

Projektskizze

Wind-Wasserstoff-Station

Stolpe

Projekt:	Wind-Wasserstoff für Kraftstoff und Netzregelung
Bundesland:	Mecklenburg- Vorpommern
Ort:	Tank- und Rastanlage Stolpe
Projektstatus:	Demonstrationsanlage
Projektziele:	Bereitstellung von Wasserstoff für die Betankung von Fahrzeugen und für die Einspeisung in das EVU-Netz in Spitzenzeiten Total Deutschland GmbH Daimler AG IEE Ingenieurbüro Energieeinsparung GmbH auf Basis eines MoU Weitere Partner sollen gewonnen werden.
Projektpartner:	
Energiebereitstellung:	Windenergieanlage > 800 KW
Elektrolyseur:	alkalisch 30 Nm ³ /h H ₂ , 15 Nm ³ /h O ₂
Speicher:	Flaschen Speicherracks 45 bar, 184 kg H ₂
Rückverstromung:	125 kWel, Verbrauch 166 Nm ³ /h H ₂
Tankstelle:	Abgabemenge 20 kg H ₂ pro Tag
Planung und Urheber:	IEE Ingenieurbüro Energieeinsparung GmbH Dreiserstr. 23, 12587 Berlin Tel. (030) 767631 - 22, Fax - 26
Projektbearbeiter:	Dr.-Ing. Hans Sandlaß Dipl.-Ing. Holger Sandlass Dipl.-Ing. Martin Steeb

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	2
1 Zielstellung	3
2 Standort und Windenergieanlage.....	4
3 Grundlagen zur Systemdimensionierung	5
3.1 Ermittlung der erzeugbaren Wasserstoffmenge	5
3.2 Ermittlung des Wasserstoffbedarfs	5
4 Stationäre Wasserstoff-Station	6
4.1 Elektrolyseur	6
4.2 Kompressor	7
4.3 MD-Speicher.....	7
4.4 Motor-Generator	7
4.5 Steuerung	8
4.6 Schaltanlage und E-Montage.....	8
5 Mobile Tankstellenkomponente	9
5.1 Anforderungen.....	9
5.2 Speichersystem	9
5.3 Kompressoren	11
6 Investitionskosten	12
7 Anlagen	13

1 Zielstellung

Die Erreichung der Klimaschutzziele und die ständige Verteuerung der Kraftstoffe auf Mineralölbasis machen deutlich, dass neue Techniken und Technologien für die Mobilität erprobt werden müssen.

Wasserstoff gilt als einer der Energieträger der Zukunft.

Mit dem Leuchtturmprojekt Clean Energy Partnership (CEP) wurden Grundlagen für den Einsatz von Wasserstoff als Kraftstoff geschaffen.

Mit der Fortsetzung des Projektes in CEP II soll besonders in Berlin der Einsatz von Wasserstoff forciert werden. In Hamburg bildet sich ein weiteres Wasserstoffzentrum aus.

Es ist das Ziel des Projektes erste Möglichkeiten für den Verkehr von mit Wasserstoff betriebenen Fahrzeugen zwischen den beiden Städten durch eine Zwischentankmöglichkeit zu fördern. Damit kann das Projekt als ein erster Schritt für den Aufbau einer CO₂-freien Wind- Wasserstoff- Infrastruktur angesehen werden.

Der starke Ausbau der Windenergie im Norden und Nordosten der Republik bietet dafür beste Voraussetzungen.

Besonders ist es damit auch möglich, denjenigen Windanteil sinnvoll zu nutzen, der durch die Wirkung des sogenannten Netzsicherheitsmanagement nicht zum Einsatz kommt.

Somit kann mit dem Projekt „Stolpe“ eine praktische Erprobung des Einsatzes von gespeichertem Wasserstoff für die Netzintegration der Windenergie geleistet werden.

Für die Kraftstoffbereitstellung ist ein wichtiges Kriterium, dass der Wasserstoff sichtbar aus Windenergie gewonnen wird.

Der Erreichung der Genehmigungsfähigkeit der Windenergieanlage am unmittelbaren Standort der Tank- und Rastanlage Stolpe kommt somit eine besondere Bedeutung zu.

Für das Projekt soll im Rahmen des Nationalen Innovationsprogramms Wasserstoff und Brennstoffzellen eine Förderung beantragt werden.

Der Projektskizze liegt eine Studie der IEE Ingenieurbüro Energieeinsparung GmbH zur „Machbarkeit einer Wind-Wasserstoff-Station am Standort Stolpe“ vom 12.12.2007, zugrunde.

2 Standort und Windenergieanlage

Als Standort für die Demonstrationsanlage ist die Tank- und Rastanlage Stolpe an der Bundesautobahn A 24 zwischen Berlin und Hamburg vorgesehen.

Grund dafür sind die Ergebnisse von CEP und die Entscheidung das Projekt innerhalb von CEP II fortzuführen und in diesem Zusammenhang auch die Möglichkeit für eine Wasserstoffbetankung zwischen Berlin und Hamburg zu schaffen. Hier eignet sich die TuR Stolpe besonders durch die mittige Lage zwischen Berlin und Hamburg.

Neben der Auswahl auf Grund der Lage zwischen den beiden Städten besteht an diesem Standort der weitere Vorteil einer Straßenverbindung zwischen der nördlich und südlich der Autobahn angeordneten Tankstellen.

Als Mikrostandort bietet sich die südliche Seite der Raststätte an. In unmittelbarer Nähe zur Tankstelle ist hier kein Wald vorhanden. Insofern kann der räumliche und energetische Zusammenhang zwischen Windkraftanlage und Zapfsäule besser demonstriert werden. Diese wäre auf der nördlichen Seite nicht gegeben, da die Raststätte hier vollständig vom Waldstreifen eingeschlossen ist.

Es wurden bereits erste Absprachen und Sondierungsgespräche mit der Gemeinde geführt.

Als zweite Ausbaustufe kann die nördliche Seite der TuR Stolpe genutzt werden. Für diese zweite Station kann die WEA auf der Südseite genutzt werden. Es wäre nur noch die Wasserstoff-Station aufzubauen.

Als WEA soll eine Windenergieanlage möglichst von einem Hersteller mit Sitz in Mecklenburg-Vorpommern zum Einsatz kommen. Nach bisherigen Abstimmungen mit Behörden soll die Gesamthöhe auf 100 m beschränkt werden.

Damit kommt von der Firma Nordex die WEA vom Typ N 80 mit 2,5 MW in Betracht.

Von den Herstellern ENERCON, REpower und VESTAS stehen WEA mit Gesamthöhe 100 m mit einer Leistung von 2.0 MW zur Verfügung.

Die jährlich bereitgestellte Energie beträgt mit der N 80 ca. 4.534.000 kWh.

Um die notwendige Leistung von 150 kW für die Wasserstoffherzeugung und Aufbereitung bereitzustellen, ist eine Windgeschwindigkeit von ca. 5 m/s notwendig.

Alle Angaben im Konzept sind streng vertraulich!
Vervielfältigungen und Kopien nur mit Zustimmung der Urheber

Nach den bisherigen Abstimmungen ist jedoch zu erwarten, dass die Genehmigungsbehörden bestrebt sein werden die WEA so auszulegen, dass mehr als 50 % der Elektroenergieproduktion für die Wasserstoffherzeugung zum Einsatz kommen.

Im Folgenden wird im Interesse der Wirtschaftlichkeit des Projektes mit einer 2,5 MW Anlage weiter gerechnet.

Für den Mikrostandort der WEA wurden durch die IEE GmbH Abstimmungen mit der Gemeinde und mit dem Grundstückseigentümer durchgeführt. Ein Nutzungsvertrag befindet sich in der Abstimmung mit dem Landwirt und Bewirtschafter.

3 Grundlagen der Systemdimensionierung

3.1 Ermittlung der erzeugbaren Wasserstoff

Es wird davon ausgegangen, dass der Elektrolyseur 3.500 h/a arbeiten **kann**. Das bedeutet, dass mindestens in 3.500 h/a eine Windgeschwindigkeit von 5 m/s herrschen müssen, um die notwendigen 150 kW der gesamten Anlage bereitzustellen.

Es ergibt sich folgende Energieaufteilung:

	WEA Produktion kWh	Bedarf H2 Produktion kWh	Netzeinspeisung aus WEA kWh	Bereitgestellter Wasserstoff Nm³ H2	Betriebsstunden des Elektrolyseur h
pro Jahr	4.534.000	521.035	4.012.965	104.207	3.474
pro Woche	87.192	6.680	80.512	1.336	67
pro Tag	12.422	952	11.470	190	10

demnach werden 11,5 % der bereitgestellten Energie zur Wasserstoffproduktion verwendet, 88,5 % werden in das Netz eingespeist.

3.2 Ermittlung des Wasserstoffbedarfs

Der Wasserstoffbedarf an der Station Stolpe wurde unter Berücksichtigung der erzeugbaren Wasserstoffmenge überschlägig ermittelt.

Kraftstoff:

Es werden 2 Fahrzeuge an 220 Tagen im Jahr und einer täglichen Fahrleistung von 400 km mit Wasserstoff versorgt. Der Energieverbrauch eines Fahrzeugs beträgt 100 kWh auf 100 km.

$$2 \text{ Fahrzeuge} * 400 \text{ km} * 220 \text{ Tagen} * 100 \text{ kWh} / 100 \text{ km} = 176.000 \text{ kWh/a}$$

Alle Angaben im Konzept sind streng vertraulich!
Vervielfältigungen und Kopien nur mit Zustimmung der Urheber

bzw. 58.667 Nm³/a
bzw. 5280 kg/a

Rückverstromung

An 165 Tagen im Jahr, 2h pro Tag wird mit einer Leistung von 125 kW Spitzenenergie ins Netz gespeist. Der Wirkungsgrad des Rückspeisemoduls beträgt 30 %.

2h pro Tag * 165 Tage im Jahr * 125 kW / 30% = 137.500 kWh/a
bzw. 45.833 Nm³/a
bzw. 4.125 kg/a

Daraus ergibt sich **insgesamt** ein Wasserstoffbedarf **von 104.500 Nm³ H₂ /a**
bzw. 9.395 kg H₂ /a

4 Stationäre Wasserstoff-Station

Die Energie der Windkraftanlage wird zu 11,5 % zur Bereitstellung des Wasserstoffs genutzt.

Energie von WEA	100,00%	4.534.000kWh
Anteil EEG Einspeisung	88,48%	4.011.500kWh
Anteil Elektrolyseur, gesamt	11,52%	522.500kWh
für Rückverstromung	5,05%	229.167kWh
für Kraftstoff	6,47%	293.333kWh

Die restlichen 88,5% werden mit EEG-Vergütung ins Netz eingespeist. Bei einer Vergütung von 0,092 € ergibt sich daraus eine jährliche Vergütung von 369.058,00 €.

4.1 Elektrolyseur

Es ist ein alkalischer, atmosphärischer Elektrolyseur, mit einer Produktion von 30 Nm³/h H₂ vorgesehen. Die Aufnahmeleistung unter Volllast beträgt ca. 129 kW. Um die veranschlagten 104.500 Nm³ H₂ pro zu produzieren, müsste der Elektrolyseur 3.474 h/a im Volllastbetrieb laufen.

Erste Angebote wurden von renommierten Herstellern eingeholt.

Eine Entscheidung wurde noch nicht herbeigeführt.

4.2 Kompressor

Der Elektrolyseur hat einen Ausgangsdruck von ca. 1 bar. Der Kompressor muss also 30 Nm³/h H₂ von ca. 1 bar auf max. 30 bar erhöhen. Desweiteren soll der Wasserstoff zur Befüllung des Tankstellen-Containers auf max. 200 bar verdichtet werden.

Eingangsdruck [bar]	Ausgangsdruck [bar]	Kompressionsenergie [kWh/Nm ³ H ₂]	Kompressionsleistung bei 30 Nm ³ /h [kW]
1	30	0,20	6,12
30	200	0,12	3,57

Je nach Möglichkeiten des Kompressors und dem Ausgangsdruck des Elektrolyseurs, werden entweder 2 Kompressoren, oder 1 Kompressor mit Auskopplung aus der ersten Verdichterstufe bei 30 bar eingesetzt.

4.3 MD-Speicher

Der Mitteldruckspeicher soll den Wasserstoffbedarf von mindestens zwei Wochen speichern können. Bei einer Größe von 150 m³ und einem Druck von 30 bar kann problemlos der Wasserstoffbedarf von 2 Wochen gespeichert werden.

Als liegende Zylinder ausgeführt haben zwei Speicher je eine Länge von ca. 10 m und einen Durchmesser von ca. 3,00 m.

Die Speicherkapazität des MD-Speichers beträgt bei 30 bar ca. 372 kg.

Die Gesamtspeichermenge inklusive des Vollständig befüllten Tankstellenspeicher (siehe Kapitel 5: Mobile Tankstellenkomponente) beläuft sich auf ca. 405 kg.

4.4 Motor-Generator

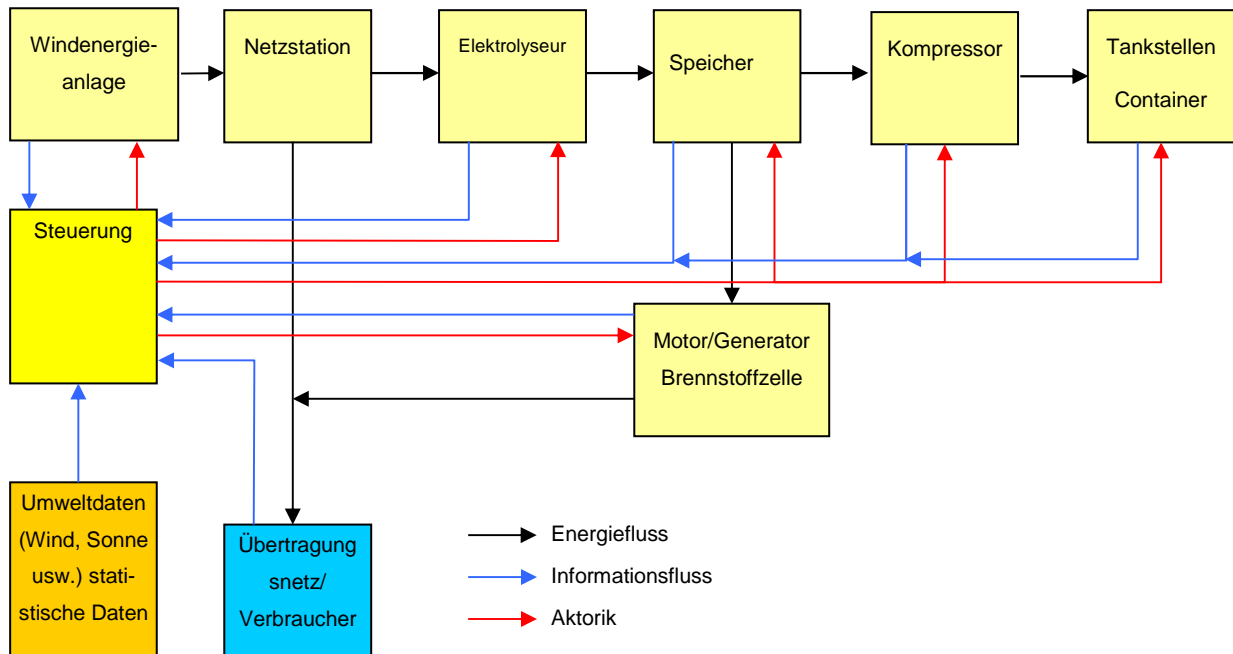
Der Motor-Generator soll eine Leistung von 125 kW_{el.} haben. Der Wirkungsgrad liegt bei ca. 30%. Er verbraucht somit ca. 138 Nm³ H₂/h. Die unter Kapitel 2 veranschlagte Einspeisemenge geht von einer Betriebszeit von 2 h an 165 Tagen im Jahr aus.

4.5 Steuerung

Die Steuerung verarbeitet alle gewonnenen und integrierten Daten über die Aktorik so, dass die Einsatzfahrweise:

- des Energiewandlers, hier des Elektrolyseurs
- des Speichers, hier des Wasserstoffspeichers und
- der Energiestation (z.B. Motorgenerator, Brennstoffzelle oder Tankstelle)

eine zum jeweiligen Zeitpunkt bedarfs- und qualitätsgerechte Einspeisung der regenerativen Energie gewährleistet.



Das Blockschaftbild zeigt die Verknüpfung von Energiefluss, Informationsfluss und Aktorik. Die Steuerungstechnik soll von einem Unternehmen aus M-V weiter entwickelt und installiert werden.

4.6 Schaltanlage und E-Montage

Alle Angaben im Konzept sind streng vertraulich!
 Vervielfältigungen und Kopien nur mit Zustimmung der Urheber

Die Tank und Rastanlage Stolpe ist über eine 20/ 0,4 kV Anlage (Station Stolpe-TuR) an das Netz der E.ON edis AG angeschlossen.

An die „Station Stolpe -TuR“ erfolgt der Anschluss der neu zu errichtenden „Station H₂“ mit 20 kV. In diese Station speist die Windenergieanlage und auch die Powerstation mit dem Motor-Generator über jeweils getrennte Zähler ein. (siehe Prinzipschaltbild)

5 Mobile Tankstellenkomponente

Die Wasserstofftankstelle soll in einem 20 Fuß-Container untergebracht werden. Der Container ist transportabel und kann auch an anderen Standorten eingesetzt werden.

5.1 Anforderungen

Folgende Anforderungen soll die transportable Tankstelle in Containerbauweise erfüllen:

- Die Tankstelle soll leicht zu transportieren und schnell zu installieren sein.
- Die Tankstelle soll in einen 20 Fuß-Container untergebracht werden.
- Der Energiebedarf soll gering sein, so dass sie an einen normalen Hausanschluss oder einer Niederspannungsstation angeschlossen und versorgt werden kann.
- Die Tankstelle soll täglich drei Fahrzeuge à 5 kg H₂ betanken können.
- Sie soll bis zu 700 bar Fahrzeuge zu 100% befüllen können.
- Sie soll leicht und ohne zusätzliche Komponenten zu bedienen sein.
- Alle Normen und Richtlinien sollen eingehalten werden.
- Die Befüllzeit eines PkW sollte bei max. 10 min liegen.
- Die Tankstelle sollte über Nacht mittels Trailer versorgt werden können.
- Die Tankstelle soll über eine Kommunikationsschnittstelle mit dem tankenden Fahrzeug verfügen.

5.2 Speichersystem

Um eine Abgabemenge von täglich 15 kg zu gewährleisten, muss der Speicher eine Kapazität von mindestens 20 kg aufweisen.

Es sollen drei Bänke mit verschiedenen Druckniveaus eingesetzt werden. Jede Bank besteht aus mehreren Speicherröhren, damit auch nach einem Tankvorgang jede Bank ihren jeweiligen Nenndruck bereitstellen kann. Die Nenndrücke sollen betragen:

Niederdruckbank 200 bar

Alle Angaben im Konzept sind streng vertraulich!
Vervielfältigungen und Kopien nur mit Zustimmung der Urheber

Mitteldruckbank 500 bar
 Hochdruckbank 900 bar

Für die ND-Bank sollen Zylinder bis zu einem zulässigen Arbeitsdruck von 200 bar eingesetzt werden. Für die MD und HD- Bank sollen Flaschenspeicher zum Einsatz kommen.

Um eine Befüllzeit von ca. 10 min/Pkw (5kg H₂) einzuhalten, muss der Tankstellenspeicher ca. 125% des max. Fahrzeugdrucks aufweisen.

Bei einer Wasserstofftemperatur von 15 °C ergeben sich daraus folgende Werte für die Befüllung eines Fahrzeuges:

	notwendiger Druck im Speicher [bar]	Fahrzeugdruck [bar]	Dichte [kg/m ³]	Füllstatus [%]	H2 Abgabe pro Bank und Fahrzeug [kg]
ND-Bank	200	160	12,23	30	1,52
MD-Bank	500	400	26,71	66	1,80
HD-Bank	900	720	40,98	102	1,77

Die Niederdruckbank soll vom Kompressor bzw. vom Trailer befüllt werden. Bis zu einen Druck von 200 bar kann der Wasserstoff von der ND-Bank in die anderen Bänke überströmen (Ventile geöffnet). Von der MD-Bank kann der Wasserstoff bis zu einem Druck bis 500 bar auf die HD-Bank überströmen.

Die Kapazität des Mehrbanksystems wird so groß gewählt, dass bei 200 bar 20 kg Wasserstoff gespeichert werden können. Die Größen der MD-Bank und der HD-Bank richten sich nach der Abgabemenge pro Fahrzeug. Daraus ergeben sich folgende Speichergrößen:

	Speichergröße [m ³]	Anzahl Speicherzylinder	Anteilige Größe des Kaskadensystems [%]	Wasserstoff bei 200 bar [kg]
ND-Bank	0,80	6	60	12
MD-Bank	0,27	3	20	4
HD-Bank	0,27	3	20	4
Gesamt	1,34	12	100,00	20

Alle Angaben im Konzept sind streng vertraulich!
 Vervielfältigungen und Kopien nur mit Zustimmung der Urheber

Im vollständig befüllten Zustand (200/500/900 bar), kann bei dieser Auslegung die Tankstelle 33,16 kg speichern.

5.3 Kompressoren

In einem Container sollen zwei Kompressoren eingesetzt werden. Die Kompressoren erhöhen den Druck in den einzelnen Speicherzylindern auf den jeweiligen Nenndruck.

Die Kompressoren müssen sehr flexibel eingesetzt werden können. Folgende Betriebszustände sollten möglich sein.

- Innerhalb der ND-Bank soll der Druck von minimal 10 bar auf bis zu 200 bar bei 15°C innerhalb einer Stunde erhöht werden.
- Von der ND-Bank soll der Druck von minimal 100 bar auf 500 bar bei 15°C in der MD-Bank innerhalb einer Stunde erhöht werden.
- Innerhalb der MD-Bank soll der Druck von minimal 200 bar auf 500 bar innerhalb einer Stunde erhöht werden.
- Von der MD-Bank bei ca. 300 bar soll der Druck auf 900 bar in der HD-Bank innerhalb einer Stunde erhöht werden.
- Innerhalb der HD-Bank soll der Druck von ca. 500 auf 900 bar innerhalb einer Stunde erhöht werden.

Auf die Kompressionsleistung bezogen, ist die Druckerhöhung von 10 auf 200 bar die zu bemessende Größe.

Die Kompressoren müssen bis ca. 1000 bar Drucksicher sein.

Je nach Angebot der Kompressoren sollen entweder zwei baugleiche Kompressoren (jeweils 3,2 kW), oder ein großer Kompressor bis zu 500 bar (3,2 kW) und ein kleinerer bis zu 1000 bar (0,8 kW), eingesetzt werden. Jeder Kompressor hat einen separaten Kreislauf, dem verschiedene Speicherzylinder angeschlossen werden können. Dadurch können beide Kompressoren gleichzeitig operieren und verschiedene Aufgaben erfüllen.

6 Investitionskosten

Stationäre Komponenten

Die Investitionskosten können z.Zt. nur abgeschätzt werden. Basis für die Kosten der stationären Anlagenkomponenten ist ein vergleichbares Angebot von StatoilHydro vom 12.12.07. Die Preise wurden auf Euro umgerechnet.

Transformator

Gleichrichter

Wasseraufbereitung

Wasserstoffreinigung

Wasserstofftrocknung

Elektrolyseur, 30 Nm³/h, alkalisch, atmosphärisch

Kompressor, 1...30 bar und 30 .. 200 bar

MD-Speicher, 30 bar 150 m³(geometrisch)

Gesamt: 1.263.625,00 €

mobile Tankstellenkomponenten

Die Komponenten der Tankstelle wurden ebenfalls, soweit möglich, dem Angebot von StatoilHydro, vom 12.12.07, entnommen. Die Kompressoren sind Angeboten von PDC entnommen.

Zapfsäule ca. 131.875,00 €

Kaskadenspeicher ca. 60.960,00 €

Kompressoren ca. 57.333,00 €

Gesamt ca. 192.835,00 €

Kosten der Station: ca. 1.456.460,00 €

Windenergieanlage

WEA N90, 2,3 MW, Gesamthöhe 100 m ca. 3.500.000,00 €

Fundament ca. 70.000,00 €

Alle Angaben im Konzept sind streng vertraulich!
Vervielfältigungen und Kopien nur mit Zustimmung der Urheber

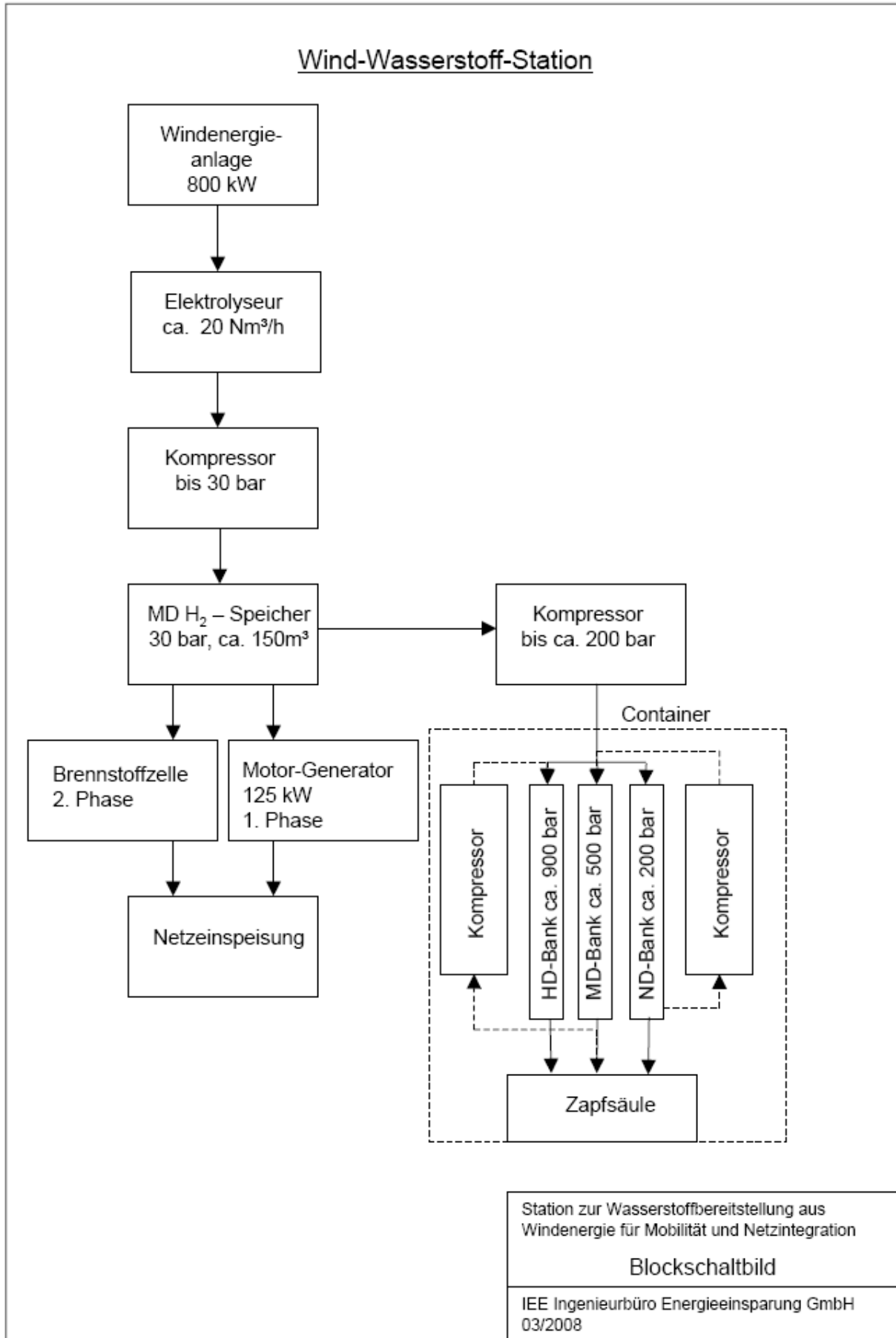
Gesamt ca 3.570.000,00 €

Gesamtkosten ca. 5.026.460,00 €

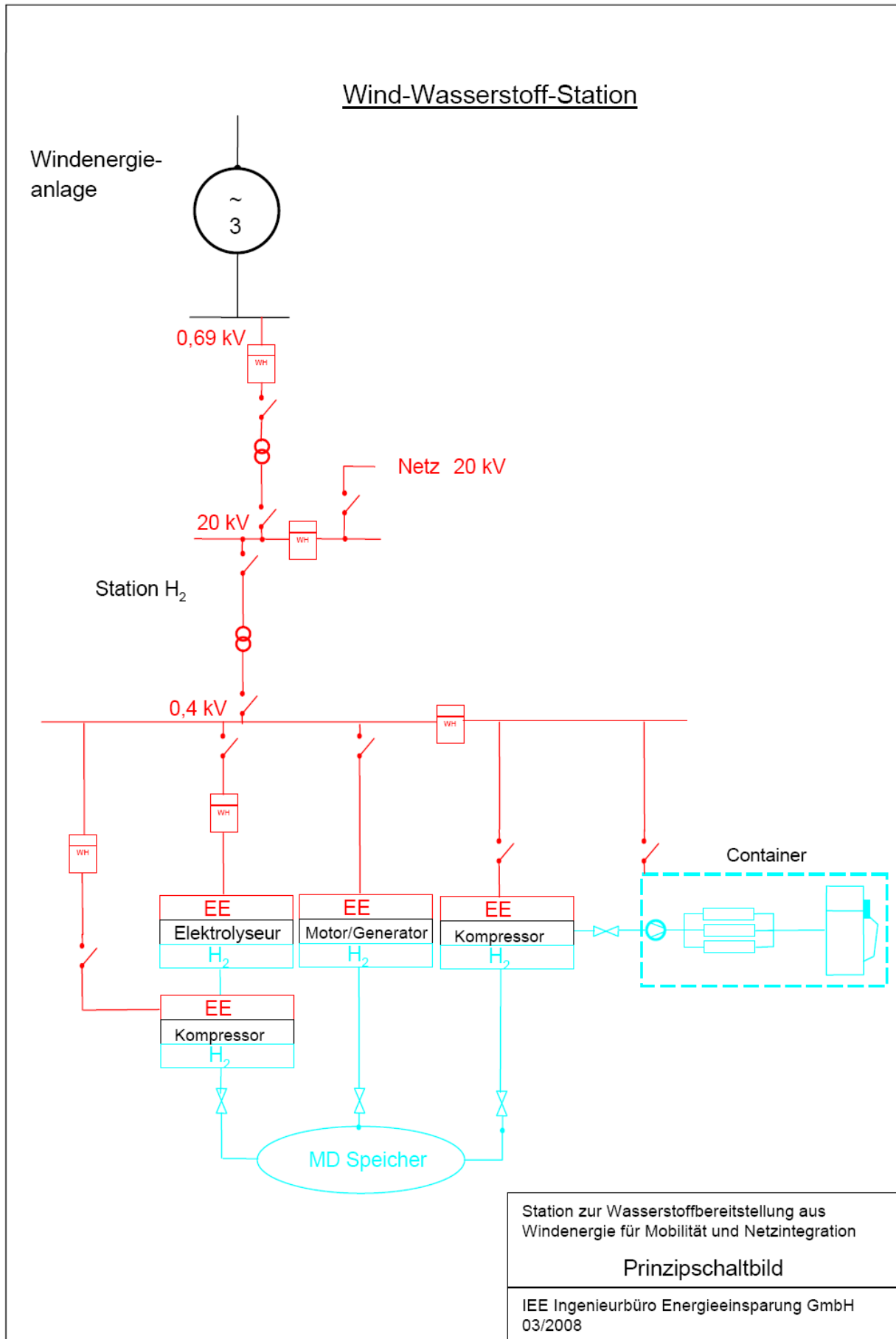
Hinweis: Alle Preisangaben sind geschätzt und Nettopreise.

7 Anlagen

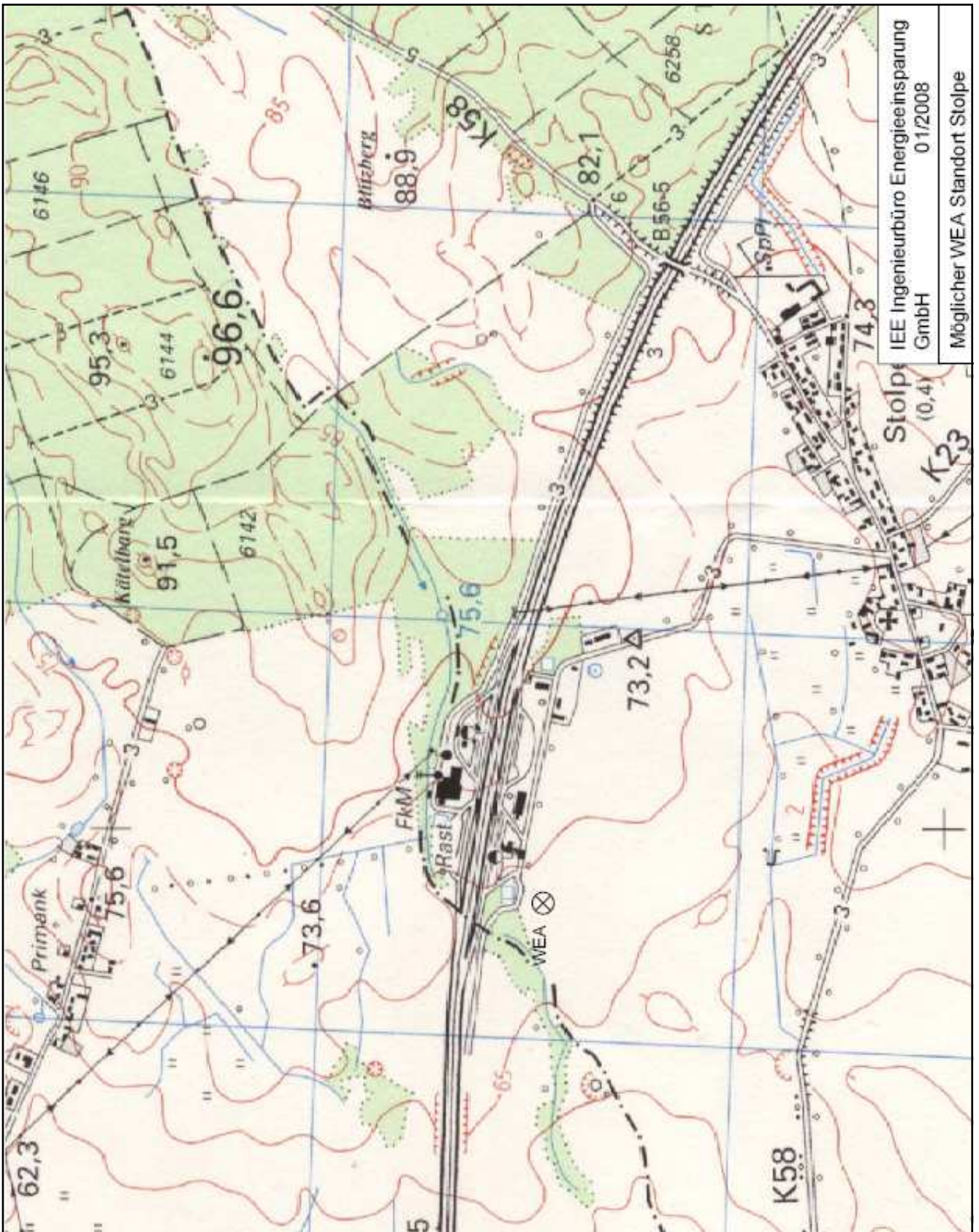
- Blockschaltbild WW-Station
- Prinzipschaltbild WW-Station
- Übersichtskarte TuR Stolpe mit Standort für WEA



Alle Angaben im Konzept sind streng vertraulich!
 Vervielfältigungen und Kopien nur mit Zustimmung der Urheber



Alle Angaben im Konzept sind streng vertraulich!
Vervielfältigungen und Kopien nur mit Zustimmung der Urheber



Alle Angaben im Konzept sind streng vertraulich!
Vervielfältigungen und Kopien nur mit Zustimmung der Urheber