

# Einflussfaktoren Gesteungskosten Grüner Wasserstoff

## Praxisbeispiel Energiepark Bad Lauchstädt

Vortrag: Falk Zeuner

## Agenda

1. Vorstellung TERRAWATT
2. Vorstellung Energiepark Bad Lauchstädt
3. Einflussfaktoren Gestehungskosten  
Grüner Wasserstoff

## TERRAWATT

- Gründung 1996 in Grimma (bei Leipzig)
- Standorte Leipzig und Berlin
- Gesellschaftszweck Planung, Beratung, Errichtung und Betrieb von elektrotechnischen Anlagen und Anlagen zur Nutzung regenerativer Energie.
- Das Team Unser Team umfasst Spezialisten verschiedener Fachrichtungen, Elektrotechniker, Maschinenbauer, Bauingenieure, Betriebswirtschaftler, Geographen, Ökologen, Meteorologen, Juristen, techn. Zeichner.

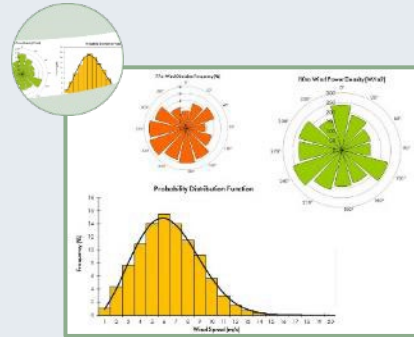
# TERRAWATT Services Onshore



**SITE EVALUATION**



**SECURING SUITABLE  
LOCATIONS**



**ENERGY YIELD  
ASSESSMENTS**



**MICROSITING &  
TECHNICAL DESIGN**



**CONSENT PROCESS**



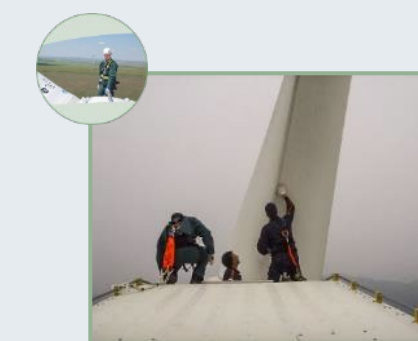
**GRID CONNECTION  
CONCEPT**



**PROJECT FINANCING**



**CONSTRUCTION SUPERVISION  
& COMMISSIONING**



**OPERATION &  
MAINTENANCE**

## TERRAWATT Referenz Deutschland

### Hydrogen/ Wind power plant Bad Lauchstädt (49,6 MW)

transportation study, technical engineering and financing, provide building permit (BlmSchG), power-to-X (H2 production-storage-commercialisation-application)

### WF Cheine, 22 MW

Turnkey project wind farm, operation and maintenance

### WF Flöthe, 22 MW

Turnkey project wind farm, operation and maintenance

### WF Große Schanze 42 MW

Turnkey project wind farm, operation and maintenance, construction supervision of transformer station (110/20kV)

### WF Ostharingen, 74,4 MW

Turnkey project wind farm, operation and maintenance



# Vorstellung Energiepark Bad Lauchstädt

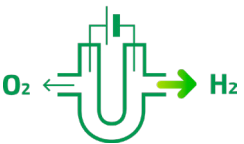
## 1. Erzeugung

Arealnetz  
gesamt



Windpark

50 MW Nennleistung



Großelektrolyse

30 MW Nennleistung

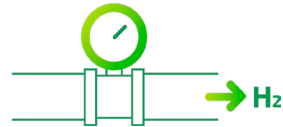
## 2. Speicherung



Untertageanlage /  
Kaverne

50 Mio.m<sup>3</sup>  
Arbeitsgasvolumen

## 3. Transport



Umstellung einer  
Erdgasleitung  
Kapazität  
100.000 m<sup>3</sup>/h

## 4. Vermarktung



Entwicklung, Analyse und  
Optimierung möglicher  
Geschäftsmodelle

## 5. Nutzung

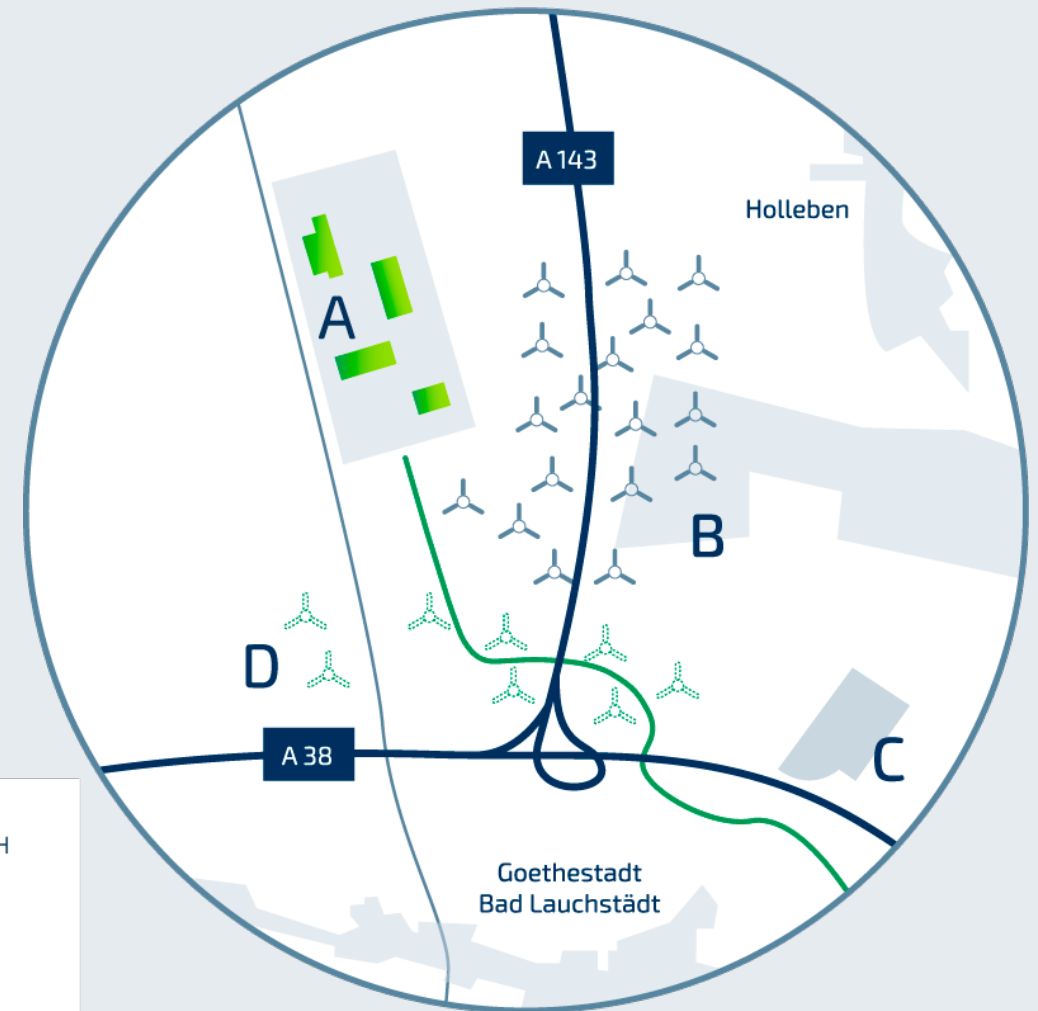
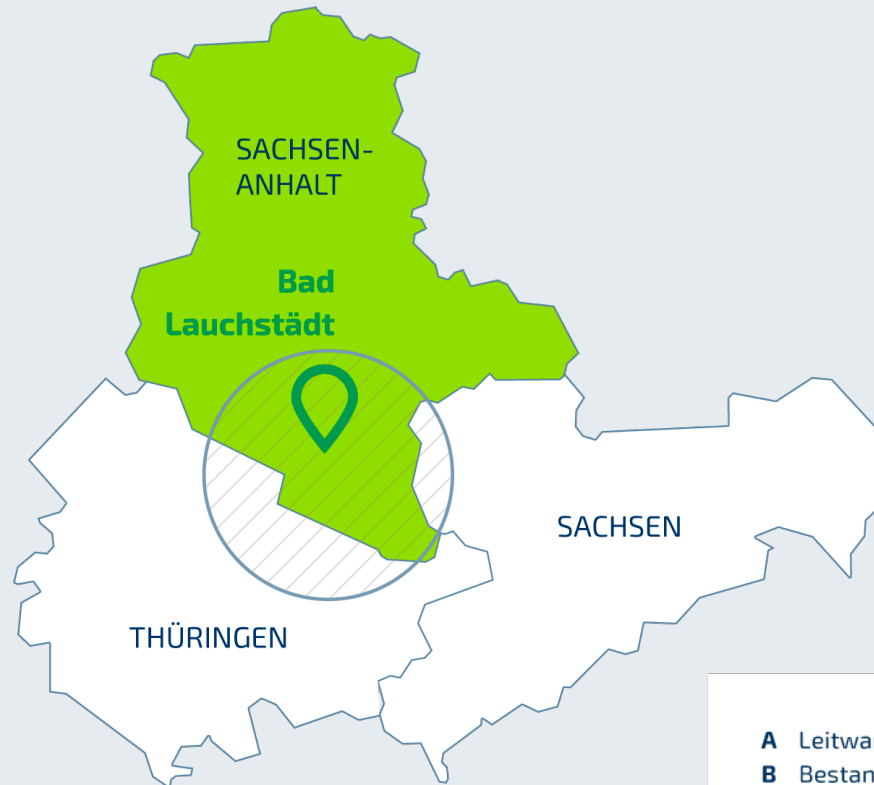


Chemische Industrie



Mobilität

## Verortung Energiepark Bad Lauchstädt



- A** Leitwarte der VNG Gasspeicher GmbH
- B** Bestandswindpark
- C** 380 kV Umspannwerk der 50Hertz
- D** Neu geplanter Windpark



# Energiepark Bad Lauchstädt

## Windpark

- 8 Windenergieanlagen (WEA)
- Hersteller: Vestas
- Nennleistung: 50 MW
- Rotordurchmesser: 162 m
- Nabenhöhe: 169 m
- Jahresproduktion: 145 Mio. kWh

## Status quo

- WEA und Umspannwerk in Betrieb
- Vorbereitung Errichtung Kompensation/Filter
- Vorbereitung/Simulation „Elektrolysebetrieb“





## Einflussfaktoren Gestehungskosten Grüner Wasserstoff

- Projektstruktur
- Kosten Strombezug
- Kosten Elektrolyseur
- Grundstückskosten/Platzbedarf
- Verfügbarkeit Fördermittel
- Abnahmecharakteristik Kunde
- Verfügbarkeit von Wasser
- Vermarktung vs. Entsorgung „Abwasser“
- Vermarktung Sauerstoff
- Vermarktung Abwärme
- Kosten Netzqualität
- Vermarktung Netzdienstleistungen
- Reinheitsanforderungen Kunde
- Druckanforderungen Kunde
- Diversifizierung Stromquellen
- Regulatorische Anforderungen

# Einflussfaktoren Gesteherungskosten Grüner Wasserstoff

## Projektstruktur

- Hat maßgeblichen Einfluss auf die Gesteherungskosten / Wirtschaftlichkeit
- Idealkonstellation: gesamte Wertschöpfungskette in einer Hand
- Je mehr Schnittstellen/Partner, desto teurer der Wasserstoff

## Energiepark Bad Lauchstädt:

Involvierte Partner: TERRAWATT, Aventron, Uniper Hydrogen, VNG, VGS, Ontras, DBI

Kunde: Total Raffinerie

Elektrolyseur (Joint Venture zwischen Uniper und VNG) bezieht grünen Strom über PPA vom Windpark (Joint Venture zwischen TERRAWATT und Aventron)

# Einflussfaktoren Gestehungskosten Grüner Wasserstoff

## Kosten Strombezug

- Sind die Stromerzeugungsanlagen (Wind und/oder PV) in derselben Hand und am gleichen Ort wie die Elektrolyseure, dann bedarf es keines PPAs – als Kosten können die niedrigeren realen Gestehungskosten angesetzt werden
- Alternativ kann der Grünstrom über PPA eingekauft werden (meist teuer, da Stromerzeuger derzeit höher über EEG vermarkten können)
- Direktbelieferung (Onsite-PPA) ist hierbei am günstigsten, da keine Netzentgelte anfallen

## Energiepark Bad Lauchstädt:

Elektrolyseur bezieht grünen Strom über Onsite-PPA (12 Jahre) vom Windpark, somit entfallen die Netzentgelte.

Preis unterhalb des Zuschlagswertes Ausschreibung Wind onshore.

# Einflussfaktoren Gestehungskosten Grüner Wasserstoff

## Kosten Elektrolyseur

- Derzeit ist hier die Technologie (noch) entscheidend.
- Klassische Alkali-Druck-Elektrolyseure sind zwar preiswerter, haben aber andere Nachteile, wie z.B. niedrige Wirkungsgrade und eine eingeschränkte Teillastfähigkeit, was die Einsatz-Flexibilität einschränkt
- Hersteller arbeiten an der Skalierung und Automatisierung der Produktion, was durch die Scaleneffekte zu Preissenkungen führen wird

## Energiepark Bad Lauchstädt:

Hier werden Alkali-Druck-Elektrolyseure der Firma Sunfire aus Dresden eingesetzt. Diese bestehen aus 6 Stacks zu je 5 MW. Herstellung noch in Manufaktur.

Der ursprüngliche Plan, zusätzlich PEM-Elektrolyseure einzusetzen wurde aus Ressourcen- und Kostengründen verworfen

# Einflussfaktoren Gesteungskosten Grüner Wasserstoff

## Grundstückskosten/Platzbedarf

- Der Platzbedarf für (Groß-)Elektrolyseure wird leicht unterschätzt.
- Dieser entsteht durch die Vielzahl von Nebenanlagen, wie Wasseraufbereitung, Gasreinigung, Transformatoren, Schaltanlagen, Umrichter, Leitwarte, Abwärmebehandlung, Löschwasservorhaltung, etc.
- Die Pacht- oder Grundstücks-Erwerbskosten haben ebenfalls einen Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit und die Gesteungskosten

## Energiepark Bad Lauchstädt:

Gelände für die Elektrolyse und Nebenanlagen wurde von der Firma VGS (VNG Gasspeicher) gepachtet. Der Pachtpreis ist jedoch vertraulich.

# Einflussfaktoren Gesteigungskosten Grüner Wasserstoff

## Verfügbarkeit Fördermittel

- Derzeitige Projekte sind „Pionier-Projekte“ mit Forschungscharakter, die ohne Förderung nicht auskommen würden (bzw. trotz Fördermittel aus wirtschaftlichen Gründen nicht gebaut werden)
- Derzeit sind verschiedene Förderprogramme nutzbar, da der „Wasserstoffhochlauf“ eines der erklärten Ziele der Energiewende ist.

## Energiepark Bad Lauchstädt:

Das Konsortium aus damals 6 Firmen hatte sich für eine Förderung im 7. Forschungsrahmenprogramm des BMWK als „Reallabor der Energiewende“ beworben und einen Zuschlag erhalten. Die Höhe beträgt ca. 34 Mill € und wurde über einen Nachtrag (wegen der Materialpreissteigerungen) nochmals aufgestockt.

# Einflussfaktoren Gesteungskosten Grüner Wasserstoff

## Abnahmecharakteristik Kunde

- Da die (Zwischen-)Speicherung von Wasserstoff Geld und Effizienz kostet, hat es einen entscheidenden Einfluss, ob der Kunde mit einer (wetterbedingten) diskontinuierlichen Wasserstoffproduktion umgehen kann.
- Kann er es nicht, werden Wasserstoff-Speicher erforderlich, die die Gesteungskosten nach oben treiben

## Energiepark Bad Lauchstädt:

Der Kunde Total Raffinerie hat so einen hohen Wasserstoffbedarf, dass die unstete Belieferung zwar angemeldet werden muss, aber faktisch keinen Einfluss hat, da nur ca. 5% des Gesamtbedarfes darüber gedeckt werden.

Die vorhandene 25 km lange Pipeline kann als „Zwischenspeicher“ genutzt werden. Perspektivisch kommt eine unterirdische Salzkaverne dazu, die ein Speichervermögen von 50 Mill m<sup>3</sup> aufweist.



# Einflussfaktoren Gesteherungskosten Grüner Wasserstoff

## Verfügbarkeit von Wasser

- Um (grünen) Wasserstoff herzustellen, bedarf es großer Mengen Wasser, die beschafft und aufbereitet werden müssen.
- Die Entnahme aus dem Grundwasser bedarf einer Genehmigung und birgt ein erhebliches Konfliktpotential (Konkurrenz z.B. zur Landwirtschaft)
- Meerwasser muss aufwändig desaliniert und gereinigt werden, was die Kosten erhöht und die Effizienz schmälert.

## Energiepark Bad Lauchstädt:

Für die 30 MW-Elektrolyse entsteht im Nennlastbetrieb ein Wasserbedarf von 10 m<sup>3</sup> Wasser pro Stunde.

Dieser wird aus einer vorhandenen Fernwasserleitung aus dem Harz gedeckt.

## Einflussfaktoren Gesteherungskosten Grüner Wasserstoff

### Vermarktung vs. Entsorgung „Abwasser“

- Bei der Aufreinigung des Wassers entsteht in der Regel (Umkehrosmose) „Abwasser“, welches jedoch für verschiedene Anwendungen (z.B. Bewässerung) benutzt werden kann.
- Dieses kann alternativ natürlich auch entsorgt, also in die Vorflut eingeleitet werden. Dadurch entstehen jedoch Kosten für die Genehmigungen und die Rohr-Trasse.
- Für eine Weiterverwendung braucht es geeignete Abnahmekonzepte, die schwierig zu finden sind.

### Energiepark Bad Lauchstädt:

Das „Abwasser“ der Wasseraufbereitung wird über eine ca. 3 km lange Rohrtrasse in einen Bach eingeleitet. Die Weiterverwendung gestaltete sich als zu schwierig.

## Einflussfaktoren Gestehungskosten Grüner Wasserstoff

### Vermarktung Sauerstoff

- Neben dem Wasserstoff entsteht bei der Elektrolyse auch Sauerstoff, der bestenfalls vermarktet werden kann.
- Dafür ist zwar ebenfalls Zusatzequipment erforderlich (z.B. Reinigung, Abfüllung), aber hierdurch entstehen Zusatzeinnahmen, die die Wirtschaftlichkeit verbessern können.
- Alternativ kann der Sauerstoff problemlos in die Umwelt entweichen oder für verbesserte Brennprozesse (z.B. Klärschlammverbrennung) oder bessere Reinigungsleistung (Kläranlage) abgegeben werden.

### Energiepark Bad Lauchstädt:

Eine sinnvolle Verwendung für den Sauerstoff konnte leider nicht gefunden werden.

# Einflussfaktoren Gesteherungskosten Grüner Wasserstoff

## Vermarktung Abwärme

- Durch den bescheidenen Wirkungsgrad der Elektrolyse (<70%) entsteht jede Menge Abwärme, die entweder aufwändig rückgekühlt werden muss oder sinnvoll weiter verwendet werden kann, was zu weiteren Einnahmen führen kann.
- Das Temperaturniveau hängt von der Technologie ab und ist z.B. bei der Alkali-Elektrolyse nur im Bereich knapp über 40°C, was die Verwendungsmöglichkeiten sehr einschränkt.

## Energiepark Bad Lauchstädt:

Es wurden leider keine geeigneten Wärmeabnehmer identifiziert. Für die Zukunft ist eine Fernwärmeleitung nach Bad Lauchstädt angedacht, wenn dort die geplante „Goethe-Therme“ gebaut wird. Die Abwärme wird über riesige Ventilatoren an die Umwelt abgegeben.

# Einflussfaktoren Gesteherungskosten Grüner Wasserstoff

## Kosten Netzqualität

- Bei der direkten Kopplung von EE-Erzeugungsanlagen und Elektrolyseuren in einem eigenen Arealnetz entstehen durch die vielen Umrichter Probleme mit der Netzqualität (z.B. diverse Oberschwingungen, Resonanzen, etc.), die technisch gelöst werden müssen.
- Hierzu wird in der Regel teure Leistungselektronik benötigt, die z.B. als Netzfilter fungiert und für eine ausreichende Netzqualität sorgt.
- Je nach Netztopologie wird eventuell zusätzliche Blindleistung benötigt, um die Forderungen aus dem SDL-Anlagenzertifikat zu erfüllen.

## Energiepark Bad Lauchstädt:

Hier wird gerade eine kombinierte Kompensationsstation mit zusätzlichen Filterkreisen errichtet, um die erwarteten Probleme in den Griff zu bekommen.

# Einflussfaktoren Gestehungskosten Grüner Wasserstoff

## Vermarktung Netzdienstleistungen

- Durch die direkte Kopplung von EE-Erzeugungsanlagen und Elektrolyseuren ergeben sich Potentiale für die Erbringung und Vermarktung von Netzdienstleistungen.
- Diese Kombination kann ähnlich wie ein Speicher agieren, denn es kann kurzfristig positive und auch negative Regelleistung bereitgestellt werden.
- Durch die (meistens gegebene) Flexibilität der Elektrolyse kann die (Überschuss-) Stromvermarktung optimiert werden (z.B. Intraday-Handel oder Ausgleich Prognoseabweichungen)

## Energiepark Bad Lauchstädt:

Wir bereiten gerade die Präqualifizierung des Windparks für die Teilnahme am Sekundärregelleistungsmarkt vor. Der Elektrolyseur soll später mit eingebunden werden.

Die Vermarktung von Blindleistung ist ebenfalls in Vorbereitung.

# Einflussfaktoren Gesteherungskosten Grüner Wasserstoff

## Reinheitsanforderungen Kunde

- Der Wasserstoff wird in verschiedenen Reinheitsstufen gehandelt. Je höher die Anforderungen an die Reinheit, desto aufwändiger und teurer sind die Reinigungsverfahren.
- Davon umfasst ist auch Entfeuchtung, die sehr energieintensiv sein kann, was die Gesteherungskosten erhöht.

## Energiepark Bad Lauchstädt:

Als Forschungsanlage haben wir das Ziel, die höchstmögliche Reinheitsstufe zu erlangen. Dazu errichtet das DBI (Deutsches Brennstoff Institut) eine mehrstufige Reinigungs- und Trocknungsanlage, da der Wasserstoff später in der unterirdischen Salzkaverne gespeichert werden soll.



# Einflussfaktoren Gesteungskosten Grüner Wasserstoff

## Druckanforderungen Kunde

- Je nach Technologie entsteht Wasserstoff mit einem bestimmten Druck.
- Benötigt der Kunde höhere Drücke, werden zusätzliche Verdichter benötigt, die Geld und Effektivität kosten.
- Muss der Wasserstoff über weite Strecken transportiert werden, kommen weitere Umwandlungsstufen hinzu, wie z.B. Verflüssigung, Umwandlung in Ammoniak oder Einlagerung in LOHC. Dies ist mit zusätzlichen Kosten verbunden.

## Energiepark Bad Lauchstädt:

Die geplanten Alkali-Druck-Elektrolyseure haben einen Ausgangsdruck von 30 bar. Total verlangt am Übergabepunkt 27 bar. Da durch die lange Leitungslänge (25 km) und die Gasreinigung und -trocknung Druck „verloren geht“, wird ein zusätzlicher Verdichter gebaut – auch, um über ein größeres Druckspiel in der Leitung einen Puffer zu haben.

# Einflussfaktoren Gesteungskosten Grüner Wasserstoff

## Diversifizierung Stromquellen

- Eines der wichtigsten Faktoren für die Gesteungskosten des Wasserstoffs sind die Vollbenutzungsstunden der Elektrolyse.
- Hohe Vollbenutzungsstunden können erreicht werden durch eine Mischung aus Wind und PV, da sich diese nahezu perfekt übers Jahr ergänzen.
- Eine Überdimensionierung der EE-Anlagen führt ebenfalls zu höheren Auslastungen des Elektrolyseurs, jedoch mit dem Nachteil, dass das Überschuss-Einspeiseprofil minderwertiger wird.

## Energiepark Bad Lauchstädt:

50 MW WEA versorgen 30 MW Elektrolyse – dadurch kommt diese auf ca. 4000 Vollbenutzungsstunden. Ein zusätzlicher PV-Park ist vorgesehen.

# Einflussfaktoren Gestehungskosten Grüner Wasserstoff

## Regulatorische Anforderungen

- Grüne Wasserstoffprojekte sind eingebettet in eine Vielzahl von Gesetzen, Verordnungen und Regularien, welche massiven Einfluss sowohl auf die Gestehungskosten, die Anrechenbarkeit (als grüner Wasserstoff) und den Marktwert des grünen Wasserstoffs und der damit verbundenen Zertifikate bzw. Herkunftsnachweise hat.
- Um Wasserstoff grün zu bekommen braucht es: **regenerative, gleichzeitige, örtliche, zusätzliche und netzdienliche Erzeugung**

## Energiepark Bad Lauchstädt:

Durch die Verabschiedung des Delegated Acts (RED II) war sichergestellt, dass alle Anforderungen an die Einordnung als grüner Wasserstoff erfüllt werden können. Durch die 37. BImSchV wurde eine „Dreifachanrechnung“ des grünen Wasserstoffs für Total als Inverkehrbringer festgelegt, wodurch ein höherer Marktwert entsteht, der die hohen Gestehungskosten abdeckt.

## Einflussfaktoren Gestehungskosten Grüner Wasserstoff

- Projektstruktur
- Kosten Strombezug
- Kosten Elektrolyseur
- Grundstückskosten/Platzbedarf
- Verfügbarkeit Fördermittel
- Abnahmecharakteristik Kunde
- Verfügbarkeit von Wasser
- Vermarktung vs. Entsorgung „Abwasser“
- Vermarktung Sauerstoff
- Vermarktung Abwärme
- Kosten Netzqualität
- Vermarktung Netzdienstleistungen
- Reinheitsanforderungen Kunde
- Druckanforderungen Kunde
- Diversifizierung Stromquellen
- Regulatorische Anforderungen

# Vielen Dank

für Ihr Interesse und Ihre Geduld 😊

Weitergehende Fragen, Projektvorschläge,  
Aufträge und Esseneinladungen an:

Falk Zeuner

[zeuner@terrawatt.de](mailto:zeuner@terrawatt.de)

+49 160 5335632

