



**Informationen zur
hocheffizienten Windturbine
(HE-WT)**



Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung	3
2 Windenergie allgemein	4
2.1 Vorteile der hocheffizienten Windturbine.....	4
3 Grundlagen der Windenergieerzeugung	5
3.1 Daten und Fakten.....	5
4 Stand der Technik	7
4.1 Windenergieanlagen mit horizontaler Rotorachse.....	7
4.2 Windenergieanlagen mit vertikaler Rotorachse.....	7
4.3 Windenergieanlagen mit Windkonzentrator.....	7
4.4 Schwebende und fliegende Windenergieanlagen.....	7
5 Die Technik der hocheffizienten Windturbine	9
5.1 Die schwebende Komponente.....	9
5.2 Verbindung zur schwebenden Komponente.....	11
5.3 Die Komponenten der Bodenstation.....	12
5.4 Konzeptentwurf der schwebenden Komponente.....	12
5.5 Konzeptentwurf für den Rotor und das Getriebe.....	13
5.6 Konzeptentwurf für Wartung und Instandhaltung.....	13
5.7 Konzeptentwurf für den Transport und die Montage.....	13



1 Einleitung

Die weltweite Energienutzung steigt stetig an, weil sich die Schwellenländer China und Indien rapide entwickeln. Dieses hat aber zur Folge, dass sich die Energiekosten erhöhen.

Durch die gestiegenen Energiekosten steigen auch die Preise für Lebensmittel an, weil zur Erzeugung und Verteilung der Lebensmittel viel Energie benötigt wird. Sei es für die Beleuchtung der Gewächshäuser, die Trecker auf dem Acker oder die LKW's, die die Lebensmittel in den Supermarkt anliefern.

Der Großteil der elektrischen Energie wird heute aus den fossilen Energieträgern Kohle und Erdöl gewonnen, aber auch durch Verbrennen von Erdgas in Dampfkraftwerken.

Der Rest wird durch Nutzung der Wasserkraft, aus der Kernenergie und aus den so genannten regenerativen Energiequellen erzeugt. Die regenerativen Energiequellen sind heute mit circa 5% an der weltweiten elektrischen Stromerzeugung beteiligt.

Die fossilen Energieträger wie Steinkohle, Braunkohle und Erdöl sowie Erdgas tragen zur Klimaveränderung durch den CO₂-Ausstoß bei und werden bald verbraucht sein. Die Atomkraftwerke gelten ebenfalls nicht als zukunftssicher, weil es bis heute nicht gelungen ist, die Endlagerung der verbrauchten radioaktiven Brennstäbe zu lösen.

Als umweltverträgliche Energiequellen bleiben nur die Wasserkraft und die regenerativen Energien für die Stromerzeugung übrig. Jedoch sind auch diese Energiequellen nicht alle wirklich umweltfreundlich wie die folgenden Beispiele zeigen:

Wasserkraft

Die Erschließung der Wasserkraft ist in den Industrienationen weitgehend ausgeschöpft. In den Schwellenländern ist noch Potential vorhanden. Die Errichtung von Talsperren mit Staumauern führt jedoch zur großen Eingriffen in die Umwelt, was besonders an dem Dreischluchten-Staudamm in China deutlich wurde, wo eine Million Menschen umgesiedelt werden mussten.

Bioenergie am Beispiel Biodiesel

Auf einem ha Ackerfläche (= 10.000 m²) können maximal 2 t Rapsölsamen geerntet werden. Die Samen enthalten bis zu 60 % Öl. Das heißt, dass aus 2 t Ölsamen 1.200 Liter Öl gewonnen werden. Der Energiegehalt vom einem Liter Öl entspricht in etwa 10 kWh. Das ergibt einen Ertrag von 0,12 Liter pro Quadratmeter beziehungsweise 1,2 kWh im Jahr. Auf einen Tag bezogen sind das 3,3 Watt. Im Vergleich liefert uns die Sonne in unseren Breitengraden circa 800 Watt pro Quadratmeter je Sonnenstunde. Zur Erzeugung der Ölsamen wird viel Wasser, Dünger und Pestizide benötigt. Aus dem Dünger werden ca. 5% N₂O (Distickstoffoxid) freigesetzt. Dieses Gas verbleibt im Mittel (Halbwertszeit) 114 Jahre in der Atmosphäre und gilt mit dem sehr hohen Treibhauspotential von 298 als ein sehr schädliches Treibhausgas. Damit ist N₂O also 298 mal so schädlich wie CO₂ (Treibhauspotential = 1).

Solarzelle

Zur Herstellung von Photovoltaikmodulen werden viel Energie und giftige Schwermetalle benötigt. Die Wirkungsgrade der Solarmodule betragen zwischen 6 % für Dünnschichtmodule (auf Siliziumbasis) und 19 % für monokristalline Module. Der Energieertrag liegt bei 70 -130 kWh pro Quadratmeter und Jahr.



2 Windenergie allgemein

Bezogen auf den Materialeinsatz und die benötigte Fläche hat die Windkraftnutzung die beste Energieeffizienz. Die Nutzung der Windenergie hat praktisch keine negativen Auswirkungen auf die Umwelt zur Folge. Lediglich der Anblick des Landschaftsbildes ist unschön, weil insbesondere die Türme als störend empfunden werden.

Für die Wirtschaftlichkeit der herkömmlichen Windenergieanlagen ist der Standort sehr entscheidend, weil die regionalen Unterschiede sehr groß sind. Windenergieanlagen werden deshalb nur an den günstigen Standorten aufgestellt, wo das Windangebot sehr hoch ist. Weitere Informationen sind im Kapitel 3.1 (Daten und Fakten) aufgeführt.

Das EEG [Erneuerbares Energie Gesetz] regelt die Vergütungssätze für die nachfolgend aufgeführten Erneuerbaren Energien (siehe [BMU-Seite über das EEG 2009](#)).

- Wasserkraft
- Deponie-, Klär- und Grubengas
- Biomasse
- Geothermie
- Windenergie
- Solare Strahlungsenergie

Das EEG zeigt deutlich, dass die Windenergie eine hohe Wirtschaftlichkeit hat und nur wenig gefördert wird.

2.1 Vorteile der hocheffizienten Windturbine

Gegenüber den herkömmlichen Windenergieanlagen mit horizontaler Rotationsachse und Turmmontage weist die hocheffiziente Windturbine die folgenden Vorteile auf:

- Die HE-WT benötigt keinen Turm und ist somit nicht in der Nabenhöhe begrenzt.
- Die HE-WT benötigt kein aufwendiges Fundament für einen Turm.
- Die HE-WT benötigt kein aktives Windnachführungssystem.
- Die HE-WT benötigt kein Getriebe wie eine herkömmliche Windenergieanlage.
- Die HE-WT kann in größeren Höhen mit einem höheren Windangebot und weniger Turbulenzen betrieben werden.
- Die HE-WT kann aufgrund des Windkonzentrators bei kleineren Windgeschwindigkeiten den Betrieb aufnehmen.
- Die HE-WT ist am Aufstellungsort einfach zu montieren und zu demontieren.
- Die HE-WT ist aufgrund der Konstruktion einfach instand zu halten.
- Die HE-WT kann bis zu Anlagengrößen von 20 MW realisiert werden.



3 Grundlagen der Windenergieerzeugung

Die Nutzung des Windes zur Verrichtung von Arbeit ist seit ca. 4.000 Jahren bekannt. Windmühlen wurden genutzt um Getreide zu mahlen und um Wasser zu pumpen. Die heutigen Windenergieanlagen beruhen grundsätzlich auf der selben Technik dieser Windmühlen.

In der zweiten Hälfte des 19. Jahrhundert wurde erstmals versucht die Windenergie in elektrische Energie umzuwandeln. Mit der aufkommenden Industrialisierung und der Erfindung von Dampfmaschinen sowie der Verbrennungsmotoren wurde diese Technik jedoch nicht weiterentwickelt.

Der deutsche Ingenieur und Physiker Albert Betz schuf um 1920 mit seinen Forschungen zur Aerodynamik die Grundlagen zur Weiterentwicklung von Windenergieanlagen. Er formulierte das Betz'sche Gesetz, das laut dem die maximale Ausnutzung der kinetischen Energie des Windes bei 59,3 % liegt.

Kinetische Energie [Nm]: $E = 0,5 * m * v^2$ v ist die Geschwindigkeit der Luft

Massenstrom m' [kg/s]: $m' = \rho * v * A$ A ist die durchströmte Fläche

Windleistung P [W]: $P = E * m' = 0,5 * \rho * v^3 * A$ ρ ist die Dichte der Luft

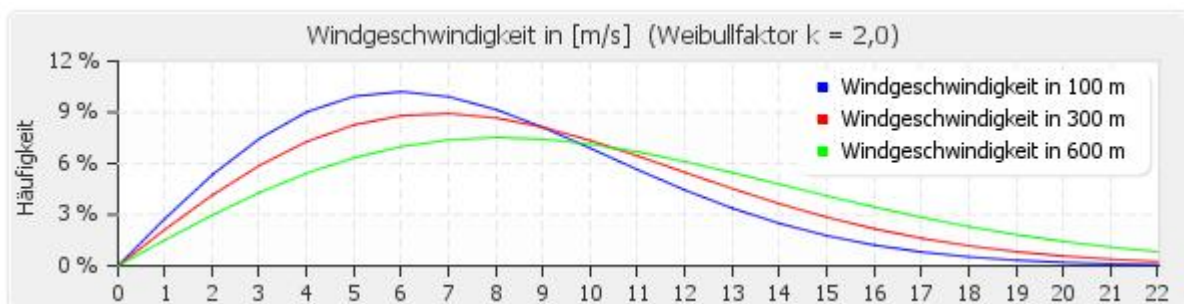
Nutzleistung P_{Nutz} [W]: $P_{Nutz} = 0,5 * \rho * v^3 * A * 0,593$

Je größer die durchströmte Fläche A ist, desto größer ist der Ertrag. Bei doppeltem Rotor-durchmesser steigt der Ertrag um den Faktor 4. Bei doppelter Windgeschwindigkeit steigt der Ertrag sogar um den Faktor 8.

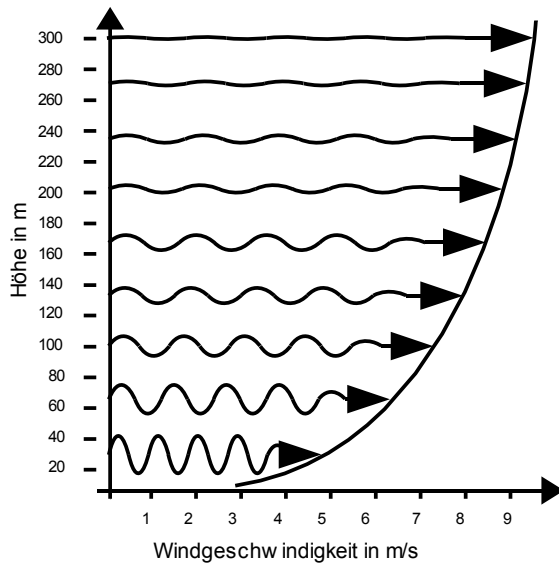
3.1 Daten und Fakten

Wo und wie oft der Wind weht, ist abhängig von dem Standort sowie von der Höhe. Aus diesem Grund werden die bisherigen Windenergieanlagen immer an einem günstigen Standort aufgestellt, wo sich der Bau einer Windenergieanlage wirtschaftlich lohnt.

Es werden so genannte Windkarten erstellt, die einen statistischen Überblick über die Windverhältnisse geben. Für die Planung von Windparks werden Vorortmessungen durchgeführt. Die Messergebnisse werden in einer „Weibull-Verteilung“ dargestellt. Die Kurve sagt aus, mit welcher Häufigkeit in der gemessenen Höhe eine bestimmte Windgeschwindigkeit auftritt.



Aus dem Vergleich der Kurven lässt sich erkennen, dass sich in größeren Höhen ein wesentlich höherer Ertrag erzielen lässt, weil die Häufigkeit höherer Windgeschwindigkeiten zunimmt.



Die Weibull-Verteilung sagt jedoch nichts über Turbulenzen aus. Turbulenzen entstehen im wesentlichen durch die Rauigkeit des umgebenden Geländes bzw. durch Hindernisse wie Hügel, Häuser und Bäumen.

Solche Turbulenzen belasten die gesamte Windenergieanlage und führen zu einem vermehrten Verschleiß. Mit steigender Höhe nehmen die Turbulenzen stetig ab, weil sich der Einfluss der Bodenbeschaffenheit nicht mehr auswirkt.

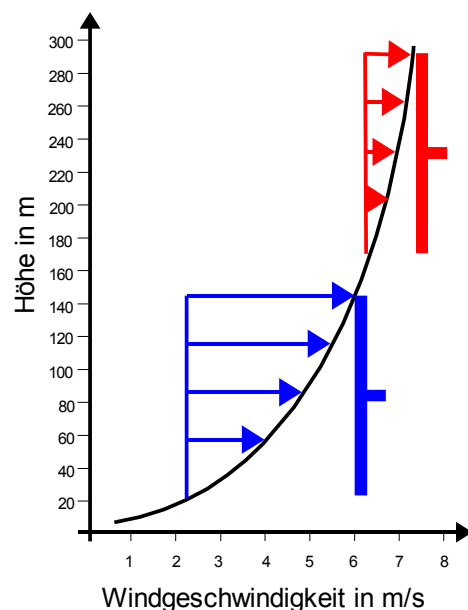
Die Unebenheiten eines Geländes können aber auch zu einer Erhöhung der Windgeschwindigkeit führen. Hier sei der Tunnel-effekt und der Hügelleffekt genannt, die einen natürlichen Windkonzentrator darstellen.

Neben den genannten Turbulenzen belastet auch die Windscherung die Anlage. Weil mit zunehmender Höhe die Windgeschwindigkeit steigt, ist die Belastung an den Rotorblättern und der Nabe nicht zu vernachlässigen.

Die nebenstehende Grafik zeigt die unterschiedlichen Kräfte der Windscherung bei Nabenhöhen von 90 m und 230 m.

Der blaue Rotor wird wesentlich stärker belastet als der rote Rotor. Die Belastung wird noch verstärkt, wenn das unterstehende Rotorblatt am Turm vorbei läuft.

Zudem kann der blaue Rotor viel weniger Energie umwandeln als der rote Rotor, weil die Windgeschwindigkeit viel geringer ist.



Der Deutsche Wetterdienst (DWD) und auch das Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie stellen Winddaten zur Verfügung. Die veröffentlichten Messergebnisse der Forschungsplattform FINO 1, nordwestlich der Insel Borkum, zeigten in dem Messzeitraum September 2003 bis September 2004 eine mittlere Windgeschwindigkeit von 9,46 m/s in 100 m Messhöhe. Zum Vergleich wurde in Mittelhessen in 100 m Messhöhe nur eine mittlere Windgeschwindigkeit von 6,5 m/s aufgezeichnet.



4 Stand der Technik

4.1 Windenergieanlagen mit horizontaler Rotorachse

Am weitesten verbreitet sind die Dreiblattrotoren mit horizontaler Rotorachse, die auf einem Turm montiert werden. Die bisher größten Anlagen erreichen eine Nabenhöhe bis zu 160 m mit einem Rotordurchmesser bis zu 127 m. Die Nennleistung kann bei günstigen Windverhältnissen bis zu 6 MW betragen. Türme für große Anlagen werden entweder als konische Stahlrohtürme, Gittertürme oder Betontürme ausgeführt. Die Türme benötigen ein starkes Fundament um die Windlasten aufzunehmen. Denn je höher ein Turm ist, desto größer ist auch der Hebel, der auf das Fundament wirkt. Die Bauform mit der horizontalen Rotorachse benötigt eine Windnachführung (Azimutsystem). Dieses System sorgt dafür, dass die Windenergie optimal auf die Rotorfläche einströmt.

4.2 Windenergieanlagen mit vertikaler Rotorachse

Der Savonius-Rotor und der Darrieus-Rotor sind aufgrund des geringen Wirkungsgrades wenig verbreitet. Beide Systeme haben den großen Vorteil der Windrichtungsunabhängigkeit. Außerdem können der Generator und das Getriebe bodennah installiert werden.

4.3 Windenergieanlagen mit Windkonzentrator

Bauformen mit Windkonzentrator werden zum Beispiel als ummantelte Tangentialrotoren oder als Vierblattrotoren, die von einer Mantelturbine (Diffusor) umgeben sind, angeboten. Sie erreichen hohe Wirkungsgrade, sind aber aufgrund der aufwendigen Herstellung wenig verbreitet und nur für Kleinwindenergieanlagen (bis 5 kW) geeignet.

4.4 Schwebende und fliegende Windenergieanlagen

Es befinden sich derzeit mehrere Varianten in der Entwicklung:

- a) Gleitschirme und flugzeugähnliche Drachen, die in großen Höhen (500 m bis 6 km) über ein Seil, das an einem Generator befestigt ist, auf- und absteigen ähnlich, eines Jo-Jo.

Vorteile:	Nachteile:
<ul style="list-style-type: none">• Geringer Materialeinsatz	<ul style="list-style-type: none">• Es wird nur beim Aufsteigen Energie umgewandelt• Geringer Wirkungsgrad• Keine Betriebsgenehmigung für diese Höhen (aus Gründen der Flugsicherheit)

- b) Ein Lenkdrachen-Karussell soll sich im Kreis drehen und über Seile große Räder in Bewegung setzen an denen ein Generator angeschlossen wird.

Vorteile:	Nachteile:
<ul style="list-style-type: none">• Nicht bekannt	<ul style="list-style-type: none">• Hoher Personaleinsatz, um die Anlage nach einer Windstille in den Betrieb zu überführen• Sehr große Raddurchmesser erforderlich -> hoher Materialeinsatz• Geringer Wirkungsgrad



- c) Eine fliegende Kreuzung aus Helikopter und Drachen (Drachenrotor). Dieses System soll in Höhen von 5.000 m bis 10.000 m den Jetstream anzapfen.

Vorteile:	Nachteile:
<ul style="list-style-type: none">• Nicht bekannt	<ul style="list-style-type: none">• Sehr hohes Kabelgewicht um den erzeugten Strom zum Boden zu leiten• Keine Betriebsgenehmigung für diese Höhen (aus Gründen der Flugsicherheit)

- d) Ein horizontal schwebender Generator-Ballon, an denen sich rippenförmige Schaufeln an der Außenhülle befinden, die das System in Rotation versetzen.

Vorteile:	Nachteile:
<ul style="list-style-type: none">• Nicht bekannt	<ul style="list-style-type: none">• Der Anlage arbeitet nach dem Prinzip eines Savonius-Rotors mit horizontaler Rotationsachse -► geringer Wirkungsgrad

- e) In etwa 400 m Höhe sollen scheibenförmige Zeppeline stationiert werden, die über vier Halteseile am Boden befestigt werden. An diesen Zeppelinen sollen an einer vertikalen Generatorachse Halbkugeln hängen, die im Luftstrom rotieren.

Vorteile:	Nachteile:
<ul style="list-style-type: none">• Nicht bekannt	<ul style="list-style-type: none">• Die Anlage arbeitet nach dem Prinzip eines Schalenkreuzanemometers -► geringer Wirkungsgrad

- f) Die hocheffiziente Windturbine ist eine Weiterentwicklung der herkömmlichen Windenergieanlage mit horizontaler Rotorachse, die den Vorteil ausnutzt, dass in größeren Höhen (etwa 200 m bis 600 m) ein nahezu konstanter Wind mit wenig Turbulenzen weht.

Vorteile:	Nachteile:
<ul style="list-style-type: none">• Das Prinzip baut auf dem sehr hohen Entwicklungsstand herkömmlicher Windenergieanlagen (WEA) mit horizontaler Rotationsachse auf• Vorteile gegenüber einer WEA siehe Kapitel 2.1	<ul style="list-style-type: none">• Nicht bekannt



5 Die Technik der hocheffizienten Windturbine

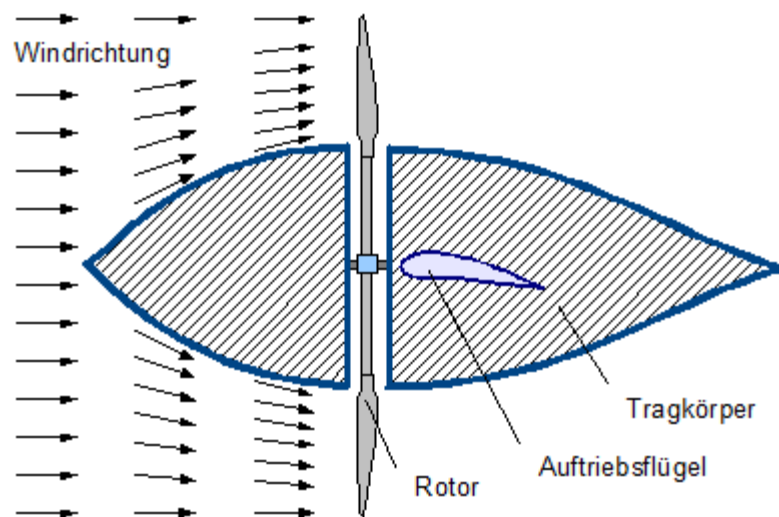
Eine hocheffiziente Windturbine besteht grundsätzlich aus einer schwebenden Komponente und einer Bodenstation, sowie einer Verbindungsleitung.

5.1 Die schwebende Komponente

Die schwebende Komponente besteht aus einem Tragkörper, der nach dem leichter-als-Luft Prinzip in der Atmosphäre schwebt und dem horizontalen Rotor wie bei einer herkömmlichen Windenergieanlage.

Der stromlinienförmige Tragkörper wirkt als Windkonzentrator. Damit kann die Anlage bereits bei kleinen Windgeschwindigkeiten elektrischen Strom liefern, wenn herkömmliche Windräder stillstehen.

Der Windkonzentrator erhöht die Windgeschwindigkeit bis zu 30 Prozent.



Tragkörper

Um hohe Windgeschwindigkeiten zu beherrschen wird der stromlinienförmige Tragkörper wie ein Starrluftschiff mit einem Kiel aufgebaut. Der Stromlinienkörper weist den geringsten cw-Wert auf. An dem Kiel werden die Traggaszellen, der Rotor, der Generator, die Ballastwassertanks und die Auftriebsflügel befestigt.

Auftriebsflügel

Je höher die Windstärke ist, desto mehr würde der Tragkörper zu Boden gedrückt. Die Flügel erzeugen zusätzlichen Auftrieb umso mehr je stärker der Wind bläst. Ohne die Auftriebsflügel müssten die Traggaszellen wesentlich größer dimensioniert werden, was jedoch nicht wirtschaftlich ist.

Rotor

Die hocheffiziente Windturbine wird grundsätzlich mit zwei Rotorblättern ausgelegt. Neben dem Vorteil eines geringeren Gewichtes läuft der Rotor wesentlich schneller (Schnellläufer). Die hierdurch größere erreichbare Umfangsgeschwindigkeit reduziert das Generatorgewicht beziehungsweise das Gewicht des Getriebes.



Traggaszelle

Die Traggaszellen werden mit Wasserstoff gefüllt und sorgen so für den Auftrieb der Anlage. Über das Traggasvolumen wird der Auftrieb gesteuert, der notwendig ist um die wechselnde Luftdichte auszugleichen. Steigt die Luftdichte über den Normaldruck, wird für den Auftriebsausgleich Ballastwasser aufgenommen.

Ballastwassertank

Die Ballastwassertanks nehmen zusätzliches Gewicht auf, sodass der Auftrieb bei einer Luftdichte über Normal und bei Regen schnell ausgeglichen werden kann.

Pitch-System

Über das Pitch-System wird der Anstellwinkel der Rotorblätter geregelt. Bei zu starkem Wind werden die Rotorblätter aus dem Wind gedreht um Beschädigungen zu vermeiden. Durch das Verdrehen der Rotorblätter kann der Rotor im Notfall schnell gebremst werden.

Bremssystem

Die mechanische Bremse wird nur für Wartungsarbeiten eingesetzt um das Drehen des Rotors sicher zu verhindern.

Getriebe

Obwohl die hocheffiziente Windturbine ein Schnellläufer ist, muss die Umdrehungsgeschwindigkeit weiter erhöht werden, sodass die Masse des Generators klein gehalten werden kann.

Generator

Der Generator wandelt die kinetische Energie des Rotors in elektrische Energie um. Der Generator erzeugt eine möglichst hohe Spannung, damit der Strom und somit die Stromdichte im Kabel klein gehalten werden kann. Dies führt zu geringeren Kabelgewichten.

Stromversorgung

Als unterbrechungsfreie Stromversorgung wird eine Brennstoffzelle eingesetzt. Sie liefert den erforderlichen Strom für die Positionswarnlichter, die Messdatenerfassung und für die Steuerung der Anlagenteile.

Positionswarnlichter

Die Positionswarnlichter dienen der Flugverkehrssicherheit. Sie werden lebensdauersicher mit LED-Leuchten realisiert.

Messdatenerfassung und Steuerung

Die erfassten Messdaten, wie Windgeschwindigkeit, Windrichtung, Luftdichte, Luftfeuchte, Temperatur, Füllstand der Ballastwassertanks, Füllstand der Gaszellen und die Höhe über Grund dienen zur Steuerung der Anlage.

Blitzschutz

Windenergieanlagen werden mindestens einmal im Jahr vom Blitz getroffen. Die Blitzenergie verursacht insbesondere an GFK und CFK Materialien große Schäden. Aus diesem Grund werden alle Anlagenteile mit einer niederohmigen Leitung geerdet.

Belüftungssystem

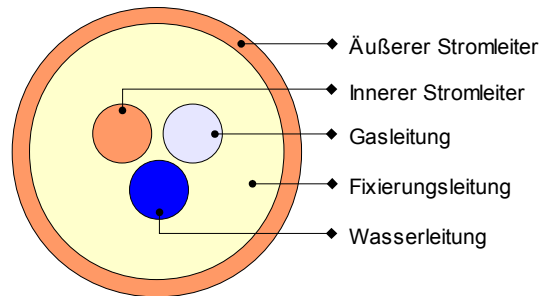
Das Belüftungssystem sorgt dafür, dass zu keinem Zeitpunkt, das stets aus den Gaszellen diffundierende Wasserstoffgas, eine Konzentration von mehr als 4 Prozent in der Luft der Anlage aufweist. Somit kann kein explosives Knallgas entstehen.



5.2 Verbindung zur schwebenden Komponente

Die Verbindung zwischen der schwebenden Komponente und der Bodenstation übernimmt die folgenden vier Funktionen:

1. Die Fixierung der schwebenden Komponente an die Bodenstation
2. Die Übertragung der elektrischen Energie
3. Die Zufuhr und das Reduzieren von Ballastwasser
4. Die Zufuhr und das Reduzieren von Traggas



Zu 1. Die Fixierung der schwebenden Komponente an die Bodenstation

Als Fixierungsmaterial wird ein Kunststoff eingesetzt, der zugleich die Aufgabe der Isolierung zwischen der inneren und der äußeren Stromleitung übernimmt. Es bietet sich eine hochfeste Polyethylen-Faser an, die bei gleichem Gewicht bis zu 15 mal zugfester ist als Stahl (2500 bis 3000 N/mm²). Die Faser ist leicht und schwimmt im Wasser. Sie weist eine hohe Beständigkeit gegen Abrieb, Feuchtigkeit, UV-Strahlen und Chemikalien auf und ist sehr lange haltbar.

Zu 2. Die Übertragung der elektrischen Energie

Um große elektrische Leistungen über dünne Stromleiter zu übertragen erzeugt der Generator eine hohe Spannung. Bei einer Leistung vom 5.000 kW und einer zulässigen Stromdichte auf einer Kupferleitung von 6 Ampere pro Quadratmillimeter muss die Leiterfläche bei einer Spannung von 6.000 V circa 140 mm² betragen. Dementsprechend beträgt der Durchmesser 14 mm (eine 10 ct Münze hat einen Durchmesser von 19 mm). Der äußere Stromleiter wird gleichzeitig als Blitzstromableitung genutzt.

Zu 3. Die Zufuhr und das Reduzieren von Ballastwasser

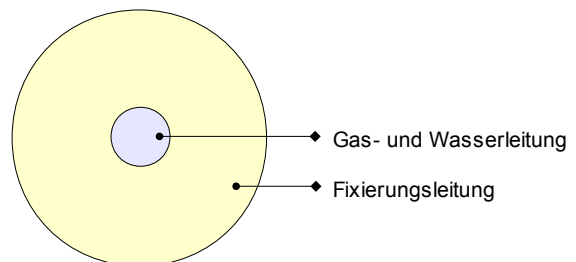
Durch Hochleistungspumpen wird Ballastwasser in die Tanks der schwebenden Komponente geleitet beziehungsweise im Bedarfsfall wieder zurück zur Bodenstation.

Zu 4. Die Zufuhr und das Reduzieren von Traggas

Die Gasleitung besteht aus Kunststoff und überträgt das Wasserstoffgas zwischen der schwebenden Komponente und dem Gasspeicher in der Bodenstation.

Alternative Lösung:

Als Alternative kann die Verbindung nur aus einem Schlauch bestehen, wenn in der schwebenden Komponente die Elektrolyse des Wasserstoffs erfolgt. Die Gas- und Wasserleitung wird dann gemeinsam genutzt. Es wird entweder Wasser in die schwebende Komponente gepumpt oder Gas von der schwebenden Komponente zur Bodenstation.





5.3 Die Komponenten der Bodenstation

Die Bodenstation nimmt über die Verbindungsleitung die Zugkraft auf, die durch den Auftrieb und die Windlast entstehen. Sie sorgt auch dafür, dass in Notfällen die Verbindungsleitung stets gespannt ist und nicht durchhängt. Für Wartungs- und Inspektionszwecke wird die schwebende Komponente an die Bodenstation herangezogen und an einem Ankermast befestigt. Vorab wird der Hinweis gegeben, dass die im Folgenden beschriebenen Komponenten auch für Offshore Anlagen auf einem Schwimmkörper (Ponton) installiert werden können.

Spannungs- und Frequenzanpassung

Entsprechend der geforderten Spannung und Frequenz wird die erzeugte elektrische Energie an das Versorgungsnetz angepasst.

Gaserzeugung und Speicherung

In der Bodenstation wird durch Elektrolyse Wasserstoff erzeugt, der für den Betrieb der Anlage notwendig ist. Denn durch die Traggaszellen diffundiert stets ein kleiner Teil des Wasserstoffs, der ersetzt werden muss. Ein weit größerer Teil des Gases wird benötigt um den Auftriebsunterschied zwischen der niedrigsten Luftdichte und der normalen Luftdichte auszugleichen. Außerdem kann mit der erzeugten elektrischen Energie im großen Umfang Wasserstoff erzeugt werden, der über Versorgungsleitungen oder mit Tankschiffen zum Endverbraucher gebracht wird. Wenn der Wasserstoff gespeichert wird, so kann dieser in windschwachen Zeiten zur Versorgungssicherheit beziehungsweise zur gleichmäßigen Abgabe von Energie an ein Versorgungsnetz genutzt werden.

Wassertank

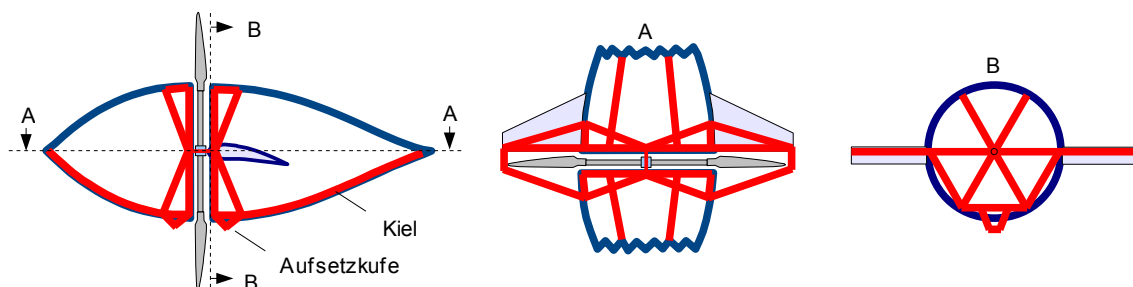
Der Wassertank dient als Speicher für das Ballastwasser und als Wasservorrat für die Erzeugung von Wasserstoff.

Steuerungs-, Betriebsdaten- und Diagnosesystem

In dem Steuerungs-, Betriebsdaten- und Diagnosesystem steckt die Intelligenz des Systems. Die komplexe Software steuert nicht nur die Anlage, sondern sie meldet sich auch beim Wartungsteam bevor es zu Fehlern kommt, die es erforderlich machen die Anlage abzuschalten.

5.4 Konzeptentwurf der schwebenden Komponente

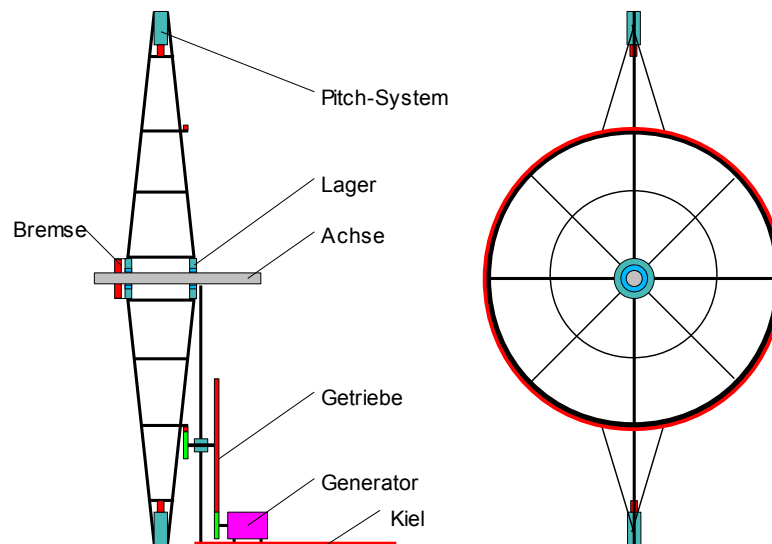
Die wesentlichen Teile der Tragkonstruktion ist in dem folgenden Bild in rot dargestellt. Die Konstruktion ist ähnlich wie ein Kielluftschiff aufgebaut.





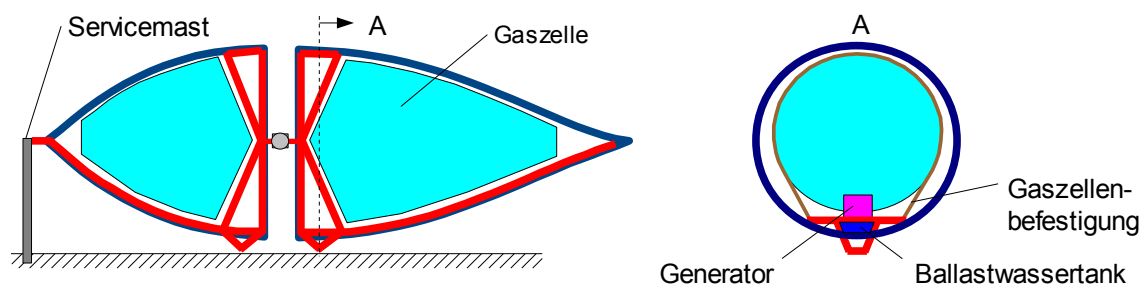
5.5 Konzeptentwurf für den Rotor und das Getriebe

Das Generatorgewicht bei großen herkömmlichen Windenergieanlagen beträgt etwa 12 t. Bei einer hocheffizienten Windturbine ist es wichtig möglichst viel Gewicht einzusparen und das Gewicht weit nach unten zu verlagern. Aus diesem Grund werden alle schweren Komponenten an dem Kiel befestigt.



5.6 Konzeptentwurf für Wartung und Instandhaltung

Wenn ein Abschalten der Anlage erforderlich ist, so werden die Rotorblätter horizontal fixiert. Die Anlage wird über das Halteseil an den Servicemast herangezogen und befestigt. Die Aufsetzkufen sind statisch so ausgelegt, dass sie das gesamte Gewicht der schwebenden Komponente aufnehmen können. Die Anlage ist dann für das Servicepersonal leicht zugänglich. Zum Tausch von Anlagenteilen kann durch die bodennahe Instandhaltung auf Spezialkräne verzichtet werden.



5.7 Konzeptentwurf für den Transport und die Montage

Bei herkömmlichen Windenergieanlagen ist am Aufstellungsort viel Personal erforderlich um die Anlagenteile zu montieren. Die hocheffiziente Windturbine wird im Herstellungswerk vollständig montiert. An den Aufsetzkufen wird eine Gondel mit Motoren befestigt. Dieses System ermöglicht es, dass die hocheffiziente Windturbine wie ein Luftschiff zum Bestimmungsort fährt.