

# Investmentvorschlag: Wind zu Wasserstoff



# Inhaltsverzeichnis:

- 1. Executive Summary
- 2. Geschäftsmodell
- 3. Management – Team
- 4. Produkt - / Leistungsangebot
- 5. Marktanalyse
- 6. Technologiekonzeption
- 7. Finanzplan
- 8. Kontaktdaten

# Executive Summery

Die IBF GmbH ist ein inhabergeführtes Ingenieurbüro mit Schwerpunkten in Planung und Inbetriebsetzung von energie-, mess- und regeltechnischen Einrichtungen.

Die 20 jährige Erfahrung resultiert aus der Umsetzung von Aufträgen im Kraftwerksbereich sowie in der Kohleaufbereitung und Erdgaseinlagerung.

Basierend auf den praktischen Erfahrungen und der Betrachtung der zukünftigen energiepolitischen Entwicklungen wurde der Schwerpunkt der Ingenieurarbeiten den aktuellen technischen Bedürfnissen angepasst.

Die eigene Überzeugung sowie die technische Machbarkeit unter ökonomischen und ökologischen Gesichtspunkten war ausschlaggebend für zukunftsweisende Tätigkeitsfelder.

## **Kerngedanke:**

Zurzeit wird in allen Windkraftanlagen generatorisch Drei-Phasen-Drehstrom erzeugt.

Dieser Drehstrom wird über Transformatoren in das bestehende Hochspannungsnetz eingespeist.

Die Speicherung der elektrischen Energie ist heute nur möglich, indem man mit dem erzeugten Drehstrom Pumpspeicherkraftwerke befüllt oder (sehr selten) Batteriesätze lädt.

## Kerngedanke

Der Bedarf an Energie hingegen ist abhängig von Tageszeit, Wochentag, Jahreszeit und dem Privatkonsum der Verbraucher. Auf Grund der unterschiedlichen Windverhältnisse und der nicht konstanten Wetterbedingungen ist keine kontinuierliche Einspeisung der Windenergie in das vorhandene Netz möglich. Hinzu kommen technische Schwierigkeiten in der Übertragung der Windenergie, da oftmals die Verbraucher in Regionen angesiedelt sind, in denen nicht unbedingt Windanlagen installiert sind und so die Energie über Hochspannungsleitungen transportiert werden muss.

Da die Grundauslastung von Kohlekraftwerken und zurzeit noch Atomkraftwerken übernommen wird, kommt es bei einem Überangebot an erzeugtem Strom häufig zu Abschaltungen der Windenergieeinspeisung. Deswegen werden Windanlagen zeitweise nicht genutzt obwohl reichlich Windenergie zur Verfügung stünde.

Genau hier setzen die Überlegungen der „Planungskommission“ unseres Büros an. Unser Kerngedanke ist die Erzeugung von elektrolysefähigem Gleichstrom anstelle von Drehstrom.

Sowohl die Elektrolyse selbst als auch die Speicherung des hierbei gewonnenen Wasserstoffes sollen **direkt im Turm der Windanlage** stattfinden.

# Geschäftsmodell:

Die Grundlage dieses Geschäftsmodells basiert auf der Erzeugung und dem Vertrieb von Energie basierend auf Wasserstoff.

Wie bei jedem anderen Produkt hängt auch beim Wasserstoff der Preis davon ab, wie viel davon gebraucht wird und wie regelmäßig, in welcher Qualität (Reinheit) und Form (flüssig, gasförmig) und wo (Infrastruktur, Entfernung von der Quelle, Art der Quelle) der Verbraucher sitzt.

Da der Wasserstoff direkt im Turm der Windanlage erzeugt und gespeichert wird, ist der Infrastruktur-Vorteil bereits vorhanden.

**Man stelle sich vor, dass ein Windrad auch gleichzeitig Tankstelle ist!**

Die Nachfrage nach Wasserstoff wird merklich steigen und somit eine nennenswerte Infrastruktur für nicht-industrielle Verbraucher entstehen!

## Als Grundlage dienen folgende Betrachtungen:

Eine 50 kg Gaskartusche gefüllt mit Wasserstoff hat bei 200 bar einen Energiegehalt von 30 kWh.

Betrachtet man eine moderne Windkraftanlage mit einem gängigen Turm (siehe Berechnung Nr. 1) so errechnet sich ein mittleres Brutto-Innen-Volumen von ca. 3.200 m<sup>3</sup>.

### Berechnung 1:

Geht man von einer Turmhöhe von 100 m, von einem Sockelradius von 5 m und einem Kopfradius von 1m aus, ergibt sich ein maximales theoretische Volumen des Turmes von:

$$V = \frac{h * \pi}{3} * (R^2 + R * r + r^2) = \frac{100m * \pi}{3} * (5^2m^2 + 5m * 1m + 1^2m^2) = 3245m^3$$

Nutzt man dieses Volumen in Form von „Zweier-Tubes“ (auch kommunizierende Röhren genannt) eines für Wasserstoff und das andere für Sauerstoff und legt es wenig großzügig aus, können hier ohne größere Probleme Hochdruckrohre mit einem Inhalt von mindestens 1.000 m<sup>3</sup> installiert werden. Die beiden Tubes besitzen eine kommunizierende Gesamtröhre und verstehen sich gleichzeitig als überdimensionaler Elektrolyseur (alkalische Elektrolyse). Geht man von einem Betriebsdruck von max. 30 bar im Wasserstoffrohr aus, so ergibt sich ein Speicher von ca. 150 MWh (siehe Berechnung Nr. 2).

### Berechnung 2:

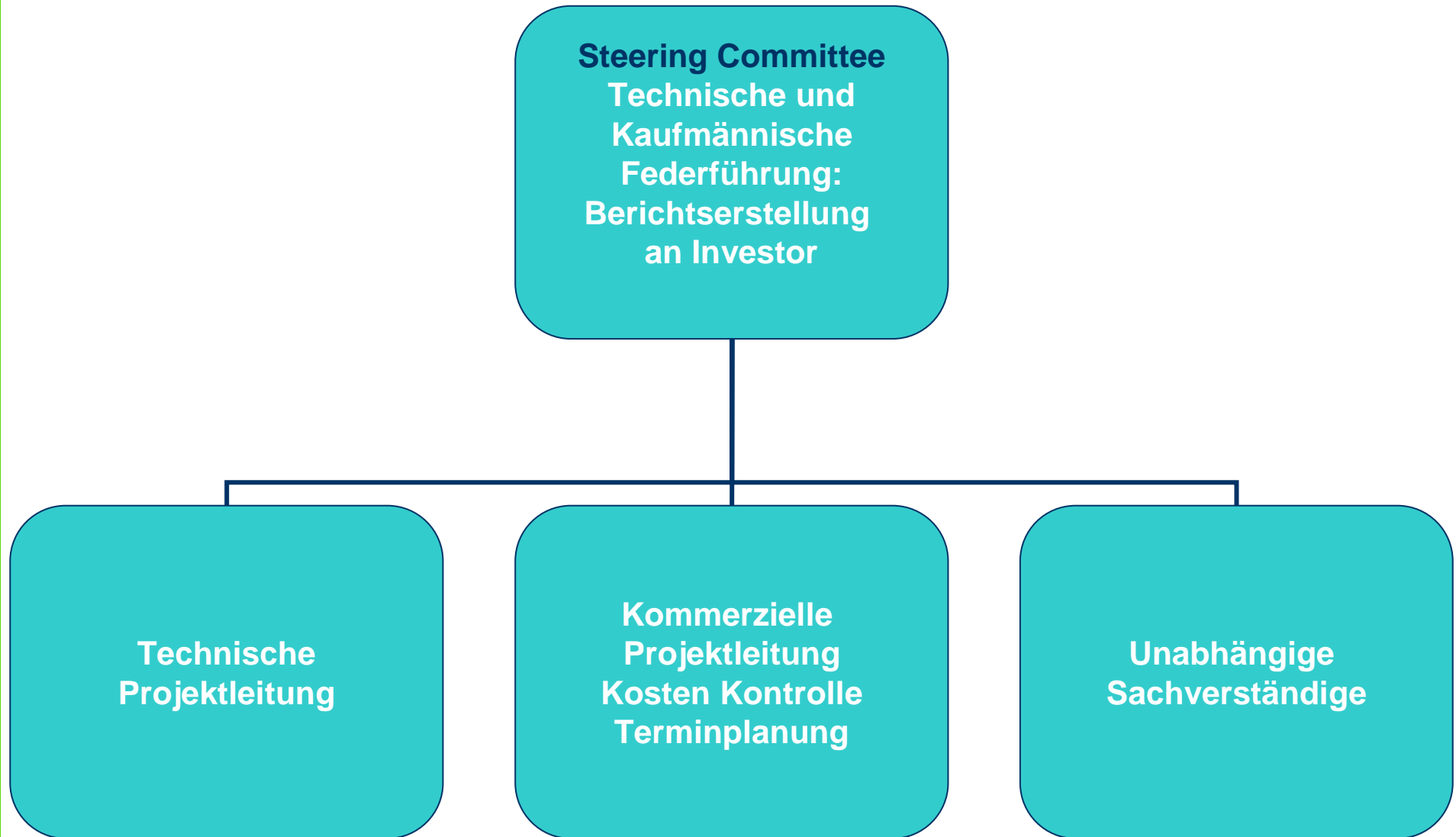
Wird für die Wasserstofferzeugung ein Druck-Elektrolyseur verwendet, steht der Wasserstoff mit ca. 30 bar zur Verfügung. Würde ein Drittel des Turmes zur Speicherung des Wasserstoffs genutzt, könnte bei Vollast des Windrades ca. 30 Stunden lange gespeichert werden ( $V^*$  aus Berechnung 4, Seite 7):

$$t_h = \frac{V^* p}{V} = \frac{3.000m^3 * 30bar}{944 \frac{Nm^3}{h}} / 3 = 31h$$

$$W = P * t = 5MW * 30h = 150MWh$$

***Direkt im Turm lässt sich eine elektrische Energie von 150MWh speichern.***

# Management Team:





# Produkt -/Leistungsangebot

- Detail Engineering
- Beschaffungsprozesse
- Erstellen der Genehmigungsunterlagen
- Termincontrolling
- Bauaufsicht
- Durchführung der Inbetriebnahme
- Bereitstellung der Patentrechte

# Marktanalyse

2010 gab es ca. 45 Mio. Personenkraftwagen in Deutschland.

Der gesamte Verbrauch an Treibstoff lag bei ca. 44.162.688.855 Liter!

Es ist davon auszugehen, dass in den nächsten 5 Jahren die Automobilindustrie mit Wasserstoff angetriebene Fahrzeuge wirtschaftlich in Serie bauen wird.

Die erforderliche Infrastruktur ist zur Zeit nicht flächendeckend vorhanden.

Der große Vorteil der Erzeugung und Speicherung von Wasserstoff im „Turm“ einer Windkraftanlage ist die damit verbundene Implementierung einer Infrastruktur.

Anstatt an einer Tankstelle wird in Zukunft an einer Windanlage getankt.

Darüber hinaus dient der Turm gleichzeitig als Speicher!

Es ist sehr gewagt, hier eine Marktanalyse zu erstellen!

Der Markt wird sich aus heutiger Sicht jedoch in Richtung Wasserstoff entwickeln da es zurzeit kaum wirtschaftlichere Alternativen gibt.

Im U-Boot Bau ist das bereits gelungen und erfährt dort hohe Akzeptanz sowie große Nachfrage.

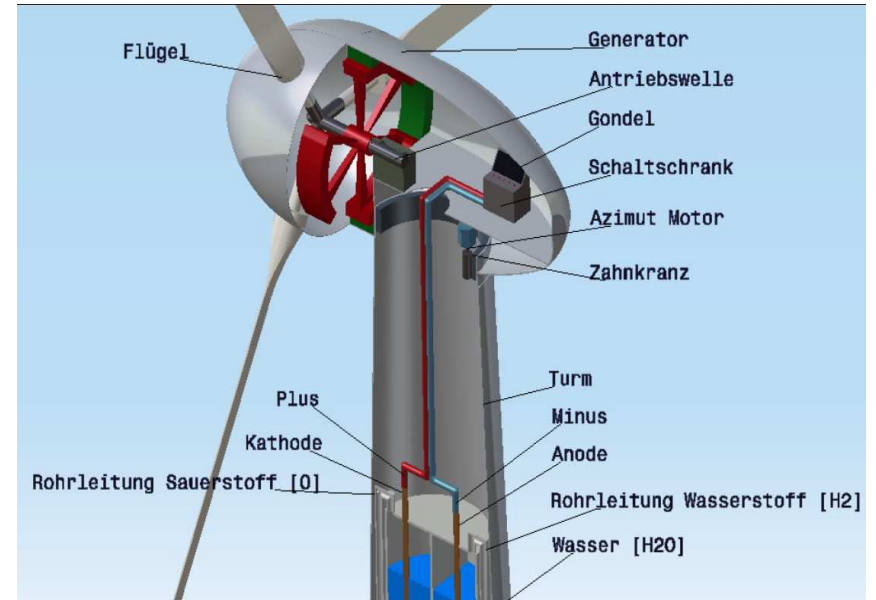
# Technologiebeschreibung

Windenergie erzeugt mit einem Drehstromgenerator elektrische Energie, die mit einem Gleichrichter in die erforderliche Gleichspannung für die Elektrolyse umgewandelt wird.

Generator und Gleichrichter werden gemeinsam in der Gondel des Windrades untergebracht.

Mit der Gleichspannung wird durch die Elektrolyse aus Wasser Wasserstoff und Sauerstoff erzeugt.

Wird Wasserstoff durch Elektrolyse mit erneuerbaren Stromquellen erzeugt, stellt dieses Verfahren eine saubere Energiekette im Einklang mit der Umwelt und einen nachhaltigen Umgang mit Energie dar, so wie es heute angestrebt wird.



## Berechnung 3:

Geht man von einer Windkraftanlage mit einer Leistung von 5 MW und einem Wirkungsgrad für Generator und Gleichrichter von 85% aus, so ergibt sich bei einer für die Elektrolyse üblichen Gleichspannung von 250V ein Gleichstrom von:

$$I = \frac{P}{U} * \eta = \frac{5MW}{250V} * 0,85 = 17kA$$

# Technologiebeschreibung

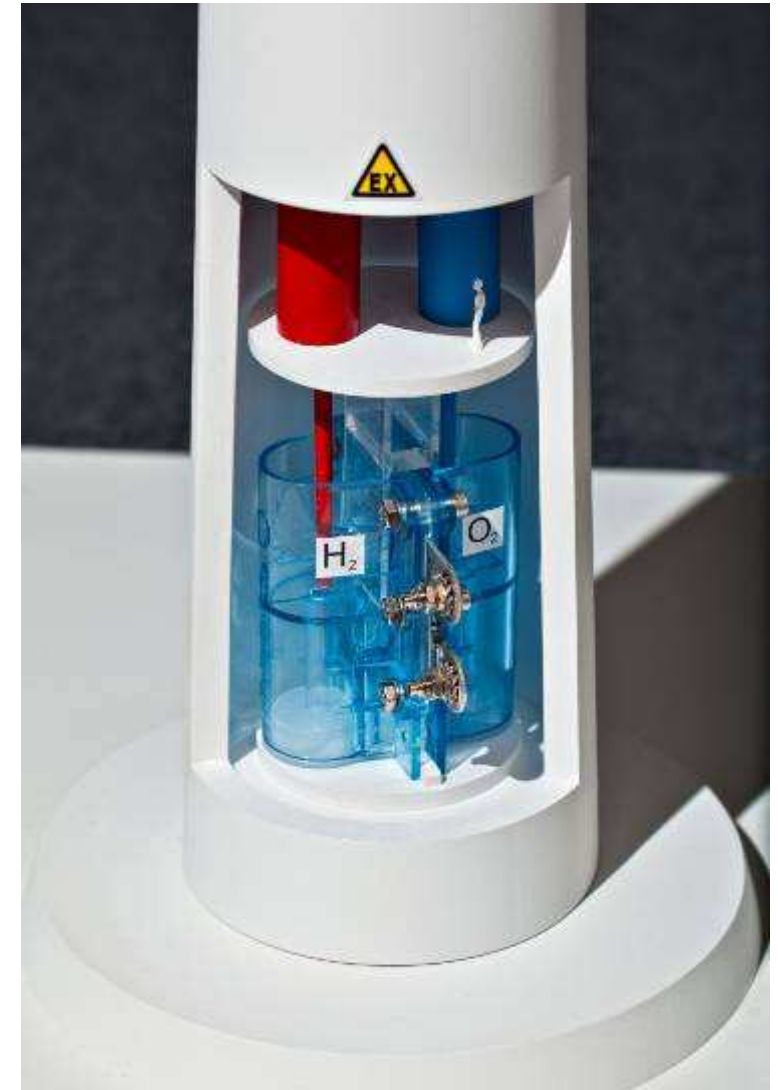
Um aus Wasserstoff Strom zu erzeugen, können Brennstoffzellen verwendet werden (siehe 1.; Seite 3). Es handelt es sich um eine besondere Art eines galvanischen Elements.

Vom Funktionsprinzip sind alle Brennstoffzellen gleich aufgebaut. Zwischen zwei Elektroden (der Anode und der Kathode) befindet sich ein Elektrolyt der den Ionen- (meist Protonen-) Austausch ermöglicht. Die Elektroden sind über einen äußeren Stromkreis verbunden.

Der Unterschied zwischen den Zelltypen besteht lediglich im Elektrolyten und in dem verwendeten Brenngas. Für die stationäre Umwandlung von Wasserstoff könnte die „PAFC-Brennstoffzelle“ verwendet werden.

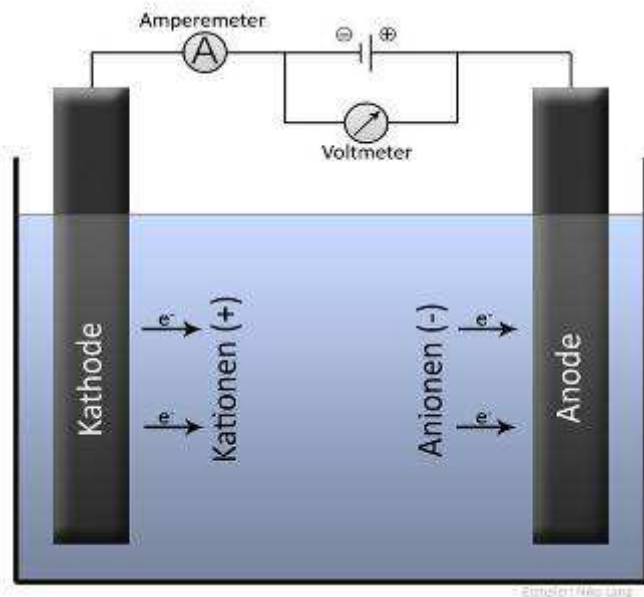
## Technische Daten

	Phosphorsäure-Brennstoffzelle (PAFC)
Wirkungsgrad	50 %
Betriebstemperatur	200 °C
Leistung	von 200 kW bis mehreren MW

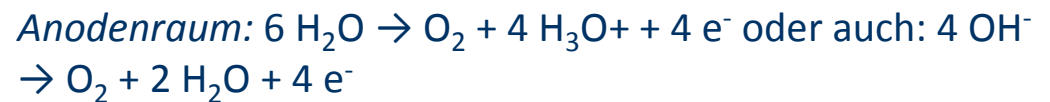
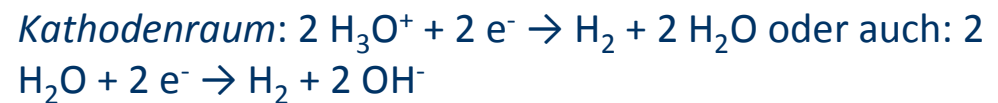


# Elektrolyse von Wasser

Die Elektrolyse zerlegt Wasser in die Elemente Sauerstoff und Wasserstoff. Wie alle Elektrolysen besteht sie aus zwei Teilreaktionen, die an den beiden Elektroden (Kathoden- und Anodenräumen) ablaufen.



Die Elektroden tauchen in Wasser ein, das durch die Zugabe von Säuren oder Laugen besser leitend gemacht wird. Die Teilreaktionen lauten :



## Elektrolyse-Verfahren

Zur industriellen Erzeugung von Wasserstoff wird die Alkalische Elektrolyse genutzt:

Bei alkalischen Elektrolyseuren wird bei einer Gleichspannung von mindestens 1,5 Volt an der Kathode Wasserstoff und an der Anode Sauerstoff gebildet. Als Elektrolyt dient Kalilauge (Kaliumhydroxid-Lösung, KOH) mit einer Konzentration von 20–40 %. Eine gasdichte Membran, das so genannte Diaphragma, lässt zwar den Transport von OH<sup>-</sup>-Ionen zu, verhindert aber gleichzeitig die Vermischung der entstehenden Produktgase.

### Berechnung 4:

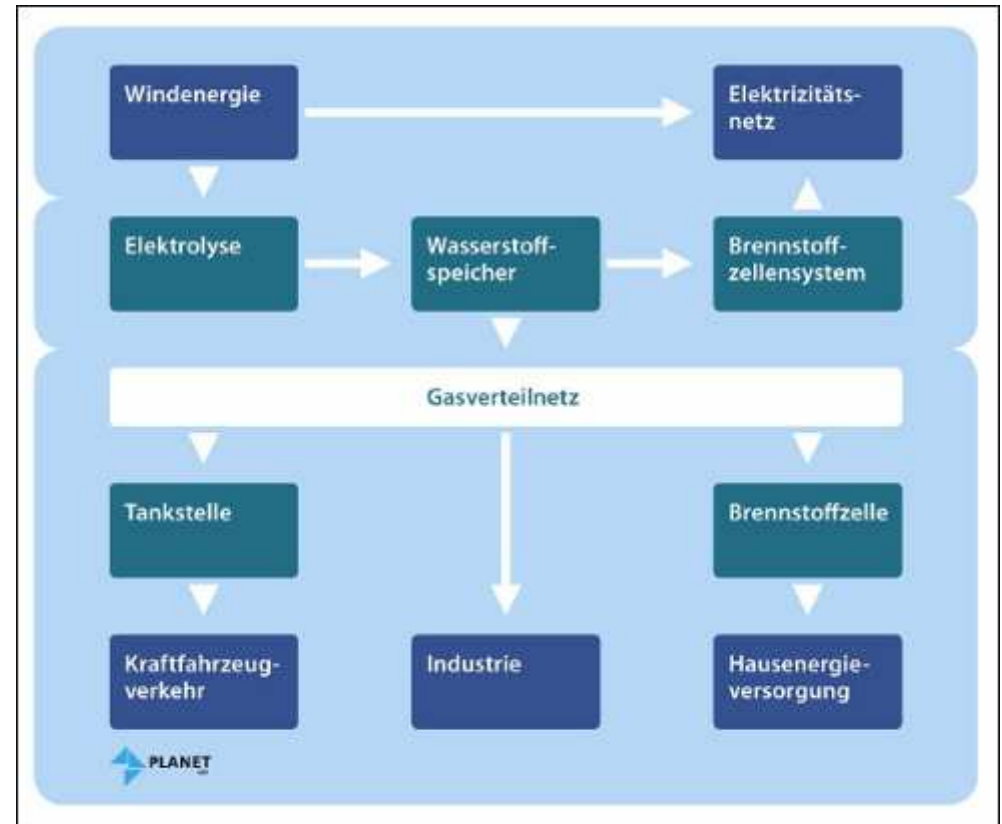
Wird zur Erzeugung des Wasserstoffs ein handelsüblicher alkalischer Druck-Elektrolyseur verwendet ergibt sich mit der Verbrauchszahl der elektrischen Energie:  $E_{V,B} = 4,3 - 4,65 \text{ kWh/Nm}^3\text{H}_2$  ein Wasserstoffvolumen je Stunde von:

(hier ist ein Wirkungsgrad von 80% enthalten bezogen auf den Brennwert von 3,54 kWh/Nm<sup>3</sup>; Leistung des Windrades 5 MW)

$$V_{N,h}^* = \frac{P}{E_{V,B}} * \eta = \frac{5 \text{ MW}}{4,5 \frac{\text{kWh}}{\text{Nm}^3}} * 0,85 = 944 \frac{\text{Nm}^3}{h}$$

## Um die Wasserstoffenergie wieder als elektrische Energie zu nutzen bestehen verschiedene Möglichkeiten.

1. Die gespeicherte Wasserstoffenergie wird lokal über Brennstoffzellen in elektrische Energie zurückgewandelt. Über einen Generator wird Drehstrom erzeugt, der ins Netz zurück gespeist wird.
2. Da sich bestehende Windkraftanlagen oftmals in der Nähe von Autobahnen befinden, wäre eine unmittelbare Vernetzung über unterirdische Wasserstoffpipelines optimal. Diese Infrastruktur könnte auch Tankstellen für die zukünftigen Fahrzeuge, die mit Wasserstoff angetrieben werden würden, versorgen.
3. Der erzeugte Wasserstoff wird mit Hilfe des beigesetzten  $\text{CO}_2$  bzw. abgeschiedenen  $\text{CO}_2$  (neues Urteil der niedersächsischen Landesregierung vom 23.09.2011;  $\text{CO}_2$  wird nicht mehr eingespeichert; die unterirdische Speicherung ist nicht erlaubt) methanisiert. Es entsteht synthetisches Erdgas (Methan;  $\text{CH}_4$ ), das in das vorhandene Erdgasnetz eingespeist werden kann. Der überschüssige Sauerstoff wird nicht gespeichert.

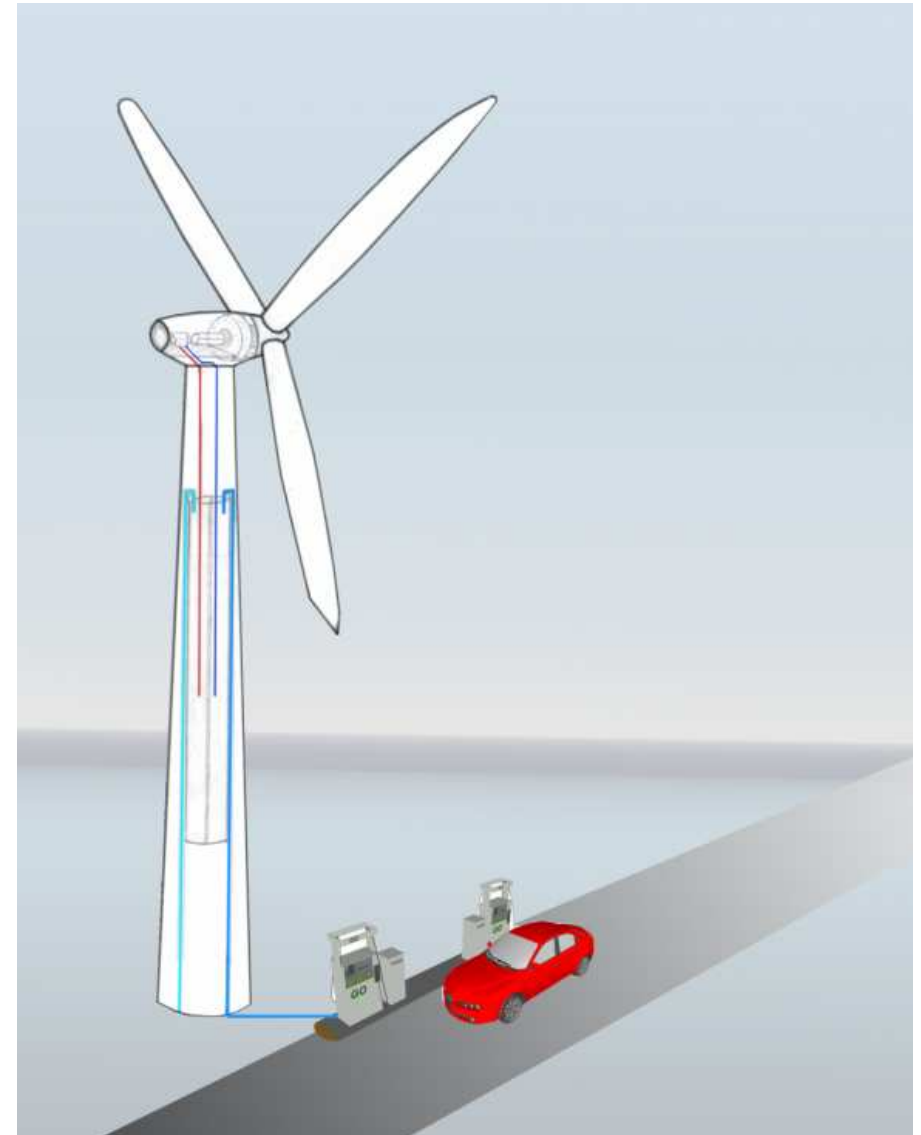


# Wirkungsgrad

Bei der Erzeugung von Wasserstoff aus Strom kann ein Wirkungsgrad von 85% erreicht werden.

Nimmt man einen Wirkungsgrad einer Brennstoffzelle von 50% an, erhält man einen Gesamtwirkungsgrad von 43%.

Zudem ist der Wirkungsgrad nicht entscheidend, wenn man betrachtet, dass die überschüssige elektrische Energie sonst überhaupt nicht genutzt werden würde.





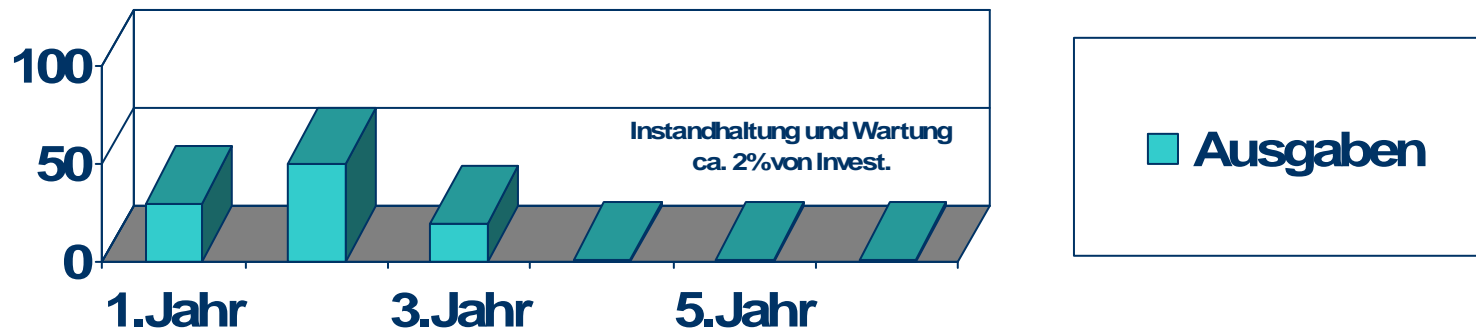
# Finanzplan und Konzept

- Die Investitionskosten in Summe betragen aus heutiger Sicht ca. 20 Mio. Euro und setzen sich wie folgt zusammen:
- Grundstück im Norden Deutschlands 2000 m<sup>2</sup> ca. € 250.000,--
- Erschließung ca. € 250.000,--
- Windkraftanlage 5 MW ca. € 5.000.000,--
- Elektrolyseur ca. € 3.000.000,--
- Wasserstoffspeicher ca. € 3.000.000,--
- Anpassung des Windrades ca. € 2.500.000,--
- Ingenieurdienstleitungen incl. IBN ca. € 3.000.000,--
- Sachverständige ca. € 1.000.000,--
- Unvorhergesehenes ca. € 1.000.000,--
  
- Summe für 3 Jahre Projektlaufzeit ca. € 20.000.000,--
  
- *Wartung und Instandhaltung wurden hier nicht betrachtet!*

# Finanzplan

Erforderlicher Cash Flow während der Bau- und Inbetriebsetzungsphase in Prozent

- Projektlaufzeit ca. 3 Jahre
- Planungsphase ca. 2 Jahre
- Bauzeit incl. Inbetriebnahme ca. 1 Jahr



# Finanzplan

## Return of Invest:

Der Return of Invest Punkt sollte nach spätestens 7 Betriebsjahren erreicht sein, zuzüglich 3 Jahren Bau- und Inbetriebsetzungszeit.

Bei einer Investmentsumme von 20 Mio. Euro wurde von folgenden Annahmen ausgegangen:

1. 100 % Rückzahlung des Invest nach 10 Jahren
2. Während der Bauzeit 3 Jahre tilgungsfrei
3. Effektiver Jahreszins 3,56%
4. Bei einer guten Wind – Ernte, die in Norddeutschland nicht unüblich ist (Region um Wilhelmshaven Küstenbereich ), kann durchaus mit einer erzeugten Bruttoleistung von ca. 5000 h bei 85% Ausbeute (5 MW Anlage) konservativ kalkuliert werden.  
Das würde einer jährlichen Wind-Ernte von ca. 21.500 MWh entsprechen.  
Bei der Umwandlung von Drehstrom zu Gleichstrom ist ein Wirkungsgradverlust von 5% zu kalkulieren.
5. Die Umwandlungszahl der heutigen Elektrolyseure beträgt 4,5 kWh/Nm<sup>3</sup> Wasserstoff.  
Daraus resultiert bei optimalen Bedingungen eine Jahresproduktion von ca. 4,5 Mio. Nm<sup>3</sup>  
Bei einem angenommenen Verkaufspreis von 0,72 Euro/Nm<sup>3</sup> würde sich ein Jahreserlös von **3.240.000 Euro** ergeben.

# Finanzplan Betrachtung bei 0,72 Euro / m<sup>3</sup>

## Berechnung Wasserstoffmenge

Leistung der Anlage in MW	5	MW			
Wirkungsgrad des Gleichrichter	95%				
Leistungszahl des Elektrolyseurs in kWh/m <sup>3</sup>	4,5	kWh/m <sup>3</sup>			
Erzeugte Wasserstoffmenge in Nm <sup>3</sup> /h	1056	Nm <sup>3</sup> /h			
Erzeugte Wasserstoffmenge in kg/h	95	kg/h	entspr.	319	kg Benzin
Wert des Wasserstoffs in €/h	759	€/h			
Speicherdruck in bar	30	bar			
Speicherzeitraum in h	48	h			
Speichervolumen in m <sup>3</sup>	1689	m <sup>3</sup>			
Erzeugte elektrische Energie	228.000	kWh			
Gespeicherte Energie im Wasserstoff	152.000	kWh		67%	
Leistungszahl der Brennstoffzelle	1,5	kWh/Nm <sup>3</sup>			
Zurückgewonnene elektrische Energie	76000	kWh		33%	

# Finanzplan

## Tilgungsplan

- Die erforderliche regelmäßige Rate beträgt ab IBN 268.797,01 Euro (monatlich)
- Zinsen für tilgungsfreie Zeit: 2.100.000,00 Euro
- Zinsen und Gebühren gesamt: 58.333,33 Euro (monatlich)
- Gesamtaufwand: 4.678.948,94 Euro
- Effektiver Jahreszinssatz: 3,56 % p.a. (interner Zinssatz, IRR)

Tilgungsplan					
Jahr	Schuldenstand Vorjahr	Raten-zahlungen	davon Zinsen/Geb.	davon Tilgung	Schuldenstand am Jahresende
Tilgungsfreie Zeit	20.000.000,00	2.099.999,88	2.099.999,88	0,00	20.000.000,00
1	20.000.000,00	3.225.564,15	659.089,26	2.566.474,89	17.433.525,11
2	17.433.525,11	3.225.564,15	567.807,56	2.657.756,59	14.775.768,52
3	14.775.768,52	3.225.564,15	473.279,26	2.752.284,89	12.023.483,63
4	12.023.483,63	3.225.564,16	375.388,87	2.850.175,29	9.173.308,34
5	9.173.308,34	3.225.564,15	274.016,83	2.951.547,32	6.221.761,02
6	6.221.761,02	3.225.564,15	169.039,28	3.056.524,87	3.165.236,15
7	3.165.236,15	3.225.564,15	60.328,00	3.165.236,15	0,00
<b>Gesamtsummen</b>		<b>24.678.948,94</b>	<b>4.678.948,94</b>	<b>20.000.000,00</b>	<b>0,00</b>

# Finanzplan Zusammenfassung

- Es wurden keine Abschreibungen berücksichtigt!
- Es wurde keine Guthabenverzinsung während der Abwicklung berücksichtigt.
- In den angenommenen Investitionskosten sind 5% Reserven berücksichtigt.
- Der angenommene Verkaufserlös für Wasserstoff basiert auf Daten der Industrie.

- **Fazit:**

Die Umsetzung eines solchen Projektes erfordert ein großes **Engagement** mit einem überschaubaren unternehmerischen Risiko in eine zukunftsweisende Technologie. Wenn die Automobilindustrie den Weg des Wasserstoffs wieder einschlagen wird, ist hier ein sehr hohes Potential an wirtschaftlichen Profiten abzusehen. Der Umweltgedanke steht dabei nach wie vor im Vordergrund.

# Kontakt Daten

- Ingenieur Büro Fehring GmbH
- 44145 Dortmund
- Bornstr. 276
- Tel. 0231 / 860230
- Fax 0231 / 8602329
- [WWW.IBFDO.DE](http://WWW.IBFDO.DE)
- [info@ibfdo.de](mailto:info@ibfdo.de)