

Windenergie

Handwerkskammer-Flensburg



DAS HANDWERK
DIE WIRTSCHAFTSMACHT. VON NEBENAN.

© Handwerkskammer Flensburg, Johanniskirchhof 1-7, 24937 Flensburg

Winde und Windsysteme

Weltweit gibt es viele verschiedene Winde und Windsysteme, wie zum Beispiel den Passat, Monsun, Föhn, den Mistral, die Bora oder den Scirocco.



© Handwerkskammer Flensburg, Johanniskirchhof 1-7, 24937 Flensburg

-Onshore**-Offshore****-Kleinwindanlagen****Vorteile**

Potenziell ertragsstärkste regenerative Energiequelle.

Keine CO₂-Emission.

Hoher technologischer/ökonomischer Fortschritt und Schaffung neuer Arbeitsplätze.

Nachteile

Wind lässt sich schwer kalkulieren.

Energie lässt sich nicht speichern und muss direkt dem Stromnetz zugeführt werden.

Beeinträchtigung des Landschaftsbildes durch Windkraft-Parks.

© Handwerkskammer Flensburg, Johanniskirchhof 1-7, 24937 Flensburg

**Leistung
der Windenergie**

Moderne Windturbinen arbeiten mit mäßigen Drehzahlen und dabei äußerst effektiv. Eine einzige 1,5 Megawatt-Anlage produziert je nach Standort zweieinhalb bis fünf Millionen Kilowattstunden Strom im Jahr. Damit kann sie über 1.000 Vier-Personen-Haushalte versorgen oder in 20 Betriebsjahren umgerechnet circa 90.000 Tonnen Braunkohle ersetzen. Die größten Windturbinen haben mittlerweile Nennleistungen von fünf Megawatt. Sie produzieren jährlich bis zu 17 Millionen Kilowattstunden Strom. Somit kann ein kleiner Windpark bereits eine ganze Kleinstadt mit Strom versorgen.

- Energiebilanzen von Windenergie-Anlagen S.10
- Offshore S.23
- Technik S.36

4m² Rotorfläche einer Windenergieanlage decken den jährlichen Strombedarf einer vierköpfigen Familie.

PV braucht ca. die 8-fache Fläche für den gleichen Ertrag

2016 erzeugte Windkraft 77,5 TWh! (Doppelt soviel wie PV.)
Onshore stehen 28000 Anlagen mit 48GW Leistung
Offshore stehen 1055 Anlagen mit 4,7 GW Leistung




Die erste belegte Anlage zur Stromerzeugung errichtete **1887** der Schotte James Blyth, um Akkumulatoren für die Beleuchtung seines Ferienhäuschens aufzuladen.



© Handwerkskammer Flensburg, Johanniskirchhof 1-7, 24937 Flensburg

Handwerk
> Bildung
Beratung



Handwerkskammer
Flensburg

Windenergie

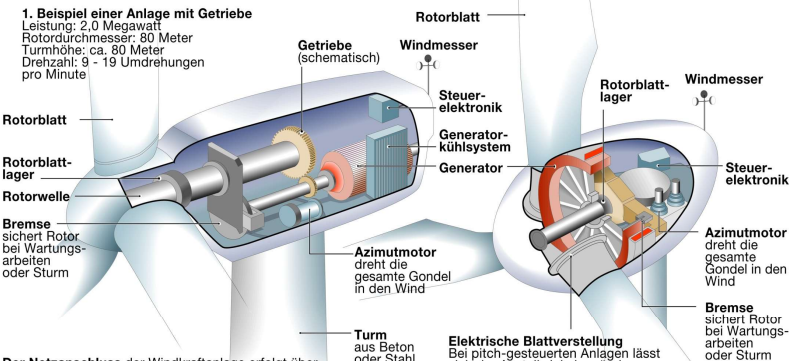
Bei Windkraftanlagen haben sich zwei verschiedene Konstruktionsprinzipien durchgesetzt: Anlagen mit Getriebe (1.) erhöhen die niedrige Drehzahl des Generators auf eine für den Generator günstige Drehzahl. Bei getriebelosen Anlagen (2.) sitzt der Rotor des Generators direkt auf der Rotorwelle.

1. Beispiel einer Anlage mit Getriebe
Leistung: 2,0 Megawatt
Rotordurchmesser: 80 Meter
Turmhöhe: ca. 80 Meter
Drehzahl: 9 - 19 Umdrehungen pro Minute

2. Beispiel einer getriebelosen Anlage
Leistung: 5,0 Megawatt
Rotordurchmesser: 114 Meter
Turmhöhe: ca. 124 Meter
Drehzahl: 8 - 13 Umdrehungen pro Minute

Die weltgrößte serienmäßig hergestellte Getriebeanlage leistet 9,5 MW!

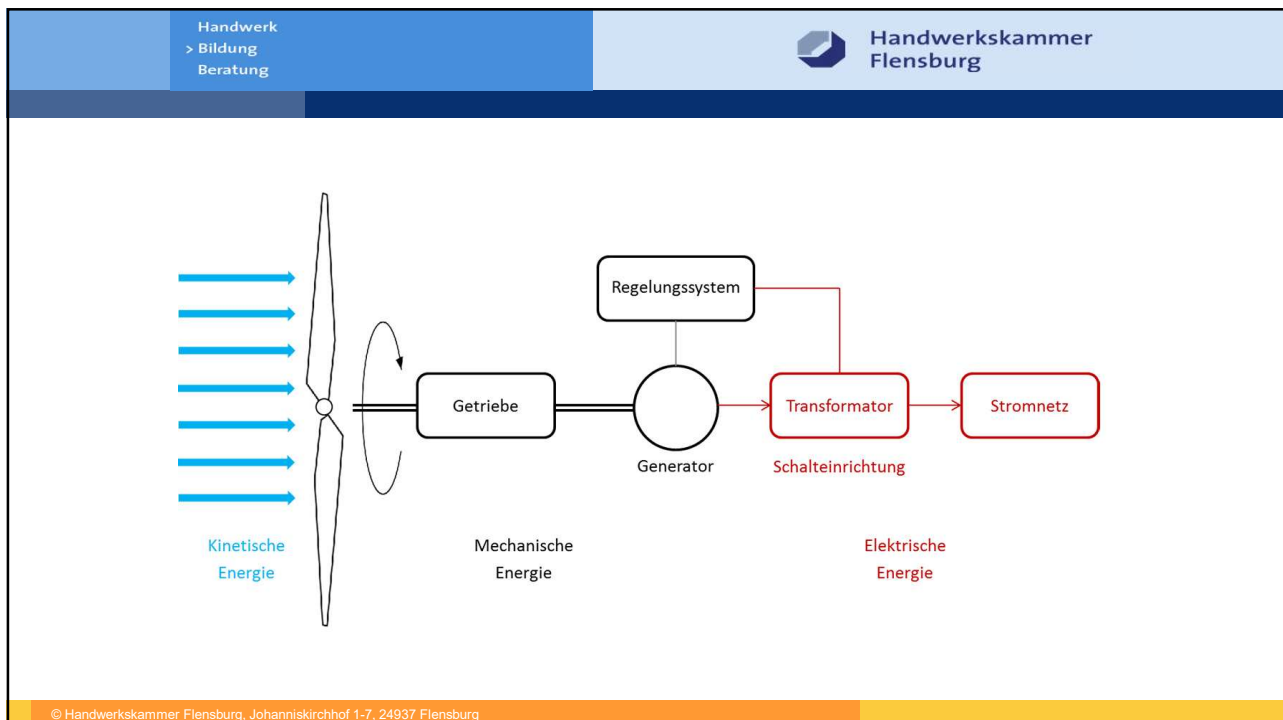
Größte getriebelose Anlage 8MW.

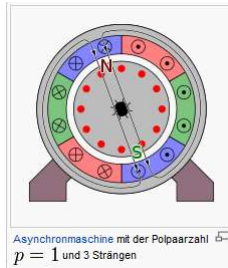


Der Netzanschluss der Windkraftanlage erfolgt über einen zwischengeschalteten Gleichstromkreis. Der vom Generator erzeugte Wechselstrom wird zunächst in Gleichstrom und anschließend wieder in Wechselstrom mit der richtigen Frequenz und Spannung umgewandelt. Dadurch ist ein drehzahlvariabler Betrieb der Windkraftanlage möglich und die mechanischen Belastungen werden minimiert.

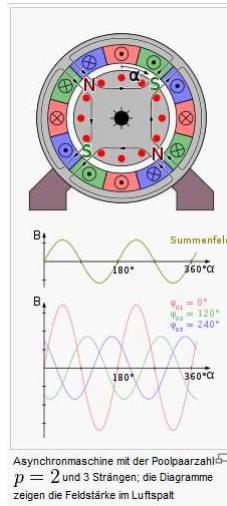
Elektrische Blattverstellung Bei pitch-gesteuerten Anlagen lässt sich der Anstellwinkel verändern, um bei unterschiedlichen Windgeschwindigkeiten eine gleichbleibende Umdrehungsgeschwindigkeit zu erzielen.

© Handwerkskammer Flensburg, Johanniskirchhof 1-7, 24937 Flensburg



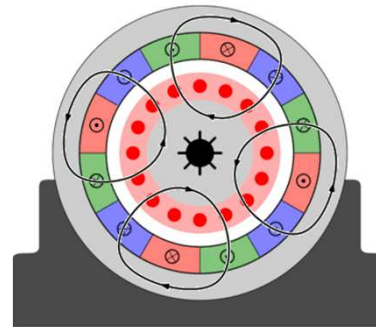


Asynchronmaschine mit der Polpaarzahl
 $p = 1$ und 3 Strängen



Asynchronmaschine mit der Polpaarzahl
 $p = 2$ und 3 Strängen; die Diagramme
zeigen die Feldstärke im Luftspalt

Wicklung einer 4-poligen
Asynchronmaschine mit drei
Strängen und Käfigläufer.



Asynchronmaschine mit Polpaarzahl 2,
Schlupf, das Statorfeld hat eine höhere
Umlaufgeschwindigkeit als der Rotor.

Für die Umwandlung mechanischer in elektrische Leistung werden **Drehstrom-Asynchron- oder –synchron-Generatoren** eingesetzt.

Ein weiterer Parameter ist die **Polpaarzahl des Generators**, womit das Übersetzungsverhältnis eines eventuellen Getriebes festgelegt ist.

Die Drehzahl des Generators (und damit des Rotors) kann

- konstant
- zweistufig (für niedrige und hohe Windgeschwindigkeit)
- oder stufenlos anpassbar sein.

Ist er nicht polumschaltbar, kann man ihn direkt am Netz nur mit einer Drehzahl betreiben: bei einer Polpaarzahl von z. B. 2 (d. h. vier Pole) ergibt sich mit der Netzfrequenz von 50 Hertz eine synchrone Drehzahl von 1500/min. (6-polig 1000U/min)

Im Generatorbetrieb liegt die Läuferdrehzahl (Drehzahl der Generatorwelle) über der der synchronen Drehzahl (im Motorbetrieb darunter, daher der Name Asynchronmaschine).

Das ist beispielsweise mit doppelt gespeisten Asynchronmaschinen mit Schleifringläufer und läuferseitigem **Frequenzumrichter** möglich.

Der Vorteil ist, dass der Frequenzumrichter nur eine vergleichsweise kleine Leistung liefern muss, es ist jedoch weiterhin ein Getriebe nötig.





Getriebelose Anlagen sind in der Regel in der Installation teurer als herkömmliche Windräder mit Getriebe, jedoch zuverlässiger, wartungsärmer und leiser.

Synchrongeneratoren mit Frequenzumrichter erlauben dagegen aufgrund ihrer wesentlich höheren **Polpaarzahl von bis zu 36**, dass auf ein Vorschaltgetriebe verzichtet werden kann – sie können mit der Drehzahl des Rotors betrieben werden.

Getriebelos mit Synchrongenerator 4,5 MW

© Handwerkskammer Flensburg, Johanniskirchhof 1-7, 24937 Flensburg

Allerdings wird dies mit Nachteilen erkauft:

Einem vergrößerten **Generatordurchmesser** (nennleistungsabhängig ungefähr zwischen drei und zwölf Meter, letzterer für Enercon E-112) und einem folglich höheren **Generatorgewicht**.

Auch muss die mit der Drehzahl des Rotors schwankende Frequenz der erzeugten Spannung **zunächst in Gleichstrom** umgeformt (gleichgerichtet) und dann mit einem netzgeführten Wechselrichter wieder in einen Wechselstrom umgeformt werden, um mit den gewünschten Werten von Spannung, Frequenz und Phasenwinkel ins Netz zu gelangen.



Der Umrichter muss die volle Generatorleistung verarbeiten; durch die Entkoppelung von Generator und Einspeisung erreichen diese Anlagen jedoch eine hohe Effizienz und beim heutigen Stand der Leistungselektronik auch eine gute Netzverträglichkeit.

© Handwerkskammer Flensburg, Johanniskirchhof 1-7, 24937 Flensburg

IGBT-Umrichter:
Schaltschrank unten im Turm



© Handwerkskammer Flensburg, Johanniskirchhof 1-7, 24937 Flensburg

Alle Anlagen **müssen** mit **zwei voneinander unabhängigen Bremssystemen** ausgerüstet sein. Dazu zählen auch unabhängig voneinander verstellbare Rotorblätter.

Bei modernen drehzahlvariablen Anlagen mit Synchrongenerator schwankt der vom Generator erzeugte Wechselstrom in Frequenz und Amplitude (Höhe) ständig. Deshalb wird er mit einem Gleichrichter in Gleichstrom umgewandelt, gefiltert und in einem Wechselrichter in Wechselstrom zurückverwandelt.

Bei beiden Generatorvarianten wird die Spannung zuletzt auf die in den jeweiligen **Mittelspannungsnetzen** übliche Netzennspannung transformiert.

Die Windkraftanlage wird über Messwandler zur Ermittlung der übertragenen Leistungen und Leistungsschalter mit dem öffentlichen Stromnetz verbunden.

Anlagen mit einer Spitzenleistung von mehr als 100 kW müssen zur Sicherung der Netzstabilität die Mittelspannungsrichtlinie erfüllen. **Nur Kleinstanlagen speisen in regionale Niederspannungsnetze ein.**



© Handwerkskammer Flensburg, Johanniskirchhof 1-7, 24937 Flensburg

Verdrängungsläufer**Bilanz einer Windkraftanlage**

| | |
|---|------------------|
| Mittlere Jahreswindgeschwindigkeit | 7 m/s |
| Rotordurchmesser | 70 m |
| Nennleistung der Windkraftanlage | 2.000 kW |
| Jahresstromproduktion pro Anlage | 3,5 Mio. kWh |
| Vermeidung von CO ₂ Emissionen | ca. 3.000 Tonnen |
| Einsparung Erdöl | ca. 1.200 Tonnen |

Auftriebsläufer

Bei Anlagen im Binnenland werden in Deutschland derzeit rund 2000 Volllaststunden erreicht, bei Anlagen in Küstennähe rund 2500 Stunden, und für zukünftige Offshore-Anlagen werden 3800_Volllaststunden angegeben.

Der Nordsee-Windpark Alpha Ventus hat mit realen 4.400 Volllaststunden die Erwartungen übertroffen.

Auftriebsläufer lassen sich auch mit vertikaler Rotationsachse realisieren (VAWT nach engl. *vertical axis wind turbine*). Unter diesen dominieren Darrieus-Rotoren, die bis in den mittleren Leistungsbereich gebaut werden, in klassischer 'Schneebesenform' oder als H-Darrieus-Rotor, dessen Blätter beim Umlauf einen Zylindermantel bilden.

Bei einer vertikal stehenden Rotationsachse muss der Rotor der Windrichtung nicht nachgeführt werden. Allerdings stehen die Blätter in Teilbereichen des Umlaufs ungünstig zur Strömung, die Blattfläche muss entsprechend vergrößert werden.

Durch zyklische Lastwechsel treten Schwingungen und Belastungen der gesamten Konstruktion auf.

Der konstruktive Mehraufwand, zusammen mit dem **Leistungsbeiwert** von durchschnittlich 0,3 im Vergleich zu 0,4 bis 0,5 bei Rotoren mit horizontaler Drehachse erklärt den **geringen Marktanteil**.

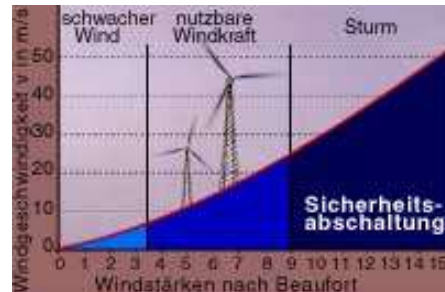
Eine Bauform des H-Darrieus-Rotors mit wendelförmig gebogenen Blättern hat ein gleichmäßigeres Drehmoment als der klassische H-Rotor und benötigt so keine Anfahrhilfe, wie sie bei klassischen Darrieus-Rotoren mit hoher Schnellaufzahl erforderlich ist.



Leistungsregelung

Windenergie lässt sich nur bei Windstärken innerhalb eines bestimmten Bereiches nutzen. Windkraftanlagen sind so ausgelegt, dass sie **bereits bei mittleren Windgeschwindigkeiten** ihre **Nennleistung** erreichen.

Um die Drehzahl des Rotors trotz schwankender Windstärken annähernd konstant zu halten, ist eine Regelung der Leistungsaufnahme notwendig.



Das geschieht durch **Verdrehen der Rotorblätter**.

Die Rotorblätter werden durch einen eigenen Blattverstellantrieb gesteuert. Bei manchen Anlagen kann jedes Rotorblatt einzeln verstellt werden.

Diese exakte Leistungsregelung ist für den gleichmäßigen Lauf des Generators besonders wichtig.



Pitch-Regelung

Meist sind größere Windkonverter mit einer automatischen **Rotorblattverstellung** ausgerüstet. Bei schwachem Wind werden die Rotorblätter so eingestellt, dass sie in voller Breite gegen die Strömung stehen. Bei stärkerem Wind lässt sich der Einstellwinkel zunehmend reduzieren. Bei Sturm werden die Blätter parallel zur Windströmung gerichtet, bis sich der Rotor nicht mehr dreht.

Diese Regelung wird als **Pitch-Regelung** bezeichnet, abgeleitet vom englischen "pitch", was so viel wie Neigung bedeutet. Zusätzlich verfügen diese Anlagen über ein hydraulisch betriebenes Scheibenbremssystem für den Notfall.



Stall-Regelung

Bei kleineren Windkraftanlagen sind die **Rotorblätter meist nicht verstellbar**. Das aerodynamische Profil der Rotorflügel ist daher so angelegt, dass bei Erreichen einer bestimmten Windgeschwindigkeit ein Strömungsabriss an den Rotorblättern erfolgt. Dadurch werden die Antriebskräfte auf den Rotor reduziert. Diese Regelung wird als Stall-Regelung bezeichnet, abgeleitet vom englischen "stall", was so viel wie Abrutschen bedeutet.

Als Betriebs- und Notfallbremse dient eine hydraulisch betriebene Scheibenbremse.

Als zusätzliche Sicherung gegen Überdrehen befinden sich an den Rotorblättern aerodynamisch wirkende Bremsklappen, die bei einer bestimmten Drehzahl des Rotors ausgefahren werden.

Die Blätter bei Anlagen mit Pitchregelung werden in Segelstellung gedreht, Anlagen mit Stallregelung werden als ganzes (Rotor mit Gondel) aus dem Wind gedreht.

Regelkonzepte**Übersicht**

Bereits heute kann die zu erwartende Windleistung 48 bis 72 Stunden vorher mit einer **Abweichung** von durchschnittlich **sieben Prozent vorhergesagt** werden

- WKA mit doppelt gespeisten Asynchrongeneratoren oder Dahlanderschaltung oder Getriebe mit zwei Gängen, schalten die möglichen Rotordrehzahlen in die gewünschte Generatordrehzahl um.
- WKA mit netzsynchronen Generatoren halten die Drehgeschwindigkeit mit der Pitchsteuerung, um eine konstante Frequenz ins Netz einspeisen zu können.
- WKA mit variablem Getriebe (Drehmomentwandler) halten die Drehzahl des Generators bei unterschiedlichen Rotordrehzahlen konstant und brauchen keine Stromumrichter.
- WKA mit Gleichstromrichter erzeugen, unabhängig von der Drehzahl, „künstlich“ mittels Thyristoren, einen 3-phasigen Drehstrom konstanter Frequenz. Mit der Pitchregelung wird nicht eine konstante Drehzahl angestrebt, sondern die optimale Drehzahl für den maximalen aerodynamischen Wirkungsgrad.

Momentenregelung

Im Teillastbetrieb gilt es, die Leistung zu maximieren.
Dazu werden Blattwinkel und Schnellaufzahl optimiert.
Die Drehzahl ist dabei etwa proportional zur Windgeschwindigkeit und wird über das **Gegenmoment am Generator** beeinflusst.



© Handwerkskammer Flensburg, Johanniskirchhof 1-7, 24937 Flensburg

Bei geringem Wind:

Ein Festsetzen des Rotors belastet die Lager mehr als der Trudelbetrieb mit leichter Bewegung.
Der Generator beziehungsweise der Wechselrichter wird vom Stromnetz getrennt.
Die Steuerelektronik und die Stellantriebe für Rotorblattverstellung und Windrichtungsnachführung beziehen dann ihre **Energie aus dem Netz**.

Die Anlagen besitzen auch eine **Notstromversorgung**, um bei Netzausfall ein sicheres Abschalten (Blätter in Segelstellung drehen oder bremsen) zu gewährleisten.

Neuere Anlagen besitzen eine Sturmregelung.

Diese schaltet die Anlage nicht einfach ab, sondern erlaubt den reduzierten sicheren Betrieb der Anlage bei fast jeder Windgeschwindigkeit, da sie bei Sturm die Rotorblätter so verstellt, dass die Anlage in einem sicheren Betriebszustand verbleibt.

Sie sorgt auch für ein „sanfteres“ Ab- und wieder Zuschalten der Anlage, wenn der zu starke Wind ein wenig schwächer wird.
Das schon das Spannungsniveau im Stromnetz.



© Handwerkskammer Flensburg, Johanniskirchhof 1-7, 24937 Flensburg

Abschaltungen

Unterschiedliche Gründe können dazu führen, dass eine Windkraftanlage vom Netz genommen werden muss:

- zu hohe oder zu niedrige Windgeschwindigkeiten
- Wartungs- und Reparaturarbeiten
- Schattenwurf: Bei entsprechendem Sonnenstand kann der durch Anwohner als störend empfundene Schattenwurf der rotierenden Rotorblätter verhindert werden.
- Vereisung der Rotorblätter im Winter (Aerodynamik, Unwucht, Unfallrisiken)
- Die Verteilernetze sind für die bereitgestellte Energie nicht ausgelegt und die überschüssige Energie kann nicht gespeichert werden.

Bedingungen innerhalb eines Windparks können ebenso zu einer Stilllegung aller oder einzelner Windkraftanlagen führen.



Der **Wirkungsgrad** ist physikalisch begrenzt und könnte im **Idealfall 59 %** betragen.



Während im ersten Halbjahr **2011 im Deutschlandschnitt ca. 60% der neu installierten Anlagen höher als 140 Metern** waren, gehörten in Bayern ca. 85 % dieser Höhenklasse an, in Brandenburg waren es sogar circa 95 %.

In Schleswig-Holstein dagegen, das aufgrund seiner Küstenlage vergleichsweise gute Windhäufigkeiten aufweist, wurden vor allem Anlagen in der Höhenklasse zwischen 81 und 140 Metern errichtet.



Weltweit war Ende 2011 eine Nennleistung von gut 238 GW installiert. Die höchste Leistung wies dabei in China mit rund 63 GW auf, danach folgten die USA mit 47 GW, Deutschland mit 29 GW, Spanien mit 21 GW und Indien mit 16 GW.

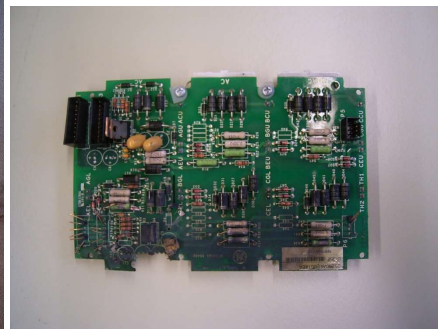
Die Rotorblätter sind mit einem **Blitzschutzsystem ausgerüstet**, das die Entladung an die Erdung des Maschinenhauses abgibt.

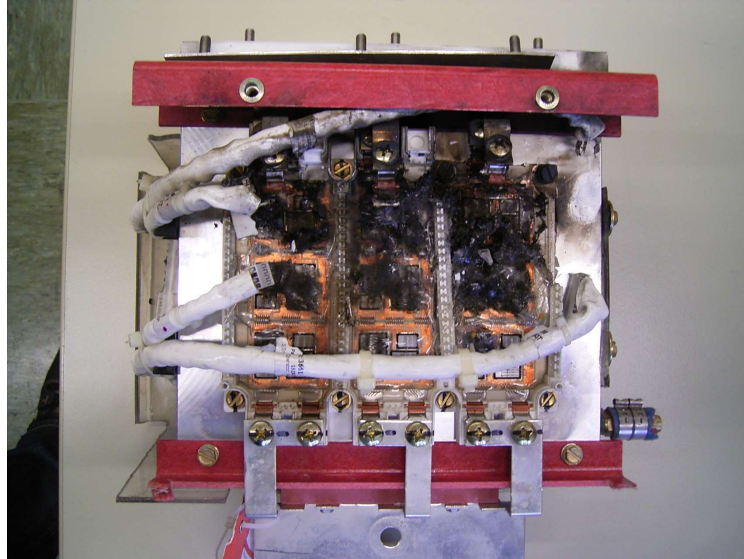
Ein mögliches Phänomen an den Blättern ist **Eisbildung**. Sie mindert den **Wirkungsgrad**, da sie die Form und damit das aerodynamische Profil der Blätter verändert. Auch **Unwucht** des Rotors ist eine Folge.

Die Rotorblätter einiger Firmen können mit einer **Rotorblattheizung** ausgerüstet werden.



Bei einigen Anlagen wird zur **Blattheizung die Abluft aus der Gondel** (dem Generatorhaus auf dem Turm) durch die Rotorblätter gepumpt, so dass die Abwärme von Generator und Stromwandler genutzt wird.





© Handwerkskammer Flensburg, Johanniskirchhof 1-7, 24937 Flensburg

Windrichtungsnachführung

Die Windrichtungsnachführung erfolgt bei modernen Anlagen durch Stellmotoren (auch Azimutantrieb oder Giermotoren genannt).

Die elektrische Anbindung der Gondel (Steuersignale und erzeugter Strom an der Turminnenseite nach unten) erfolgt über fest verbundene Kabel;

Schleifkontaktringe sind bei den hohen elektrischen Strömen zu wartungsintensiv.



Um diese Kabel nicht zu sehr zu verdrehen, ist die Anzahl der Gondelumdrehungen je Richtung auf bis zu fünf (anlagenabhängig) von der Mittelstellung begrenzt.

Ein Verwindungszähler kontrolliert diese Position und sorgt bei Bedarf für Entdrillung, wobei sich die Gondel bei stehendem Rotor ein paar Mal um die Hochachse dreht.

© Handwerkskammer Flensburg, Johanniskirchhof 1-7, 24937 Flensburg

Turmbau



Die **Wandstärken** betragen 20 bis 40 Millimeter.

Stahlröhren können nicht breiter bzw. höher als 4,20 m werden, um einen Straßentransport zu ermöglichen.




Große Türme (über 80 m) haben im Inneren in aller Regel einen Fahrkorb oder Aufzug, der den Aufstieg erleichtert.
Daneben gibt es oft auch eine Materialwinde zum Transport von Ersatzteilen.

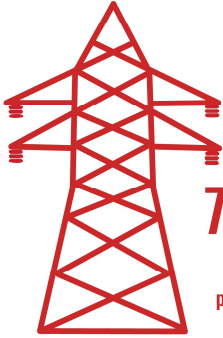
Vogelschlag durch Windkraft



| | |
|-----------------------------------|------------------------------|
| Handwerk > Bildung Beratung | Handwerkskammer Flensburg |
|-----------------------------------|------------------------------|



5 Vögel
werden jährlich
pro Windkraftanlage
in Deutschland getötet



700 Vögel
werden jährlich
pro Kilometer Freileitung
in Deutschland getötet

KATAPULT-MAGAZIN.de
Quelle: naturschutznz.net
© 2016 Katapult

© Handwerkskammer Flensburg, Johanniskirchhof 1-7, 24937 Flensburg

| | |
|-----------------------------------|------------------------------|
| Handwerk > Bildung Beratung | Handwerkskammer Flensburg |
|-----------------------------------|------------------------------|

Schall

Gängige Werte liegen zwischen 98 dB und 109 dB. Diese Werte stellen die rechnerische Konzentration der Schallenergie der Rotorfläche auf einen Punkt in der Rotormitte dar. An keinem Ort an der Windkraftanlage, zum Beispiel auf der Gondel, wird er tatsächlich erreicht.

Nach dem Bundes-Immissionsschutzgesetz (siehe auch Technische Anleitung Lärm) darf die von einer technischen Anlage verursachte Schallimmission in Deutschland in reinen Wohngebieten **nachts** einen A-bewerteten Dauerschalldruckpegel von **35 dB nicht überschreiten** (allgemeines Wohngebiet 40 dB, Dorf- und Mischgebiet 45 dB, Gewerbegebiet 50 dB, Industriegebiet 70 dB).

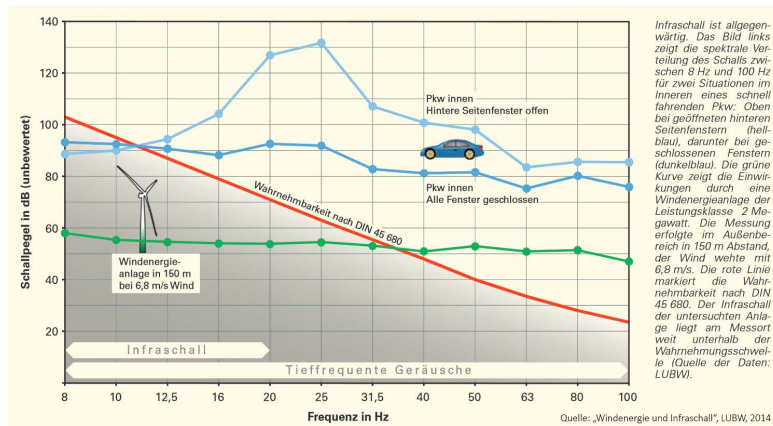


Nachts dürfen an der nächsten **belebten** Hauswand nicht mehr als 40 dB(A) erreicht werden.

© Handwerkskammer Flensburg, Johanniskirchhof 1-7, 24937 Flensburg

Infraschall

(Schall mit sehr niedrigen Frequenzen) ist ein weit verbreitetes Phänomen. Beispiele für tieffrequente Geräusche finden sich in beinahe jeder Alltagssituation und können Beeinträchtigungen im Wohlbefinden auslösen. Auch sind medizinische Fälle bekannt, bei denen Anwohner, die in der Nähe eines Windparks leben, aus Sorge, von unangenehmen Schallemissionen betroffen zu sein, erkranken.



© Handwerkskammer Flensburg, Johanniskirchhof 1-7, 24937 Flensburg

Alpha Ventus

Der erste deutsche Offshore-Windpark

Mit Alpha Ventus wurde **2010 der erste deutsche Offshore-Windpark** in Betrieb genommen: ein Pionierprojekt der Energieversorger EWE, E.ON und Vattenfall und die Grundlage für den Ausbau der Offshore-Windenergie in Deutschland. (Invest. 250 Mio. €)

Seitdem speist Alpha Ventus kontinuierlich klimafreundlichen Strom ins deutsche Versorgungsnetz ein.

Im Jahr 2011 waren es rund 267 Gigawattstunden – das entspricht dem Jahresverbrauch von rund **70.000 Haushalten**.

**Auf die Weltmeere entfällt fast 90 Prozent der Windenergie !!!
(und gut 70 Prozent der solaren Einstrahlung) .**



© Handwerkskammer Flensburg, Johanniskirchhof 1-7, 24937 Flensburg

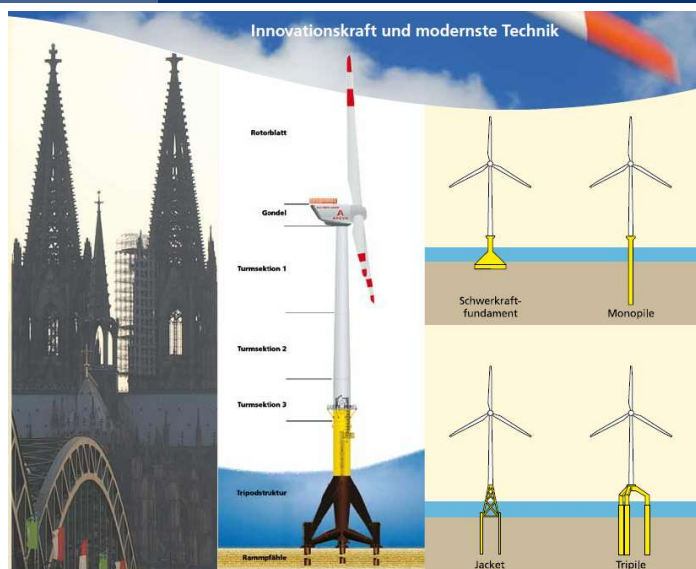
Die Alpha Ventus Anlagen sind die ersten Anlagen, die außerhalb der 12 Meilen-Zone stehen (gesondertes Genehmigungsverfahren)

45km nördlich vor Borkum in 30m Wassertiefe.



Im Vergleich zu Ländern wie Dänemark oder Schweden kommen in Deutschland fast nur Standorte mit verhältnismäßig großen Wassertiefen (> 20 Meter) und weiten Entfernungen von der Küste (> 30 Kilometer) in Frage.

Die Gründe dafür liegen in der intensiven Nutzung der deutschen Küstengewässer durch die Schifffahrt, als Übungsgebiet für Marine und Luftwaffe, als Fischerei- oder Kiesabbaugebiet sowie im Naturschutz (z.B. Wattenmeer-Nationalpark).



Installation

Seit August 2009 produzieren diese Anlagen (Typ-5MW) Strom, der über die Umspannplattform und ein 60 km langes Seekabel ans Festland transportiert wird.

Multibrid verwendet eine **Tripod**-Konstruktion, bei den **REpower**-Anlagen wird eine **Jacket**-Konstruktion eingesetzt.



© Handwerkskammer Flensburg, Johanniskirchhof 1-7, 24937 Flensburg



© Handwerkskammer Flensburg, Johanniskirchhof 1-7, 24937 Flensburg



© Handwerkskammer Flensburg, Johanniskirchhof 1-7, 24937 Flensburg



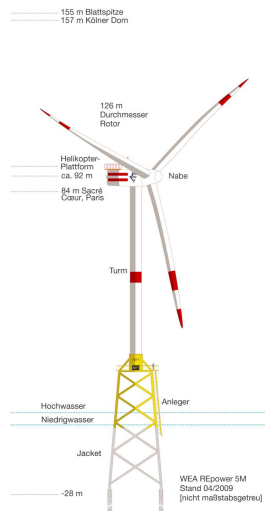
Jacket



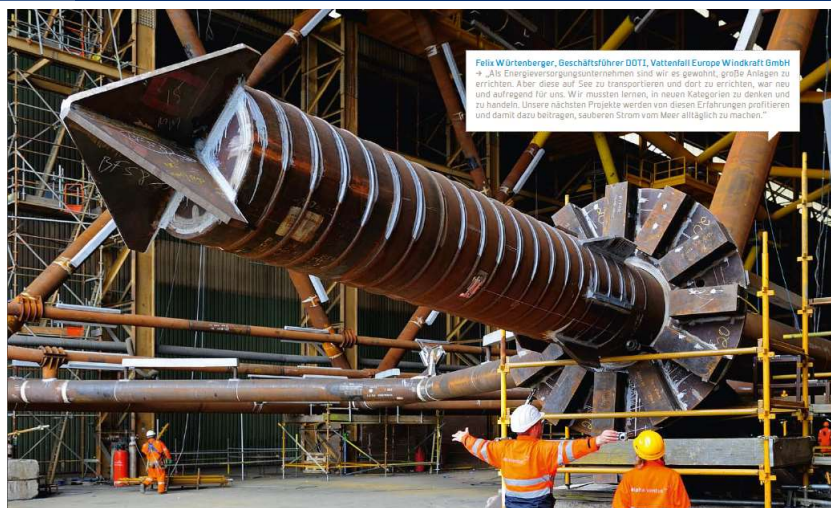
Schwerkraftfundamente



© Handwerkskammer Flensburg, Johanniskirchhof 1-7, 24937 Flensburg

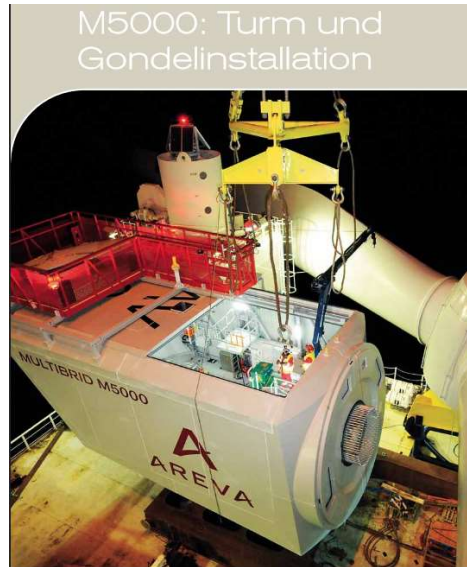
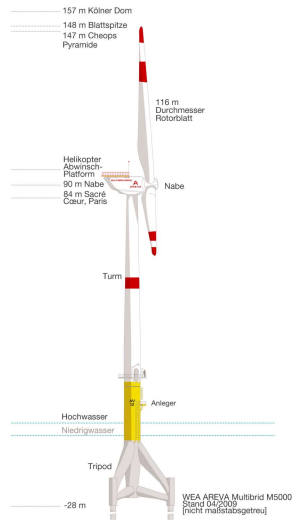


© Handwerkskammer Flensburg, Johanniskirchhof 1-7, 24937 Flensburg

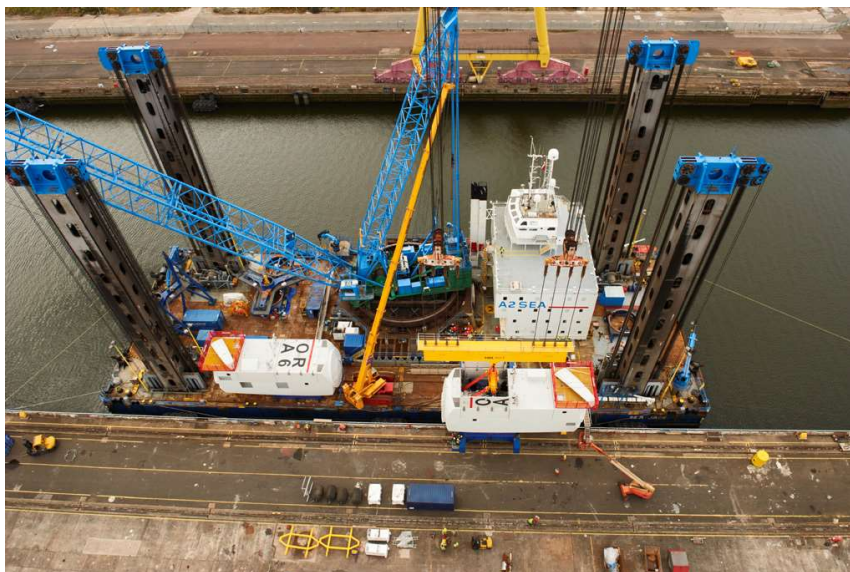


Die Jacketbeine (hier in der Fertigung) werden später in die in den Boden vorgerammten Fundamentpfähle eingestellt.

© Handwerkskammer Flensburg, Johanniskirchhof 1-7, 24937 Flensburg



© Handwerkskammer Flensburg, Johanniskirchhof 1-7, 24937 Flensburg



© Handwerkskammer Flensburg, Johanniskirchhof 1-7, 24937 Flensburg



© Handwerkskammer Flensburg, Johanniskirchhof 1-7, 24937 Flensburg



© Handwerkskammer Flensburg, Johanniskirchhof 1-7, 24937 Flensburg



© Handwerkskammer Flensburg, Johanniskirchhof 1-7, 24937 Flensburg



Flügel-„spitze“ kurz vor dem „Sternziehen“. Einmal montiert, schneidet die Spitze bei Vollast mit über 300 km/h durch die Luft !

© Handwerkskammer Flensburg, Johanniskirchhof 1-7, 24937 Flensburg

REpower 5M

- Rotordurchmesser: 126 m
- Nabenhöhe: ca. 92 m
- Nennleistung: 5 MW
- Drehzahl: Rotor: 6,9-12,1 U/min; Generator: 670-1170 U/min
- Einschaltwindgeschwindigkeit: 3,5 m/s (Windstärke 3)
- Nennwindgeschwindigkeit: 13 m/s (Windstärke 6)
- Ausschaltwindgeschwindigkeit: 30 m/s (Windstärke 11)
- Blattspitzengeschwindigkeit: 80 m/s bei Rotordrehzahl 12,1 U/min (ca. 288 km/h)
- Lebensdauer: 20 Jahre
- Gondelmasse ohne Rotor und Nabe: ca. 290 t
- Gondelmasse mit Rotor und Nabe: ca. 410 t
- Gewicht Gründung: ca. 500 t; Turm: ca. 210 t

AREVA Wind M5000

- Rotordurchmesser: 116 m
- Nabenhöhe: 90 m
- Gesamthöhe vom Meeresgrund: ca. 178 m
- Gesamthöhe ab Wasserlinie: 148 m
- Nennleistung: 5 MW
- Drehzahl: 5,9-14,8 U/min
- Einschaltwindgeschwindigkeit: 3,5 m/s (Windstärke 3)
- Nennwindgeschwindigkeit: 12,5 m/s (Windstärke 6)
- Ausschaltwindgeschwindigkeit: 25 m/s (Windstärke 10)
- Blattspitzengeschwindigkeit: 90 m/s (324 km/h)
- Gondelmasse ohne Rotor und Nabe: 200 t
- Gondelmasse mit Rotor & Nabe: 309 t
- Stahlmasse Tripod, Turm, Gondel: 1000 t
- Tripod: Stahlmasse 700t; Höhe: 45 m; Länge der Piles: 35 - 45 m



© Handwerkskammer Flensburg, Johanniskirchhof 1-7, 24937 Flensburg

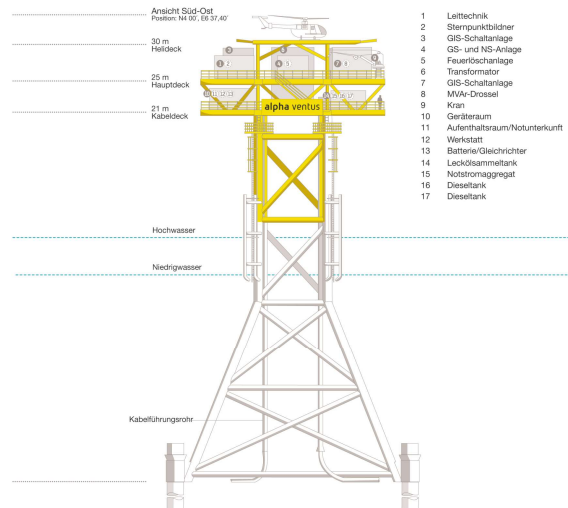
Netzanbindung

Entsprechend dem Infrastrukturplanungsbeschleunigungsgesetz vom Dezember 2006 ist die **E.ON-Netz GmbH** (seit Juli 2009 transpower offshore gmbh) als Übertragungsnetzbetreiber **für die Kabelanbindung** des Offshore- Windparks **verantwortlich**.

Die Verbindung mit dem deutschen Stromnetz wird über eine dreistöckige 30 Meter hohe **Umspannplattform** auf See hergestellt, die im September 2008 in direkter Nähe zu den Windenergieanlagen errichtet wurde.



© Handwerkskammer Flensburg, Johanniskirchhof 1-7, 24937 Flensburg



© Handwerkskammer Flensburg, Johanniskirchhof 1-7, 24937 Flensburg

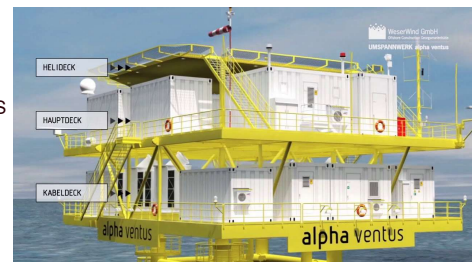


Technische Daten

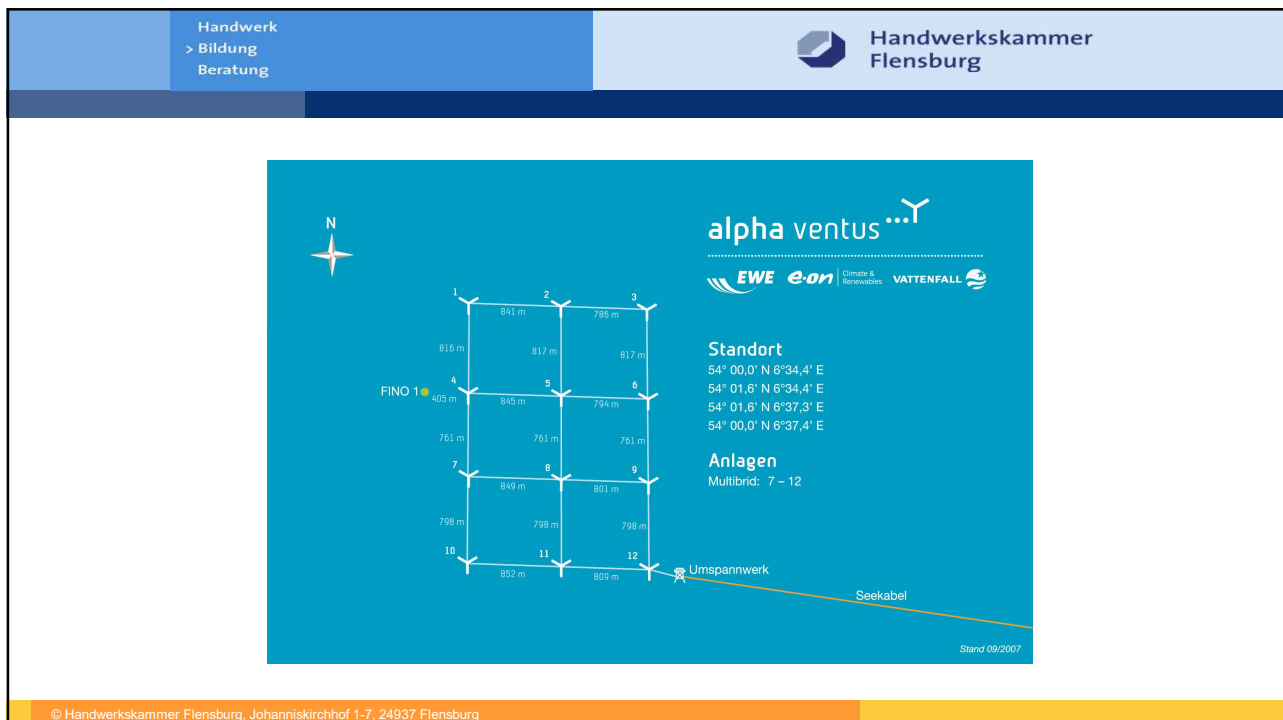
- Anzahl der Windenergieanlagen: 12
- Gesamt-Nennleistung: 60 MW
- Erzielter Jahresertrag 2011: ca. 267 Gigawattstunden (entspricht dem Jahresverbrauch von 70.000 Haushalten)

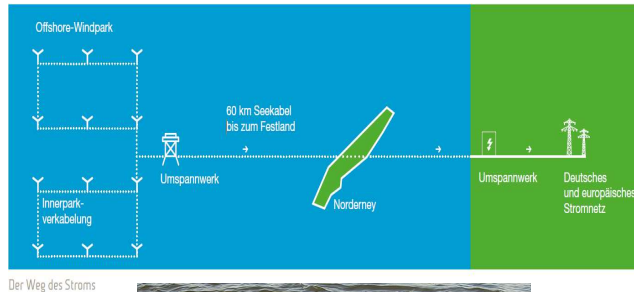
Umspannwerk

- Errichtet im September 2008
- 30 Meter: Höhe Helikopterdeck
- 25 Meter: Hauptdeck mit Kran, Leittechnik/ Schaltanlage/ Stern-punktbildner, Feuerlöschanlage, MS- und NS-Anlage, Notstromaggregat, MVA-Drossel/110 kV-GIS Schaltanlage (AREVA)
- 21 Meter: Kabeldeck mit Werkstatt, Geräteraum, Aufenthaltsraum, Dieseltanks, Notstromaggregat, Kabeltisch, Ölauffangwanne
- Kabel- und Hauptdeck: 110/30 kV Transformator 75 MVA (AREVA)
- Höhe Jacket: ca. 46 m
- Gewicht Jacket: ca. 650 t
- Gründungspfähle: Länge 30 m, Durchmesser 2,7 m, Gewicht 100 t pro Pfahl
- Position: N 54°00', E 6°37.40'



© Handwerkskammer Flensburg, Johanniskirchhof 1-7, 24937 Flensburg





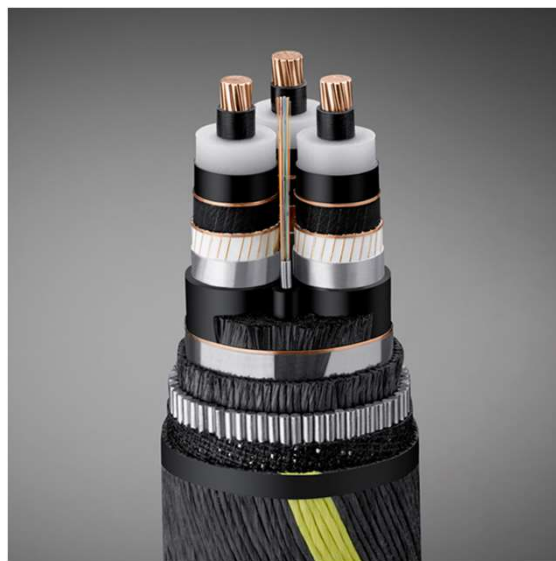
Der Weg des Stroms



© Handwerkskammer Flensburg, Johanniskirchhof 1-7, 24937 Flensburg

Aufbau des Seekabels für die
Innerparkverkabelung
(Foto: Nexans)

**Dicke von rund 28 Zentimetern und
einem Gewicht von 85 Kilogramm
pro Meter. (Querschnitt 500mm²)**



© Handwerkskammer Flensburg, Johanniskirchhof 1-7, 24937 Flensburg



© Handwerkskammer Flensburg, Johanniskirchhof 1-7, 24937 Flensburg



© Handwerkskammer Flensburg, Johanniskirchhof 1-7, 24937 Flensburg

Eine Besonderheit von Alpha Ventus ist, dass der produzierte Strom **als Drehstrom** durch ein dickes Seekabel ans Festland gebracht wird.

Dieses Verfahren eignet sich jedoch nur bis zu einer Seekabellänge von ca. 60 Kilometern.

Bei größeren Entfernungen nehmen die **Leitungsverluste** so **stark zu**, dass sich die Übertragung nicht mehr lohnt.

Aus diesem Grund werden **kommende Windparks** in der Deutschen Bucht ihren Strom **per HGÜ** – die sogenannte Hochspannungsgleichstrom-Übertragung – ans Festland transportieren.

Das Verfahren ist technisch aufwändiger, hält aber die Leitungsverluste gering.



Riffgat

Das Projektgebiet des Offshore-Windparks "Riffgat" befindet sich rund **15 Kilometer** nordwestlich der Insel **Borkum** in der Nordsee und damit innerhalb der niedersächsischen Zwölf-Seemeilen-Zone.





„Riffgat“ ist der erste kommerzielle Windpark in der deutschen Nordsee. Das moderne Windkraftwerk hat eine Gesamtkapazität von **108 Megawatt Leistung** und kann rund **120.000 Haushalte** mit umweltfreundlichem Strom versorgen.

In nur **14 Monaten Bauzeit** sind die insgesamt **30 Windkraftanlagen** der 3,6 Megawatt-Klasse 15 Kilometer vor der Nordseeinsel Borkum errichtet worden.

Verantwortlich für "Riffgat" ist das regionale Energieunternehmen EWE (Oldenburg) in Kooperation mit dem Projektentwickler ENOVA (Bunderhee).



7. Februar 2013: 2.035 Tonnen in Bewegung



© Handwerkskammer Flensburg, Johanniskirchhof 1-7, 24937 Flensburg

Die Umspannsation hat dann die Funktion, die mit einer Spannung **von 33 Kilovolt** ankommende Leistung **auf 155 Kilovolt** Hochspannung zu transformieren, um eine verlustarme Übertragung dieser Leistung über ca. 70 Kilometer Exportkabel in das Übertragungsnetz an Land einzuspeisen“,



© Handwerkskammer Flensburg, Johanniskirchhof 1-7, 24937 Flensburg

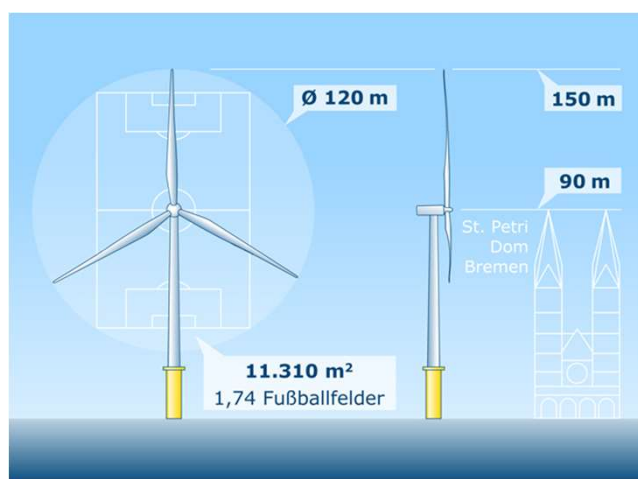
Offshore-Windpark Riffgat erhält **Netzanschluss** (11.02.2014, geplant war März 2013)



© Handwerkskammer Flensburg, Johanniskirchhof 1-7, 24937 Flensburg

Allein die Gondel der Windkraftanlage hat ein Gewicht von rund 180 Tonnen, hinzu kommen weitere 90 Tonnen für die drei Teile des Turms.

Die Projektpartner investieren rund **450 Millionen** in den Bau von „Riffgat“.



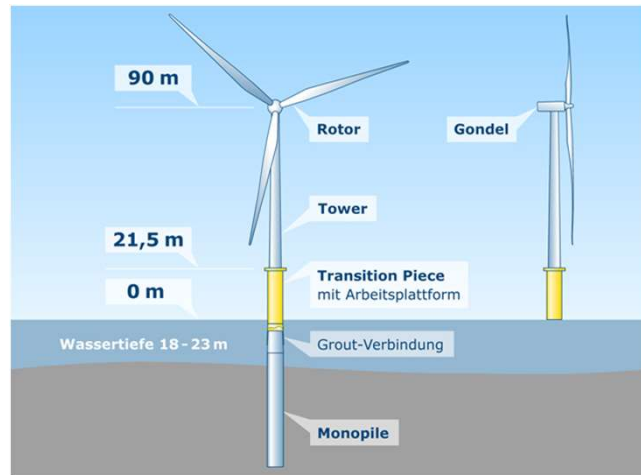
30 Siemens-Windkraftanlagen der 3,6 Megawatt-Klasse.

© Handwerkskammer Flensburg, Johanniskirchhof 1-7, 24937 Flensburg

Die Verankerung im Meeresboden erfolgt bei "Riffgat" mit bis zu **70 Meter langen und bis zu 720 Tonnen schweren Pfählen** („Monopiles“), die **40m in den Grund eingerammt werden**.

Dieser Vorgang dauert **zwischen 1,5 und 6 Stunden pro Pfahl**.

Zum Einsatz kommt dabei ein Rammhammer mit einer **Rammenergie von 2.000 Tonnen**.



© Handwerkskammer Flensburg, Johanniskirchhof 1-7, 24937 Flensburg

Während der rund 80 Bautage seit dem ersten Rammschlag Mitte Juni sind **23.000 Tonnen Stahl** verbaut worden.



Fertiger Riffgat-Monopile auf dem Gelände des spanischen Herstellers IDESA (Foto: IDESA)

© Handwerkskammer Flensburg, Johanniskirchhof 1-7, 24937 Flensburg



© Handwerkskammer Flensburg, Johanniskirchhof 1-7, 24937 Flensburg

Fester Bestandteil des Riffgat-Projektes ist ein umfassendes Monitoring zum Schutz von Rast- und Zugvögeln, marinen Säugern und Fischen, Benthos, Flora und Fauna.

Während der Bauphase steht darüber hinaus der Lärmschutz stark im Vordergrund. Hierbei kommt das innovative Geräuschminderungssystem NMS-6900 (**Noise Mitigation System**) des niederländischen Herstellers IHC Offshore Systems erstmals kommerziell für den Rammvorgang zum Einsatz.

Negative Effekte auf Meerestiere – durch die Übertragung des Schalls im Wasser – werden so minimiert.

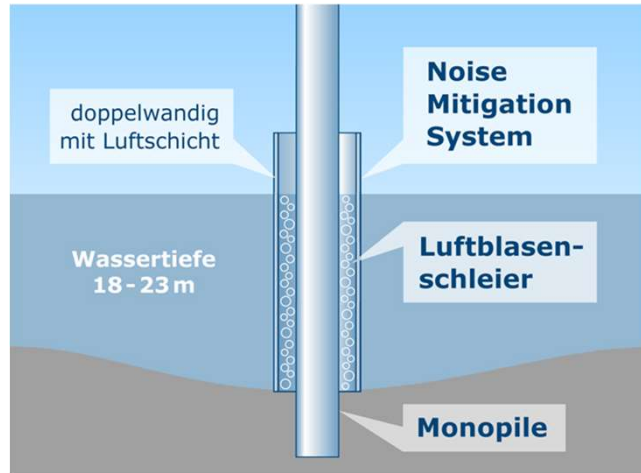


© Handwerkskammer Flensburg, Johanniskirchhof 1-7, 24937 Flensburg

Das NMS 6900 besteht aus einer doppelwandigen, röhrenförmigen Schall-Sperrwand aus Stahl, die über den Monopile gestülpt wird und diesen umschließt.

Variable Führungsrollen sorgen dabei für einen gleichmäßigen Abstand. In dem äußeren Doppelrohr befindet sich eine schallmindernd wirkende Luftschicht.

Im inneren Rohr wird rund um den Monopile zusätzlich ein mehrstufig einstellbarer Luftblasenschleier erzeugt, der den Schall ebenfalls mindert.



Die verschiedenen Messungen haben gezeigt, dass der zum Schutz der Meerestiere vorgegebene Wert von **160 Dezibel** bei unseren Rammarbeiten unterschritten wurde.

© Handwerkskammer Flensburg, Johanniskirchhof 1-7, 24937 Flensburg



Hinzu kommt jeweils ein so genanntes Transition Piece, welches später den Turm der Windkraftanlage mit dem Gründungspfahl verbindet.

© Handwerkskammer Flensburg, Johanniskirchhof 1-7, 24937 Flensburg



© Handwerkskammer Flensburg, Johanniskirchhof 1-7, 24937 Flensburg



© Handwerkskammer Flensburg, Johanniskirchhof 1-7, 24937 Flensburg



Erste Windkraftanlage steht in der Nordsee (10.05.2013)

© Handwerkskammer Flensburg, Johanniskirchhof 1-7, 24937 Flensburg



„Riffgat“ zur Hälfte fertig 21.06.2013

© Handwerkskammer Flensburg, Johanniskirchhof 1-7, 24937 Flensburg



EWE: „Riffgat“ fertig errichtet 17.07.2013

© Handwerkskammer Flensburg, Johanniskirchhof 1-7, 24937 Flensburg

Der von „Riffgat“ produzierte Windstrom wird über eine **Drehstrom-** Einzelanbindung in das deutsche Stromnetz geleitet.

Vom Umspannwerk in der Nordsee wird dazu eine insgesamt 80 Kilometer lange 155 Kilovolt-Verbindung verlegt, die bis zum Umspannwerk Emden/Borsum reicht und den Strom dort ins **220-kV-Netz** einspeist.

Neben den rund **50 Kilometern Seekabel** werden für "Riffgat" ab dem Anlandungspunkt in der Nähe von Greetsiel weitere **30 Kilometer Landkabel** verlegt.

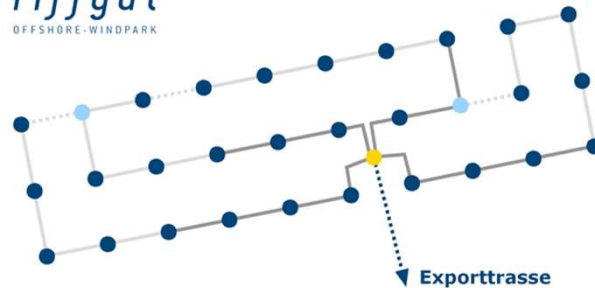


© Handwerkskammer Flensburg, Johanniskirchhof 1-7, 24937 Flensburg

Die Kabelverbindungen innerhalb des Offshore-Windparks "Riffgat" werden in mehreren Ringen redundant ausgelegt, so dass beim Ausfall eines Kabels der Betrieb trotzdem sichergestellt ist.

Insgesamt werden rund 10,2 Kilometer eines **500 mm²** starken Seekabels verlegt, in das auch ein moderner Lichtwellenleiter (Glasfaser) zur Datenübertragung und damit Steuerung der "Riffgat"-Anlagen integriert ist.

riffgat
OFFSHORE-WINDPARK



- WEA
- WEA, Kabel doppelt aufgelegt
- Umspannwerk
- Innerparkkabel 500² CU
- Innerparkkabel 185² CU
- ... Notversorgung 185² CU

Hinzu kommen weitere 14,4 Kilometer eines 185 mm² starken Seekabels, ebenfalls mit integriertem Lichtwellenleiter. Das Gewicht der Kabel liegt insgesamt bei **25 bis 30 Kilogramm** pro Meter. **Die Kabel werden mindestens 1,5 Meter in den Meeresboden eingespült.**

Borkum-Strand



DanTysk:

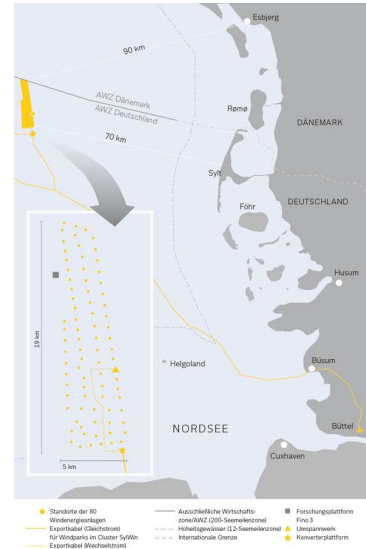
Der Offshore Windpark DanTysk, westlich der Insel Sylt und direkt an der Grenze zu Dänemark, gehört zu den ersten großen Meereswindparks die in der deutschen Nordsee gebaut werden. Finanziert von den beiden Energieunternehmen Vattenfall und Stadtwerke München.

Alle 80 Turbinen produzieren zusammen 1,3 Milliarden Kilowattstunden grünen Strom pro Jahr, das reicht für bis zu **400.000 Haushalte**.

Der Windpark entsteht etwa 70 Kilometer westlich der Insel Sylt in der deutschen Nordsee und erstreckt sich über eine Fläche von 70 Quadratkilometern

Somit sind die Turbinen weder vom Festland noch von dieser vorgelagerten Insel, selbst bei bester Sicht, nicht erkennbar. (Erdkrümmung)

Die Wassertiefen betragen im Gebiet von DanTysk 21 bis 32 Meter.



Chronologie des Windparks DanTysk

1999

Start der Vorbereitungen für das Genehmigungsverfahren durch die Geo GmbH

2003 – 2005

Intensive Prüfungen der möglichen Umweltauswirkungen im vorgesehenen Errichtungsgebiet

23. August 2005

Genehmigung des zuständigen Bundesamtes für Seeschifffahrt und Hydrographie für den Bau von 80 Windenergieanlagen und zwei Umspann- bzw. Konverterstationen

April 2007

Vattenfall erwirbt das Projekt der Geo GmbH

Sommer 2009

Baugrundhaupteckung an allen Standorten

Oktober 2010

Abschluss des Turbinenlieferungsvertrages

Siemens liefert die 80 3,6 MW-Anlagen

November 2010

Gründung des Joint Ventures DanTysk Offshore Wind GmbH mit den Stadtwerken München

Januar 2011

Zusage für den unbedingten Netzanschluss durch den Übertragungsnetzbetreiber TenneT

Juli 2011

Abschluss aller Verträge mit den fünf Hauptlieferanten:

Siemens liefert die 80 3,6 MW-Anlagen.

Der Bau des Offshore-Umspannwerks erfolgt durch das niederländische Konsortium Strukton/Hollandia.

Die dänische Reederei Swire Blue Ocean stellt das Installationsschiff zur Errichtung der Anlagen zur Verfügung.

Für Design, Fertigung und Installation der 80 Fundamente wurde das dänisch-deutsche Joint Venture Aarsleff Bilfinger Berger verpflichtet.

Das niederländische Wasserbau-Unternehmen Visser & Smit Marine Contracting sorgt für die Verkabelung des Windparks.

Januar 2012

Beginn der ersten Konstruktionsarbeiten der Anlagenelemente



Fakten & Chronologie

Das Wichtigste im Überblick:

- **Lage:** 70 Kilometer westlich der Insel Sylt
- **Fläche:** 70 Quadratkilometer
- **Wassertiefe:** 21 bis 32 Meter
- **Turbinen:** 80 Siemens Windenergieanlagen der 3,6 Megawatt-Klasse
- **Gründung:** Monopiles (Gründungspfähle)
- **Rotordurchmesser:** 120 Meter
- **Nabenhöhe:** 88 Meter
- **Gesamthöhe:** 148 Meter
- **Gesamtleistung:** 288 Megawatt
- **Produktion:** 1,3 Milliarden KWh pro Jahr (damit können bis zu 400.000 Haushalte bei einem Durchschnittsverbrauch von 3.500 KWh pro Jahr versorgt werden)
- **Geplanter Baubeginn:** Dezember 2012
- **Geplante Inbetriebnahme:** Anfang 2015
- **Investitionssumme:** Mehr als 1 Milliarde Euro
- **Joint Venture:** Vattenfall und Stadtwerke München



Der richtige Untergrund

Voruntersuchungen des Baugrunds ergaben, dass vorwiegend mitteldicht bis dicht gelagerte Sande im Projektgebiet vorkommen.

Um die Standsicherheit der Windenergieanlagen, nachzuweisen, wurden die geologischen **Gegebenheiten jedes einzelnen Turbinenstandortes untersucht.**

Für den Windpark DanTysk bedeutete dies, die besten 80 Turbinenstandorte festzulegen

Die vorherrschenden Winde aus südwestlicher Richtung liegen hier bei durchschnittlich 10 Meter pro Sekunde (36km/h)

Der Turbinenabstand beträgt bei DanTysk rund 800 bis 1000 Meter.





Bildquelle (Vattenfall)

© Handwerkskammer Flensburg, Johanniskirchhof 1-7, 24937 Flensburg

Schallminderung im Fokus

Um den Gehörsinn von Meeressäugern durch die Geräuschentwicklung bei der Installation der Gründungspfähle nicht zu beeinträchtigen oder gar zu schädigen, wird ein **mehrstufiges Verfahren** angewendet.

Vor dem Installationsstart werden mit sogenannten Pingern und Seal scarern Geräusche erzeugt, die die Meeressäuger warnen und veranlassen, das Baugebiet zu meiden.

Die ersten Minuten der folgenden **Rammung** geschehen mit einem so genannten **Softstart**, der die **Haupttrammphase** ankündigt.



© Handwerkskammer Flensburg, Johanniskirchhof 1-7, 24937 Flensburg



Der Luftschlauch

© Handwerkskammer Flensburg, Johanniskirchhof 1-7, 24937 Flensburg



© Handwerkskammer Flensburg, Johanniskirchhof 1-7, 24937 Flensburg



© Handwerkskammer Flensburg, Johanniskirchhof 1-7, 24937 Flensburg

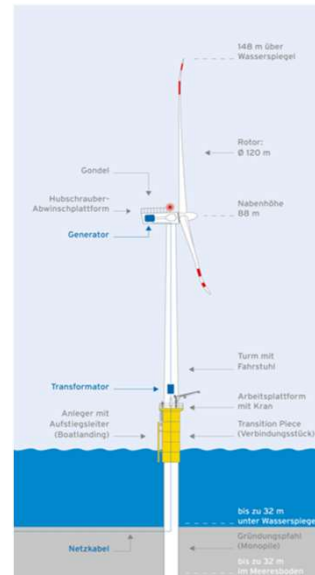


© Handwerkskammer Flensburg, Johanniskirchhof 1-7, 24937 Flensburg

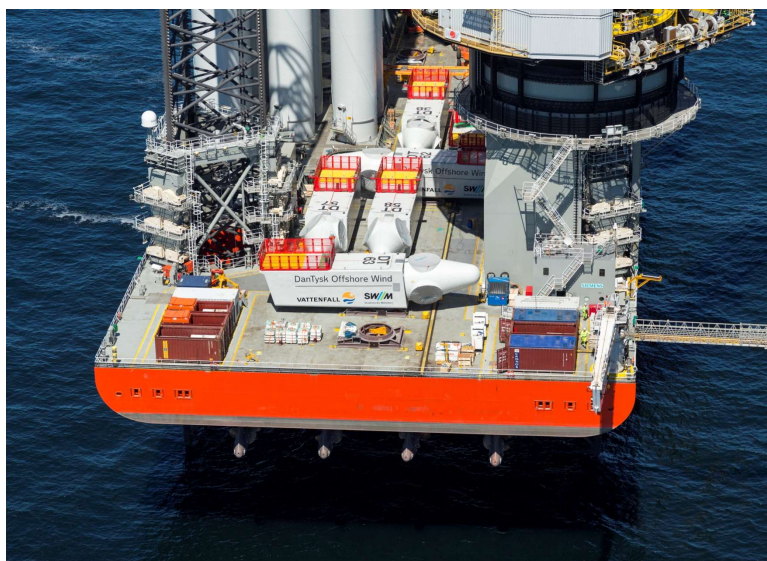
Die Windturbine



- Rotordurchmesser: 120 Meter
- Nabenhöhe: 88 Meter
- Nennleistung: 3,6 MW
- Gondelmasse ohne Rotor und Nabe: etwa 150 Tonnen
- Gondelmasse mit Rotor und Nabe: etwa 250 Tonnen
- Turm: etwa 210 Tonnen
- Drehzahl: Rotor: 5-13 U/min
- Einschaltwindgeschwindigkeit: 3-4 Meter/Sekunde (=Windstärke 2-3)
- Nennwindgeschwindigkeit: etwa 12 Meter/Sekunde (=Windstärke 6)
- Ausschaltwindgeschwindigkeit: 25 Meter/Sekunde (=Windstärke 10)
- Blattspitzengeschwindigkeit: knapp 300 km/h



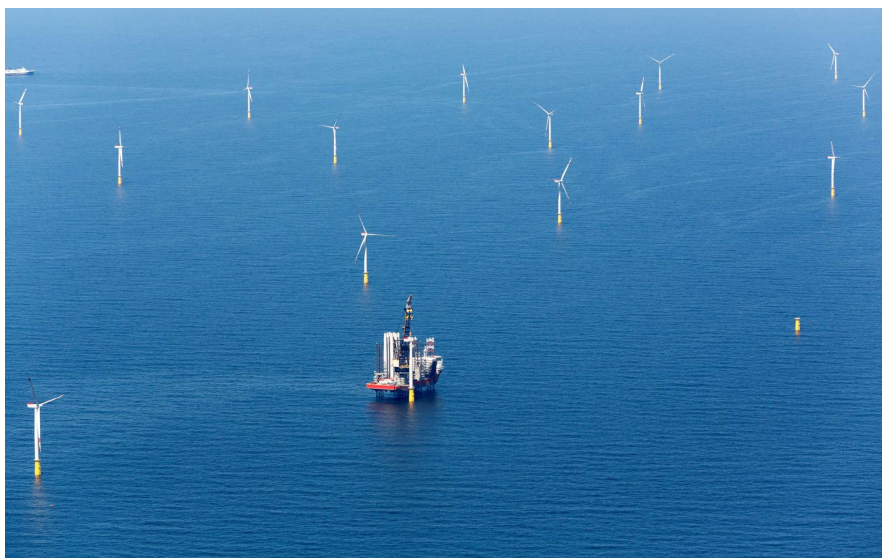
© Handwerkskammer Flensburg, Johanniskirchhof 1-7, 24937 Flensburg



© Handwerkskammer Flensburg, Johanniskirchhof 1-7, 24937 Flensburg



© Handwerkskammer Flensburg, Johanniskirchhof 1-7, 24937 Flensburg



© Handwerkskammer Flensburg, Johanniskirchhof 1-7, 24937 Flensburg



© Handwerkskammer Flensburg, Johanniskirchhof 1-7, 24937 Flensburg

Umspannwerk: Herzstück des Windparks

Ein zentrales Element des Windparks DanTysk ist das 155/33-Kilovolt-Offshore-Umspannwerk.

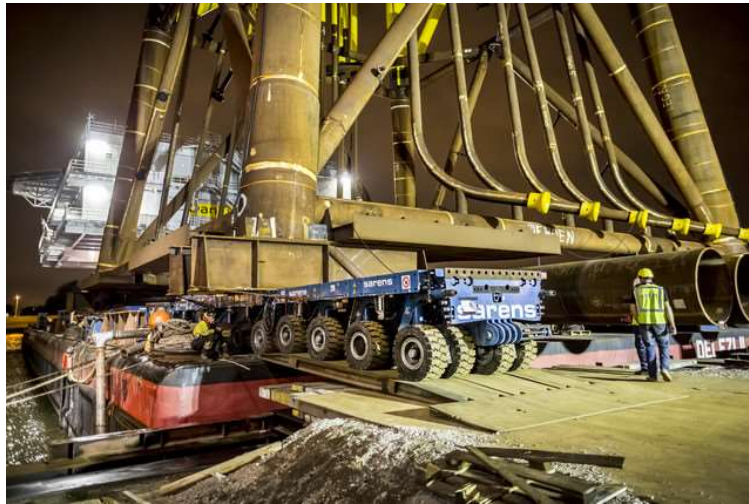
Denn es bildet die Schnittstelle zum Weitertransport der Energie über das Seekabel zum Festland.

Hier wird der von allen Windturbinen produzierte Strom von 33 Kilovolt in 155 Kilovolt umgewandelt und anschließend zu einer Konverterstation weitergeleitet.

Dort erfolgt die Umwandlung von Wechsel- in Gleichstrom, um eine möglichst verlustarme Stromübertragung zu gewährleisten.



© Handwerkskammer Flensburg, Johanniskirchhof 1-7, 24937 Flensburg



© Handwerkskammer Flensburg, Johanniskirchhof 1-7, 24937 Flensburg



© Handwerkskammer Flensburg, Johanniskirchhof 1-7, 24937 Flensburg



© Handwerkskammer Flensburg, Johanniskirchhof 1-7, 24937 Flensburg



© Handwerkskammer Flensburg, Johanniskirchhof 1-7, 24937 Flensburg



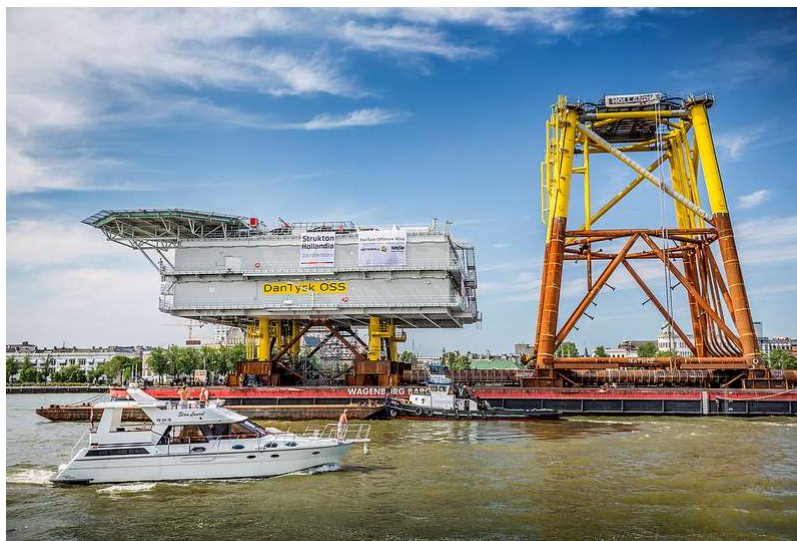
© Handwerkskammer Flensburg, Johanniskirchhof 1-7, 24937 Flensburg



© Handwerkskammer Flensburg, Johanniskirchhof 1-7, 24937 Flensburg



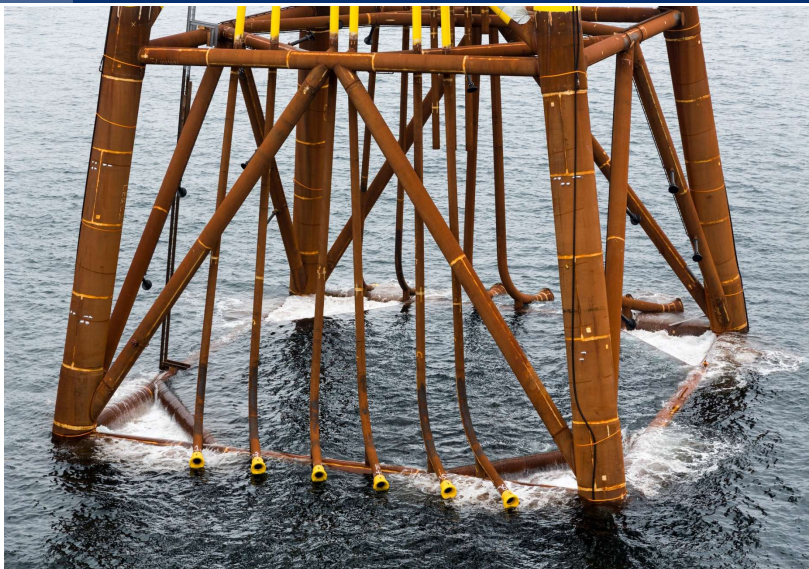
© Handwerkskammer Flensburg, Johanniskirchhof 1-7, 24937 Flensburg



© Handwerkskammer Flensburg, Johanniskirchhof 1-7, 24937 Flensburg



© Handwerkskammer Flensburg, Johanniskirchhof 1-7, 24937 Flensburg



© Handwerkskammer Flensburg, Johanniskirchhof 1-7, 24937 Flensburg



© Handwerkskammer Flensburg, Johanniskirchhof 1-7, 24937 Flensburg



© Handwerkskammer Flensburg, Johanniskirchhof 1-7, 24937 Flensburg



© Handwerkskammer Flensburg, Johanniskirchhof 1-7, 24937 Flensburg



© Handwerkskammer Flensburg, Johanniskirchhof 1-7, 24937 Flensburg



© Handwerkskammer Flensburg, Johanniskirchhof 1-7, 24937 Flensburg

Verkabelung

Verlustarmer Transport über Gleichstromkabel

Es handelt sich dabei um eine Seekabelverbindung, die die Konverterplattform Sylwin alpha, die sich in unmittelbarer Nähe des Windparks befindet, mit dem Umspannwerk im schleswig-holsteinischen Büttel verbindet.

Hierzu wird ein **205 Kilometer langes Kabel** verlegt, davon 160 km in der Nordsee und 45 km an Land bis zur Konverterstation in Büttel. Dort wird der Strom dann ins deutsche Höchstspannungsnetz eingespeist.



Wechselspannungs-Innenparkleitung

© Handwerkskammer Flensburg, Johanniskirchhof 1-7, 24937 Flensburg

Kabelvergrabung mit Canyon's Grabenfräse T750

Die verlegten Kabel werden **1,5 Meter tief** im Meeresboden vergraben um das Risiko der Kabelbeschädigung und den Einfluss auf die Umwelt zu minimieren.

Ein grabenfräsender Unterwasserroboter, der Maersk Lifter, übernimmt diesen Job, sodass **keine Taucher** benötigt werden.



© Handwerkskammer Flensburg, Johanniskirchhof 1-7, 24937 Flensburg

Betrieb & Service



Die Servicetechniker sind besonders gut ausgebildet und unterliegen regelmäßigen Gesundheitsschecks. Sie arbeiten nach strengen Sicherheitsregeln in einem mehrwöchigen Schichtbetrieb.

Der eigentliche Betrieb des Windparks DanTysk wird vom Kontrollzentrum in Dänemark aus geführt, das von Vattenfall betrieben wird.

Von hier aus wird der Windpark überwacht und sichergestellt, dass beispielsweise **keine betriebsfremden** Fahrzeuge die Sicherheitszone verletzen, die sich in einem Umkreis von **500 Meter um den Park** befindet.

© Handwerkskammer Flensburg, Johanniskirchhof 1-7, 24937 Flensburg



© Handwerkskammer Flensburg, Johanniskirchhof 1-7, 24937 Flensburg

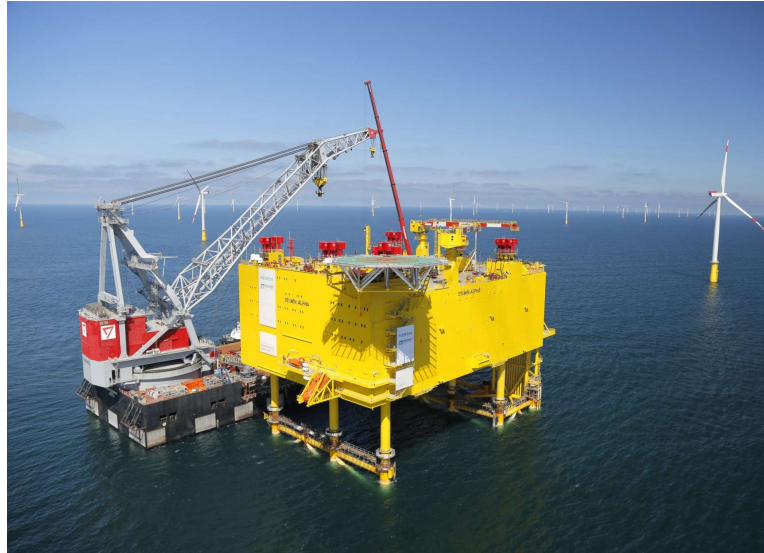


HGÜ-Konverter-
Plattform (14000 t)



© Handwerkskammer Flensburg, Johanniskirchhof 1-7, 24937 Flensburg

Unter-
konstruktion
(6000 t)



© Handwerkskammer Flensburg, Johanniskirchhof 1-7, 24937 Flensburg

Wohnplattform DanTysk



2500 Tonnen Gewicht

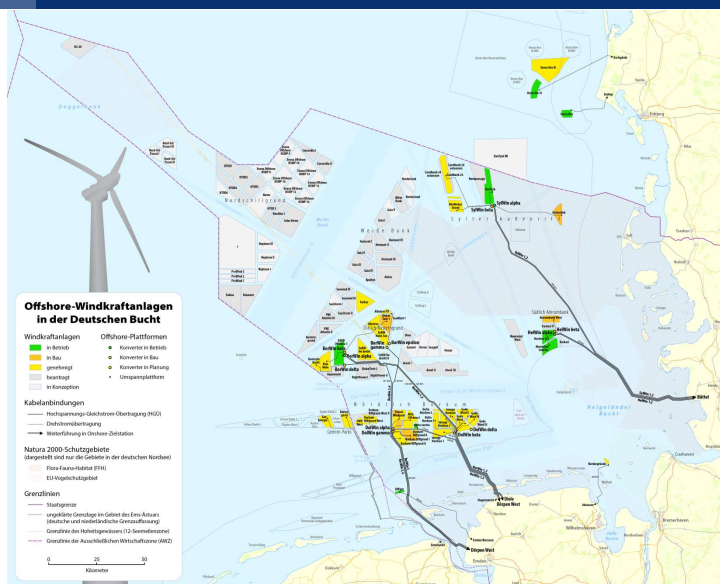
© Handwerkskammer Flensburg, Johanniskirchhof 1-7, 24937 Flensburg



© Handwerkskammer Flensburg, Johanniskirchhof 1-7, 24937 Flensburg



© Handwerkskammer Flensburg, Johanniskirchhof 1-7, 24937 Flensburg



© Handwerkskammer Flensburg, Johanniskirchhof 1-7, 24937 Flensburg



Eigentümer ist die Amrumbank West GmbH in München

© Handwerkskammer Flensburg, Johanniskirchhof 1-7, 24937 Flensburg

Amrumbank West

| Daten | |
|------------------|---|
| Primärenergie | Windenergie |
| Leistung | 288 MW (el) |
| Typ | Offshore-Windpark |
| Eigentümer | Amrumbank West GmbH, Tochter der E.ON Climate & Renewables Central Europe GmbH |
| Projektbeginn | 2000 |
| Betriebsaufnahme | Herbst 2015 geplant |
| Gründung | Monopile |
| Turbine | 80 × Siemens SWT-3.6-120 |
| Website | E.ON Factsheet Amrumbank West (PDF; 1,2 MB) |
| Stand | 2/2015 in Bau |

Nordsee Ost

Die
48 Windkraftanlagen
sollen jährlich etwa
1.000 GWh
elektrische Energie
produzieren.



Im Dezember 2014 speiste die erste Windkraftanlage im Testbetrieb Strom ins Netz ein. **Am 29. Dezember 2014 waren alle 48 Windenergieanlagen errichtet.** Im Frühjahr 2015 soll der Windpark vollständig in Betrieb genommen werden.

Am 11. Mai 2015 ging der Windpark offiziell in Betrieb.

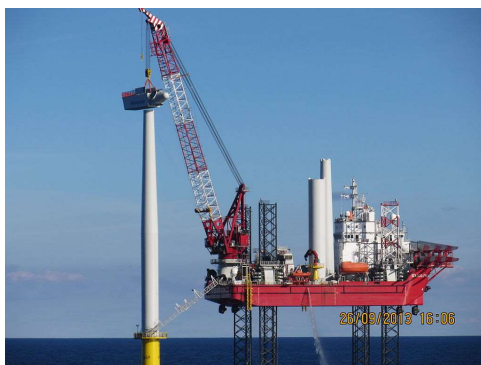
Am 19. Juni 2015 brach ein Rotorflügel.

Daraufhin wurde zunächst der gesamte Windpark vom Netz genommen, später jedoch teilweise wieder in Betrieb genommen.

| Daten | |
|------------------|--|
| Primärenergie | Windenergie |
| Leistung | 295 MW ⁽¹⁾ |
| Typ | Offshore-Windpark |
| Eigentümer | RWE Innogy |
| Betreiber | Essent Wind Nordsee Ost Planungs- und Betriebsgesellschaft mbH, Helgoland |
| Projektbeginn | 2000, Baubeginn 2012 |
| Betriebsaufnahme | 2015 |
| Gründung | Jackets |
| Turbine | Senvion 6.2M126 |
| Website | Nordsee Ost auf rwe.com ↗ |
| Stand | Dezember 2014 |

Meerwind Süd/Ost

Die Anbindung an das Festland-Stromnetz durch die HGÜ
„HelWin 1“ über die Ende August 2013 aufgestellte
Konverter-Plattform „HelWin alpha“ wurde Mitte 2014 fertiggestellt



| Daten | |
|------------------|---|
| Primärenergie | Windenergie |
| Leistung | 288 MW |
| Typ | Offshore-Windpark |
| Eigentümer | WindMW GmbH |
| Projektbeginn | 2000, Baubeginn 2012 |
| Betriebsaufnahme | Herbst 2014 |
| Gründung | Monopiles |
| Turbine | 80 × Siemens SWT-3.6-120 |
| Website | http://www.windmw.de/meerwind.html ↗ |



© Handwerkskammer Flensburg, Johanniskirchhof 1-7, 24937 Flensburg

Ostsee-Offshore-Windpark Arkona

35 Kilometer nordöstlich
der Insel Rügen.(Ostsee)

60 Windenergie-anlagen (je 6,4MW) auf
einer Fläche von 37 km² haben eine
installierte Leistung von 385 MW.
Damit kann der Windpark rechnerisch
400.000 Haushalte mit Strom versorgen.



© Handwerkskammer Flensburg, Johanniskirchhof 1-7, 24937 Flensburg



| | |
|------------------|---|
| | |
| Koordinaten | 54° 46' 55" N, 14° 7' 16" O |
| Land | Deutschland |
| Gewässer | Ostsee |
| Daten | |
| Typ | Offshore-Windpark |
| Primärenergie | Windenergie |
| Leistung | 385 MW |
| Eigentümer | E.ON Climate & Renewables, Equinor |
| Betreiber | AWE-Arkona-Windpark Entwicklungs-GmbH |
| Projektbeginn | 2000 ^[1] |
| Betriebsaufnahme | 16. April 2019 |
| Gründung | Monopiles |
| Turbine | 60 x Siemens Gamesa SWT-6 0-154 (leistungsgesteigert auf 6,4 MW) |
| Stand | April 2019 |

© Handwerkskammer Flensburg, Johanniskirchhof 1-7, 24937 Flensburg

Leistung

Enercon E-126 im Windpark Schneebergerhof



Die leistungsstärkste Windkraftanlage (Stand 2010) ist die Enercon E-126 mit **7,5 Megawatt** installierter Leistung. **Getriebelos**

Die Nabenhöhe beträgt 135 Meter, die Gesamthöhe liegt bei 198 Metern, der Rotordurchmesser bei 127 Metern

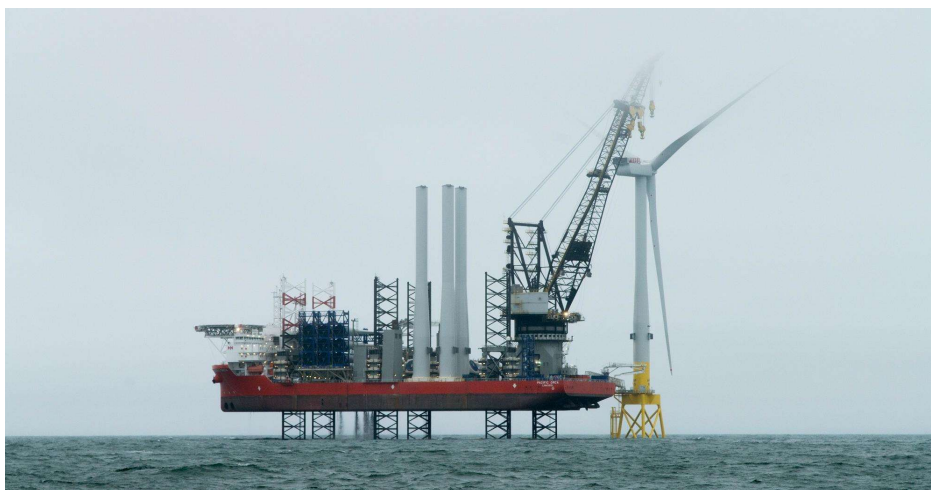
$$\text{Rotorfläche: } A = \pi r^2 = 3,14 \times 63,5\text{m}^2 = 12661 \text{ m}^2 = 1,27 \text{ ha}$$

© Handwerkskammer Flensburg, Johanniskirchhof 1-7, 24937 Flensburg

Enercon E-126



© Handwerkskammer Flensburg, Johanniskirchhof 1-7, 24937 Flensburg



In dem 2,4 km vor der schottischen Küste gelegenen Offshore-Windpark Aberdeen Bay hat Vattenfall die erste der beiden geplanten **8,8-MW-Turbinen** installiert. Es handelt sich um die aktuell leistungsstärkste Windkraftanlage im kommerziellen Einsatz. (Meldung vom 11.04.2018)

© Handwerkskammer Flensburg, Johanniskirchhof 1-7, 24937 Flensburg

Neue Nordex-Turbine für Starkwindstandorte

26.04.2018



Die Nordex Group hat angekündigt, eine auf Starkwindstandorte spezialisierte Turbine mit 4,8MW ab 2019 in Serie zu bauen.

© Handwerkskammer Flensburg, Johanniskirchhof 1-7, 24937 Flensburg

Naturstromspeicher Gaildorf

Windpark mit einem **kombinierten Pumpspeicherkraftwerk**.
Der **Spatenstich erfolgte im April 2016**.
Die Windkraftanlagen, in deren Turmfuß Wasser gespeichert wird,
wurden im Dezember 2017 in Betrieb genommen und ans Netz
angeschlossen.
Das Pumpspeicherwerk geht ein Jahr später in Betrieb.

Vier Windkraftanlagen des Typs GE 3.4-137 mit einer Nabenhöhe
von 178 m, einem Rotordurchmesser von 137 m und einer
Nennleistung von **jeweils 3,4 MW**.

Die 40 Meter hohen Turmfundamente der Windanlagen, die auch
als Wasserspeicher genutzt werden, ermöglichen große
Nabenhöhen. Eine der vier Anlagen hält seit Herbst 2017 den
Höhenweltrekord für Windenergieanlagen mit einer Gesamthöhe
von 246,5 m bei 178 m Nabenhöhe.

Pumpspeicherkraftwerk

Die **Netzeinspeisungsleistung des Pumpspeicherkraftwerks beträgt bis zu 16 MW**.

Die Speicherkapazität der Gesamtanlage beträgt laut den Projektbetreibern 70 MWh, das entspricht mehr als fünf
Stunden Speicherbetrieb aller Windkraftanlagen bei Nennleistung oder gut vier Stunden Stromerzeugung des
Wasserkraftwerks bei Nennleistung.



© Handwerkskammer Flensburg, Johanniskirchhof 1-7, 24937 Flensburg

Oberbecken

Jeder der vier Windkraftanlage-Standorte verfügt über aus Betonfertigteilen aufgebaute Oberbecken, die jeweils in **zwei Teilvolumen** unterschiedlicher Höhe aufgetrennt sind.



Das 40 Meter hohe zylindrische **Turmfundament mit 16 Meter Durchmesser** (vom Betreiber als **Aktivbecken** bezeichnet) kann bis zu 31 Meter mit Wasser gefüllt werden.

Das Turmfundament steht in einem **zylindrischen Wasserbecken mit 63 Meter Durchmesser** (vom Betreiber als **Passivbecken** bezeichnet).

Die Höhe der Passivbecken ist bei den vier Anlagen unterschiedlich dimensioniert, ihre Stauhöhe beträgt zwischen acht und 13 Meter.

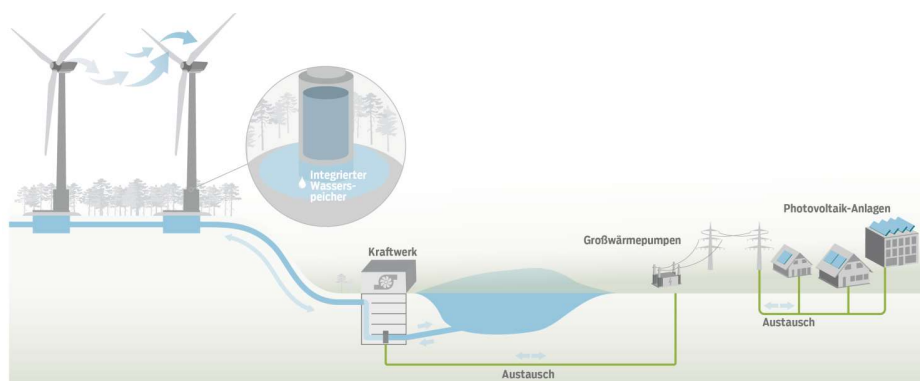
Aktiv- und Passivbecken sollen nacheinander befüllt und entleert werden.

Insgesamt können bis zu 160.000 m³ Wasser gespeichert werden.





© Handwerkskammer Flensburg, Johanniskirchhof 1-7, 24937 Flensburg

**Rohrleitungssystem**

Ein etwa 3,2 Kilometer langes Druckleitungsrohrsystem soll die vier Wasserspeicher des Windparks untereinander und mit dem Krafthaus im Tal, das etwa 200 m tiefer liegt, verbinden.

© Handwerkskammer Flensburg, Johanniskirchhof 1-7, 24937 Flensburg



© Handwerkskammer Flensburg, Johanniskirchhof 1-7, 24937 Flensburg


Repowering

Repowering meint den Ersatz von älteren Wind-Energie-Anlagen der ersten Generation durch neue, leistungsstärkere Maschinen.

Ziel ist eine bessere Ausnutzung der verfügbaren Standorte, die Erhöhung der installierten Leistung bei gleichzeitiger Reduktion der Anzahl der Anlagen.

Halbierung der Anlagenzahl bei Verdoppelung der Windkraftleistung – bezogen auf die gleiche Fläche.

Weniger, ruhiger und leiser laufende Anlagen bedeuten eine Entlastung der Umwelt. Zudem können landschaftsplanerische Fehler aus der Gründerzeit beseitigt werden.



| Vorher-Nachher-Beispiel | Vorher | Nachher |
|------------------------------------|----------------------|----------------------|
| Anzahl der Windenergie-Anlagen | 13 | 5 |
| Nabenhöhe | 65 Meter | 125 Meter |
| Nennleistung der einzelnen Anlagen | 600 Kilowatt | 4.500 Kilowatt |
| Installierte Gesamtleistung | 7,8 Megawatt | 22,5 Megawatt |
| Jahresenergieertrag | 23,53 Millionen kW/h | 84,42 Millionen kW/h |

© Handwerkskammer Flensburg, Johanniskirchhof 1-7, 24937 Flensburg

Schäden



Brände entstehen hauptsächlich durch Funkenflug wegen **mangelhaft hergestellter elektrischer Verbindungen** entstanden und **weil hydraulische Leitungen brachen** und sich das Hydrauliköl anschließend selbst entzündete.

Brände können in der Regel durch die Feuerwehr nur im unteren Turmbereich bekämpft werden. Bei einigen der neuen Multimegawatt-Offshore-Anlagen wird inzwischen **standardmäßig ein Brandschutzsystem eingebaut**.

© Handwerkskammer Flensburg, Johanniskirchhof 1-7, 24937 Flensburg



© Handwerkskammer Flensburg, Johanniskirchhof 1-7, 24937 Flensburg



© Handwerkskammer Flensburg, Johanniskirchhof 1-7, 24937 Flensburg



© Handwerkskammer Flensburg, Johanniskirchhof 1-7, 24937 Flensburg

Recycling

Eine Windkraftanlage mit Getriebe und Stahlrohrturm besteht inklusive Fundament zu **60 Masseprozent aus Stahlbeton** und zu **30 Prozent aus Stahl**.

Einen weiteren nennenswerten Anteil macht **mit zwei Prozent glasfaserverstärkter Kunststoff** aus. Alle weiteren Materialien haben jeweils weniger als ein Masseprozent (Kupfer, Aluminium, Elektroteile, Betriebsflüssigkeiten).

Die **Rotorblätter** (glasfaserverstärkte Kunststoffe) werden geschreddert oder zermahlen.

Sie können hiernach als Beimengung bei der **Neuherstellung** von Rotorblättern eingesetzt oder auch als Füllstoff in bestimmten Kunststoffen verwandt werden.

Ist die stoffliche Verwertung auf Grund zu langer Transportwege unwirtschaftlich, werden sie einer thermischen Verwertung zum Beispiel in **Verbrennungsanlagen** oder **Zementfabriken** zugeführt.

Der Beton des Fundamentes und gegebenenfalls des Turmes kann als Zuschlagstoff im **Straßenbau** Verwendung finden.

Elektroschrott kann in Scheideanstalten stofflich verwertet und die metallischen Komponenten in Gießereien eingeschmolzen werden.

Gerade diese Bestandteile aus dem Maschinenhaus (Aluminium/Blech), der Rotornabe (Stahl/Gusseisen) und dem Generator (Stahl/Kupfer) sind von Wert und das Recycling deshalb wirtschaftlich sinnvoll.



Moderne Windenergie-Anlagen lassen sich zu **annähernd 100 Prozent verwerten**.

Kleinwindkraftanlagen

Windkraft auf dem Dach

Max. 70 kW darf eine Kleinwindkraftanlage erzeugen, um noch als "klein" durchzugehen.

Aber Anlagen für private Haushalte leisten sowieso nur zwischen 0,4 kW bis 30 kW.

Wirtschaftlichkeit

Die maximal erzielten Werte liegen derzeit bei 200-400 kWh pro Quadratmeter Rotorfläche.

Wird der Strom ins öffentliche Netz gespeist, zahlt der Netzbetreiber eine Vergütung laut EEG.

Kauftipps

- Achtung! Die Investition lohnt sich erst ab einer Windgeschwindigkeit von im Schnitt 7 m/s.
- Viele marktübliche Anlagen sind aber für 15-20 m/s ausgelegt.
- Keine Anlage kaufen, für die der Hersteller noch keine Erfahrungswerte liefern kann!
- Nur nach IEC-Norm zertifizierte Anlage kaufen!



Kleinwindkraftanlagen: Förderung



Die staatliche **KfW-Bank** bietet Kleinwindkraftanlagen-Förderung in ihrem Programm Wohnraum-Modernisieren.

Voraussetzung: Die Anlage liefert **ausschließlich Strom für den Haushalt und ist nicht ans öffentliche Stromnetz angeschlossen.**



•Tipp: Daten über das regionale Windpotenzial liefert der Deutsche Wetterdienst gegen eine Gebühr. Sie können eigene **Messungen über mindestens ein Jahr** aber nicht ersetzen!

© Handwerkskammer Flensburg, Johanniskirchhof 1-7, 24937 Flensburg

Kleinwindkraftanlagen: Genehmigung

Kleinwindanlagen müssen unbedingt genehmigt werden und den Vorschriften zu Lärm und Schattenwurf genügen.

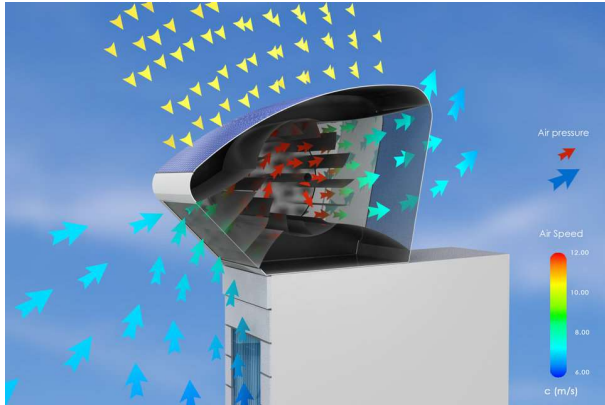
Darüber hinaus entscheiden regionale Behörden unterschiedlich.
Auskünfte erteilen die Bauämter.

In einigen Bundesländern sind Anlagen bis zu 10 m Höhe genehmigungsfrei. Verzichten Sie dennoch nicht auf ein statisches Gutachten!

•In NRW z.B. braucht es für Anlagen unter 50 m Höhe keine Umweltverträglichkeits-Prüfung. Allerdings muss die **örtliche Umweltbehörde** die Kleinwindanlage regelmäßig überwachen.



© Handwerkskammer Flensburg, Johanniskirchhof 1-7, 24937 Flensburg

Windrail von Anergdy (Schweiz)

© Handwerkskammer Flensburg, Johanniskirchhof 1-7, 24937 Flensburg

| | | WindRail® | Solar | Mikrowindturbine |
|--------------------|-----------------------------|-------------------------|---------------|----------------------|
| Energie | Sonneneinstrahlung | ✓ | ✓ | |
| | Windströmung | ✓ | | ✓ |
| | Druckunterschied | ✓ | | |
| Design | Dachkante - Platzeinsparung | ✓ | | |
| | Gebäude-Design-Element | ✓ | ✓ | |
| Funktion | Gebäudeblitzschutz | ✓ | | |
| | Gebäudefallschutz | ✓ | | |
| | Fassaden- und Dachschutz | ✓ | | |
| | Geringe Lärmemission | ✓ | ✓ | |
| | Vogel- und Fledermausschutz | ✓ | ✓ | |
| Wirtschaftlichkeit | Lebensdauer | 40 Jahre ⁽¹⁾ | 30 Jahre | 20 Jahre |
| | Energieertrag | 200-650kWh/m² | 100-150kWh/m² | 50-100kWh/m² |
| | Jahresarbeitszahl | 45-95% | 15-25% | 15-75% |
| | Stromerzeugungskosten | 5-15c€/kWh | 12-20c€/kWh | 12-25c€/kWh |
| | Typische Rendite | 4-7% | 3-5% | 1-3% |

⁽¹⁾ Abgestimmt auf Gebäudelebenszyklus, mit Ersatz von Photovoltaik-Elementen und Generator

© Handwerkskammer Flensburg, Johanniskirchhof 1-7, 24937 Flensburg

MRT-Wind GmbH



© Handwerkskammer Flensburg, Johanniskirchhof 1-7, 24937 Flensburg



© Handwerkskammer Flensburg, Johanniskirchhof 1-7, 24937 Flensburg

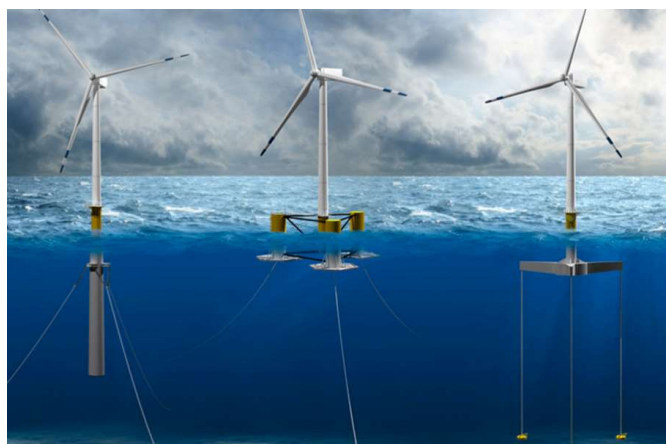


Schwimmende Windkraftanlagen



Die Modellanlage auf dem Baggersee in Geestland ist mit zwei Rotoren ausgestattet und **18 Meter** hoch. Im späteren Regelbetrieb auf dem Meer sollen die Windräder eine Höhe von **180 Metern** aufweisen.

© Handwerkskammer Flensburg, Johanniskirchhof 1-7, 24937 Flensburg



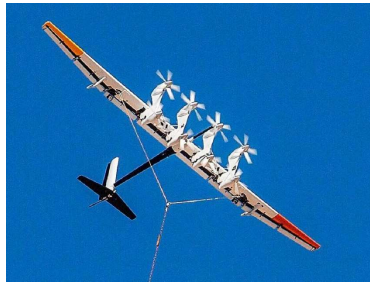
© Handwerkskammer Flensburg, Johanniskirchhof 1-7, 24937 Flensburg



Ballon-Technik Windrad liefert Strom aus 600 Meter Höhe.

Mit steigender Höhe bläst der Wind immer stärker.

Dies wollen Forscher ausnutzen, die ein gigantisches Ballon-Windrad entwickelt haben. Es produziert schwebend Strom.



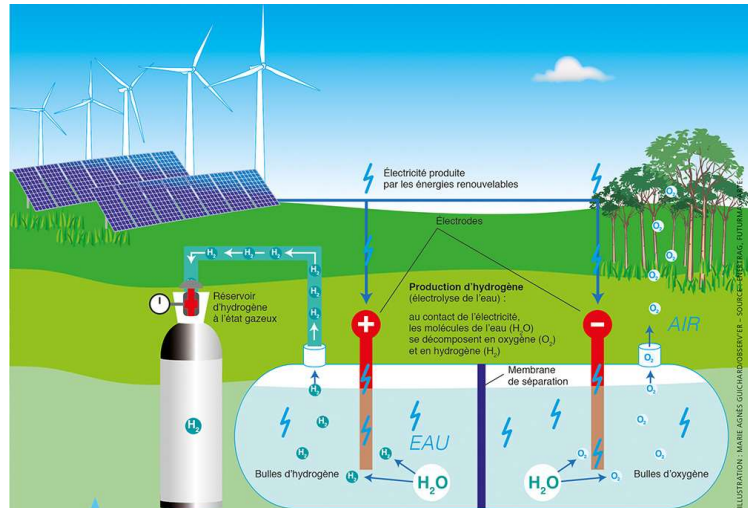
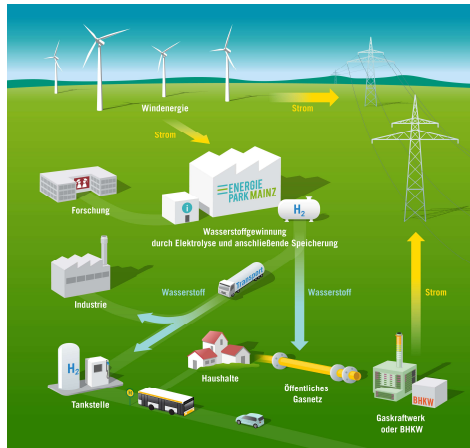
© Handwerkskammer Flensburg, Johanniskirchhof 1-7, 24937 Flensburg

Skysails



© Handwerkskammer Flensburg, Johanniskirchhof 1-7, 24937 Flensburg

Wasserstoff aus dem Windpark



© Handwerkskammer Flensburg, Johanniskirchhof 1-7, 24937 Flensburg

Onshore Windenergie

(Veranstaltung der IHK in Husum am 21.06.2012)

- in Deutschland ist 8% der Landfläche für den Ausbau der Windenergie geeignet
- mit 2% dieser Flächen lässt sich 64% des Strombedarfs decken
- momentan werden ca.0,8% dieser Flächen für Windenergie genutzt
- Schleswig-Holstein deckt bereits 47% des Strombedarfs mit erneuerbaren Energien
- Bebauung im Land zu ungleichmäßig verteilt (z.T. fehlende Bürgerakzeptanz)
- eine Windkraftanlage mit 150m Nabenhöhe statt 100m erzeugt 65% mehr Energie
- Anlagen dürfen nicht höher als 220m sein (Beeinträchtigung des Flugverkehrs)
- Anlagen müssen dort stehen, wo die Energie gebraucht wird
- Akzeptanz der Bevölkerung noch nicht hoch genug
- Offshore-Probleme sind größer als Onshore-Probleme (Kosten,Entfernungen)
- nicht mehr Kupfer verlegen, sondern die bestehenden Netze effizienter nutzen
- Verbraucher sollen Strom zeitlich „intelligenter“ nutzen
- Verbraucher sollen am Netzausbau beteiligt werden (8-9% Zins auf private Gelder)
- Getriebe werden bleiben, da die Probleme immer kleiner werden und die Probleme bei getriebelosen Anlagen mit der Steuerung/Regelung/Elektronik proportional zur Anlagengröße/Leistung steigen.
- Energiespeicher: Lithium-Akku, Druckluft, Wasserstoff ins Erdgasnetz, Stausee
- Mobilitätsentwicklung vermutlich in Richtung Brennstoffzelle/Wasserstoff
- sehr geringe Ausbildungszahlen in der Windbranche !
- Fachleute werden fertig ausgebildet eingekauft



© Handwerkskammer Flensburg, Johanniskirchhof 1-7, 24937 Flensburg