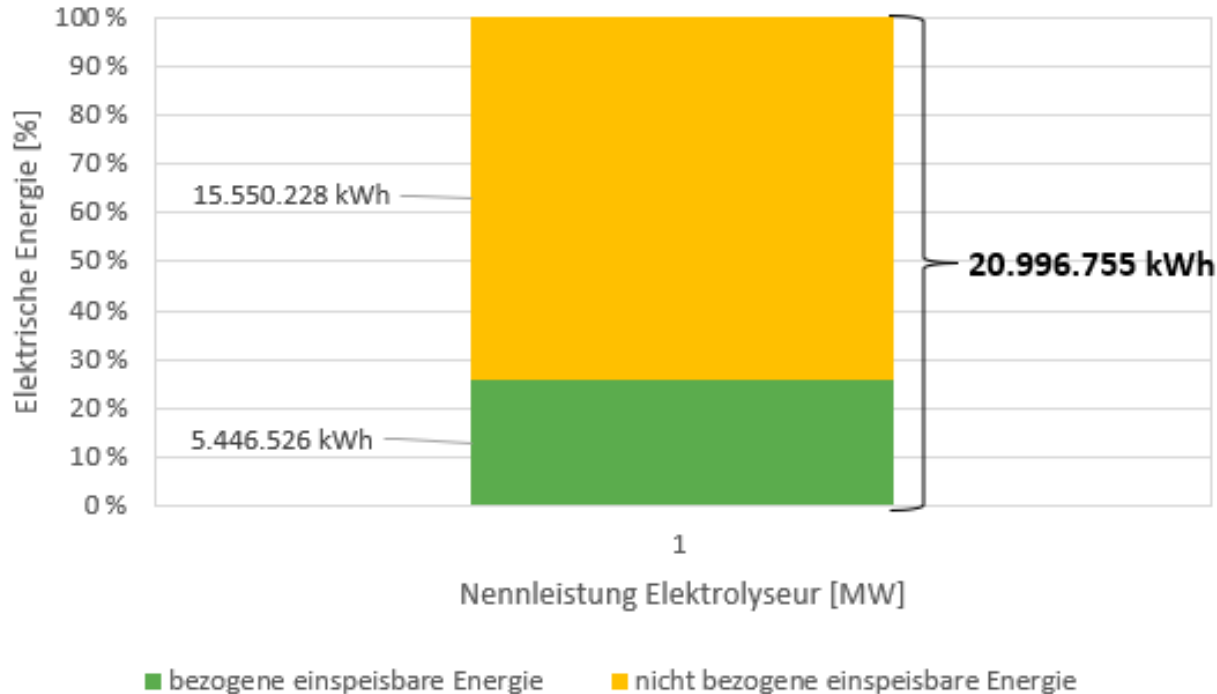
# AUSWAHL DES ELEKTROLYSEURS

Nennleistung Elektrolyseur [kW]	Auslastung Elektrolyseur [%]	Wasserstoffgestehungskosten [ct/kWh]
250	67	10,40
<b>1.008</b>	<b>62</b>	<b>10,72</b>
9.000	25	17,43

## ERGEBNIS DER ANALYSE:

Im Folgenden werden die Berechnungen für den 1.008 kW Elektrolyseur betrachtet, da dieser das beste Kosten-Nutzen-Verhältnis aufweist. Der 250 kW Elektrolyseur weist zwar geringere Wasserstoffgestehungskosten auf, produziert jedoch 74 % weniger Wasserstoff. Der betrachtete 1.008 kW Elektrolyseur ist vom Hersteller H-TEC SYSTEMS (Modell: ME450/1400; Systemverbrauch: 4,8 kWh/Nm<sup>3</sup>).

# BERECHNUNG DER WASSERSTOFFMENGEN



Von den 20.996.755 kWh (Überschussprofil) werden 5.446.526 kWh für den Prozess der Elektrolyse genutzt.

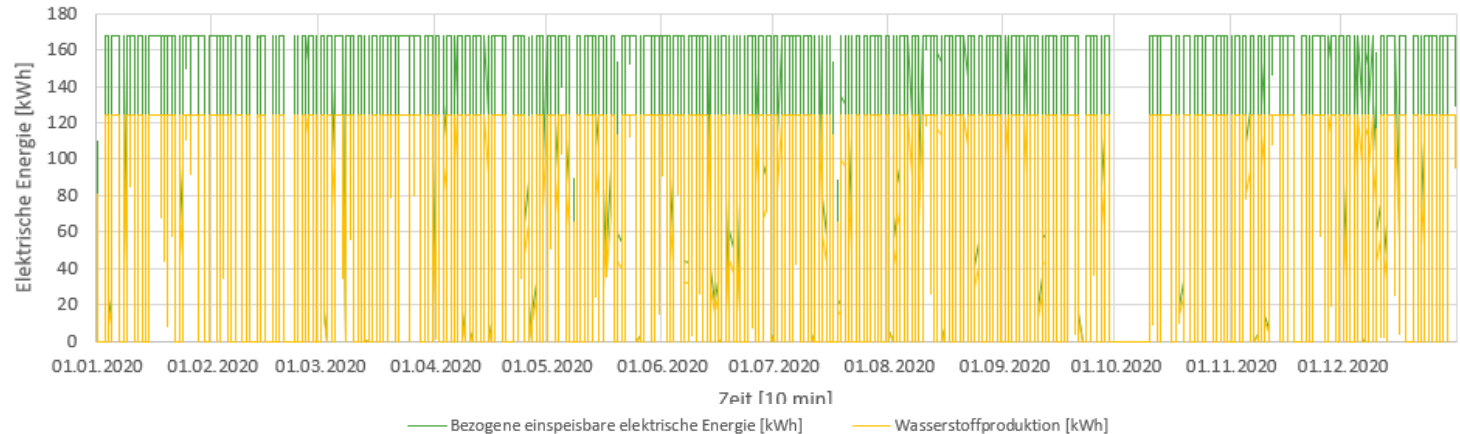
15.550.228 kWh (74 %) des Überschussprofils werden nicht für die Umwandlung in Wasserstoff verwendet, da der 1.008 kW Elektrolyseur nicht die Kapazität hat, die gesamte elektrische Energie in Wasserstoff umzuwandeln.

Diese kann ins Netz eingespeist werden.



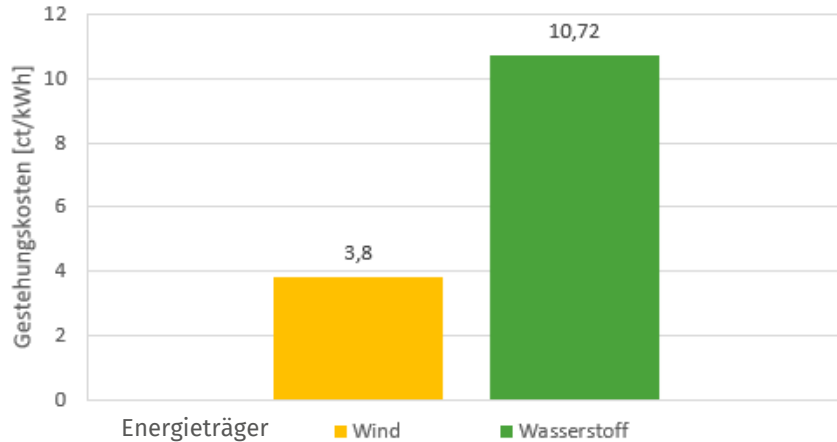
# BERECHNUNG DER WASSERSTOFFMENGEN

Energieträger	Menge		
	[kWh/a]	[kg/a]	[Nm <sup>3</sup> /a]
El. Energie Wind	5.446.526	X	X
Wasserstoff	4.024.693	101.986	1.134.693



# WASSERSTOFFGESTEHUNGSKOSTEN

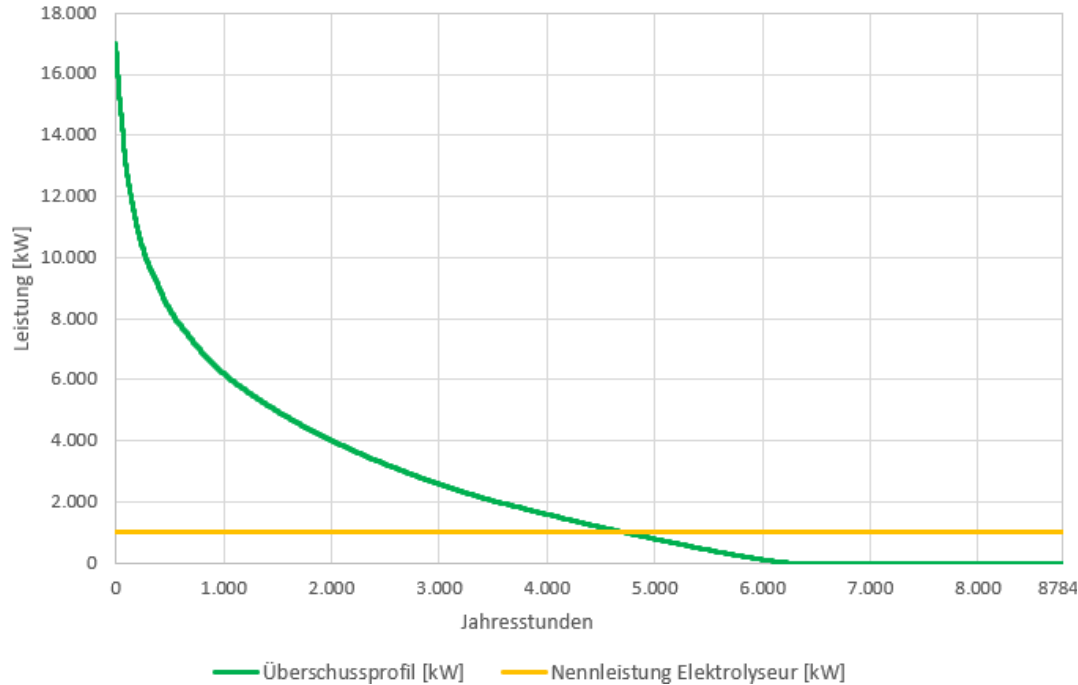
Energieträger	Gestehungskosten		
	[ct/kWh]	[€/kg]	[€/Nm <sup>3</sup> ]
El. Energie Wind + PV	3,8	X	X
Wasserstoff	10,72	4,22	0,38



## ERGEBNIS DER ANALYSE:

Die Wasserstoff-  
gestehungskosten  
liegen bei 10,72 ct/kWh

# AUSLASTUNG DES ELEKTROLYSEURS



Auslastung  
Elektro-  
lyseur  
[%]

62

Auslastung  
Elektro-  
lyseur  
[h/a]

5.447

## ERGEBNIS DER ANALYSE:

Die Auslastung  
des Elektrolyseurs  
liegt bei 62 %.

# WASSERMENGE UND NEBENPRODUKTE

Energieträger	Sekundäre Stoffe		Benötigte Menge
	Nutzbare Abwärme [kWh/a]	Sauerstoff [Nm <sup>3</sup> /a]	Wasser [l/a]
Wasserstoff	824.663	567.346	1.702.039

# FAZIT

# FAZIT

➔ Die Berechnung zeigt, dass die günstigsten Wasserstoffgestehungskosten mit einem 250 kW Elektrolyseur erreicht werden.

Diese betragen 10,40 ct/kWh bei einer Auslastung von 67 % und einer Wasserstoffproduktion von 26.857 kg Wasserstoff pro Jahr.

Allerdings werden hier nur 7 % der verfügbaren Energiemenge für die Elektrolyse genutzt.

➔ Eine Alternative ist ein Elektrolyseur mit 1.008 kW.

Dieser kann bereits 26 % der verfügbaren Energiemenge nutzen und produziert im gleichen Zeitraum 101.986 kg Wasserstoff.

Die Auslastung beträgt 62 %, und die Wasserstoffgestehungskosten sind mit 10,70 ct/kWh nur geringfügig höher.

➔ Größere Elektrolyseure weisen zum einen eine geringe Auslastung und zum anderen hohe Wasserstoffgestehungskosten auf.

**Basierend auf diesen Daten wird ein Elektrolyseur mit 1.008 kW Leistung empfohlen, da dieser das beste Kosten-Nutzen-Verhältnis im Betriebskonzept „minimale Wasserstoffgestehungskosten“ aufweist.**



# DANKE.



*DEUTSCHE*  
**WINDGUARD**



Dr.-Ing.  
**Dennis Kruse**  
Geschäftsführer

 [Dennis.kruse@windguard.de](mailto:Dennis.kruse@windguard.de)  
 +49 4451 9515 287

Deutsche WindGuard GmbH  
Oldenburger Str. 65 A  
26316 Varel | Germany

[www.windguard.de](http://www.windguard.de)