

# Strukturkomponenten von WKA

**IG WINDKRAFT**   
Austrian Wind Energy Association

Matthias Neubauer  
Projektleiter Windenergie  
Energiewerkstatt Consulting GmbH

## ...zur Person...



- Studium der Geologie an der Julius-Maximilians-Universität Würzburg
- Beruflicher Werdegang:
  - Bohrungsgeologe auf Tiefbohrungen (Geothermie, Erdgas/Erdöl)
  - Projektleiter in einem Geol. Ing. Büro (Grundwasser, Altlasten)
  - Planungsingenieur bei Vestas Deutschland GmbH
  - Planungsingenieur bei Gamesa Wind GmbH
  - Fachberater für Windenergie an der Univ. de Concepcion, Chile
  - Projektleiter Windenergie bei EWS Consulting GmbH, Munderfing



## Inhaltsübersicht



- Entwicklung der Windenergietechnik
- Strukturkomponenten
- Fundament
- Turm
- Nabe
- Rotorblätter
- Pitch-System
- Antriebsstrang
- Getriebe
- Bremse
- Generator
- Windnachführung
- Transport der Komponenten

Datum: 24.03.2014  
Seite: 3

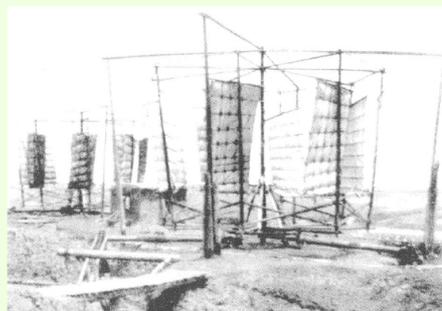
IGW Grundlagen der Windenergie

[www.ews-consulting.at](http://www.ews-consulting.at)

## Strukturkomponenten – Entwicklung der Windenergietechnik



Vertikalachsen Windmühlen  
zum Getreidemahlen ...      ... und Wasserschöpfen



Die ersten Vertikalachsen Windmühlen wurden  
ca. 644 n. Chr. in Afghanistan erbaut

Datum: 24.03.2014  
Seite: 4

IGW Grundlagen der Windenergie

[www.ews-consulting.at](http://www.ews-consulting.at)

## Strukturkomponenten – Entwicklung der Windenergietechnik



### Deutsche Bockwindmühle

- Erbau der ersten Bockwindmühle frühes 12. Jahrhundert
- schnelle Ausbreitung über Nord- und Osteuropa bis nach Finnland
- hat sich auch in späten Jahren gegen die Holländer-Windmühle durchgesetzt
- Mitte des 19ten Jahrhundert waren ca. 200.000 Windmühlen in Europa im Einsatz

Datum: 24.03.2014  
Seite: 5

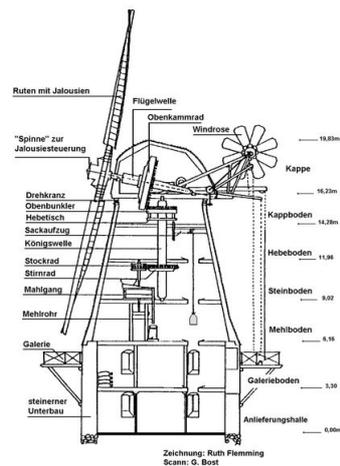
IGW Grundlagen der Windenergie

www.ews-consulting.at

## Strukturkomponenten – Entwicklung der Windenergietechnik



Holländer Windmühle, 18./19.Jh.



Schnittzeichnung einer Holländer Windmühle

Datum: 24.03.2014  
Seite: 6

IGW Grundlagen der Windenergie

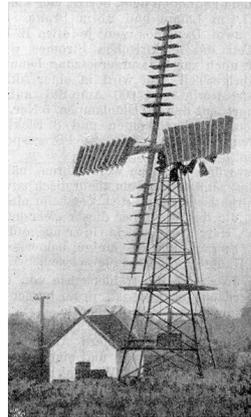
www.ews-consulting.at

## Strukturkomponenten – Entwicklung der Windenergietechnik



Wheeler Eclipse, 1870 – 1930,  
ca. 6 Mio. gebaute Modelle in den USA

Windmühle von Poul la Cour, 1907,  
elektrische Leistung 10 – 35 kW,  
ca. 120 Anlagen in Dänemark



Datum: 24.03.2014  
Seite: 7

IGW Grundlagen der Windenergie

[www.ews-consulting.at](http://www.ews-consulting.at)

## Strukturkomponenten – Entwicklung der Windenergietechnik



Standort Stötten, Schwäbische Alb 1959-1968

Das Urmodell aller  
modernen  
windnutzenden Geräte,  
die StGW-34-Anlage,  
nach Ulrich Hütter, 1959



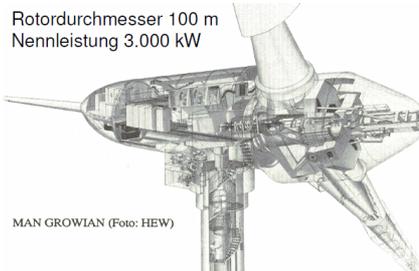
Anlage von Ulrich Hütter (Voith-  
Hütter, WEC-52), 1980

Datum: 24.03.2014  
Seite: 8

IGW Grundlagen der Windenergie

[www.ews-consulting.at](http://www.ews-consulting.at)

## Strukturkomponenten – Entwicklung der Windenergietechnik



Rotordurchmesser 100 m  
Nennleistung 3.000 kW

MAN GROWIAN (Foto: HEW)

GROWIAN,  
einst der größte Windenergiekonverter der  
Welt (1983 - 1987).  
Nennleistung 3000kW,  
Nabenhöhe 100m  
Rotordurchmesser 100m

Datum: 24.03.2014  
Seite: 9

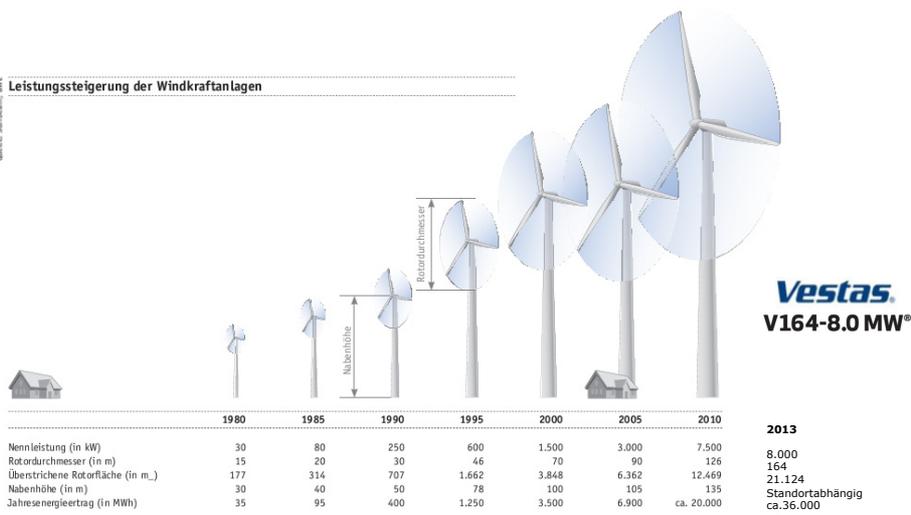
IGW Grundlagen der Windenergie

[www.ews-consulting.at](http://www.ews-consulting.at)

## Strukturkomponenten – Entwicklung der Windenergietechnik



Quelle: Sunbeam, IBE  
Leistungssteigerung der Windkraftanlagen



**Vestas**  
V164-8.0 MW®

Datum: 24.03.2014  
Seite: 10

IGW Grundlagen der Windenergie

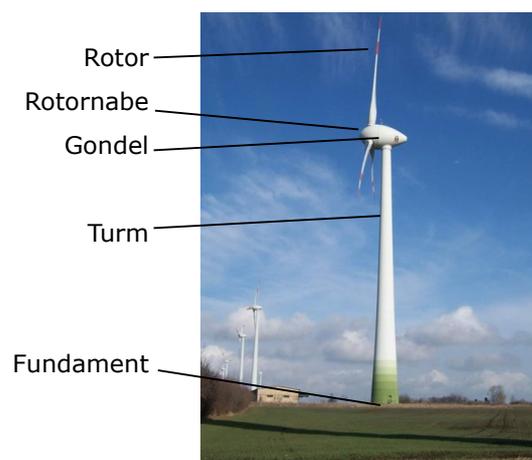
[www.ews-consulting.at](http://www.ews-consulting.at)

## Strukturkomponenten – Entwicklung der Windenergietechnik

Technologischer Fortschritt der letzten 20 Jahre



## Strukturkomponenten



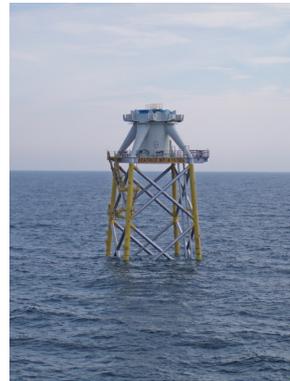
## Strukturkomponenten



### Fundament



Fundamentbaustelle einer  
Windkraftanlage (ca. 2002)



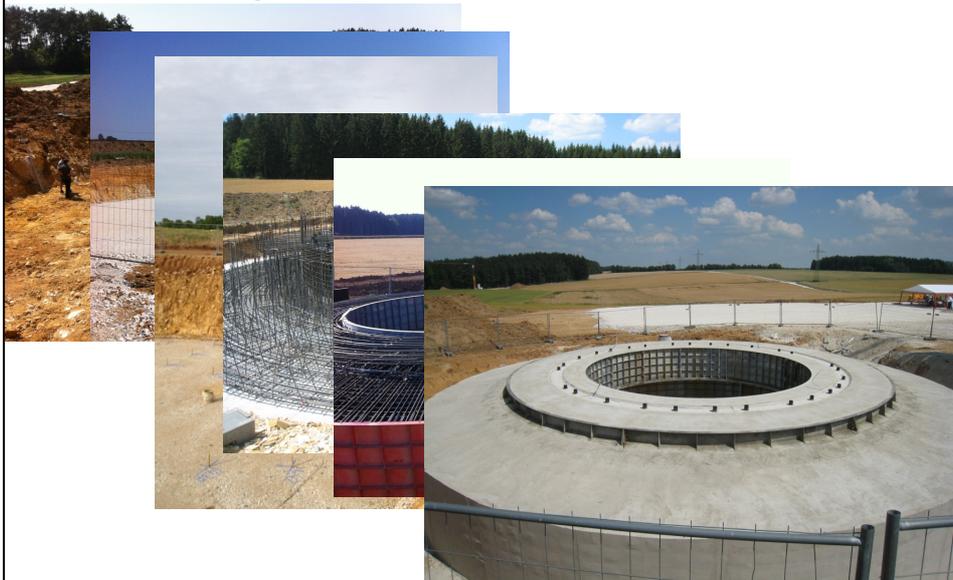
Offshore Fundament

Datum: 24.03.2014  
Seite: 13

IGW Grundlagen der Windenergie

[www.ews-consulting.at](http://www.ews-consulting.at)

## Strukturkomponenten



Datum: 24.03.2014  
Seite: 14

IGW Grundlagen der Windenergie

[www.ews-consulting.at](http://www.ews-consulting.at)

## Strukturkomponenten



### Turm



Montage eines  
Stahlrohrturmes



Hybridturm (Stahl / Stahlbeton)



Gittermast

Datum: 24.03.2014  
Seite: 15

IGW Grundlagen der Windenergie

[www.ews-consulting.at](http://www.ews-consulting.at)

## Strukturkomponenten



### Gitterturm



#### Gitterturm

Gittertürme waren oft bei Windkraftanlagen der ersten Generation zu finden. Sie benötigen weniger Material, etwa halb so viel wie Stahlrohrtürme.

Dennoch sind sie in Europa teurer als zylindrische Türme, da bei der Fertigung beziehungsweise Montage und Wartung viel Arbeitszeit eingesetzt werden muss und somit deutlich höhere Lohnkosten anfallen. In Ländern mit niedrigeren Personalkosten (wie z.B. China oder Indien) sind sie dagegen z.T. auch heute noch verbreitet.

Gittertürme sind in Europa heute selten zu sehen und wurden zuletzt nur für sehr hohe Türme (bis zu 160 Meter) verwendet.

Quelle: BWE

Datum: 24.03.2014  
Seite: 16

IGW Grundlagen der Windenergie

[www.ews-consulting.at](http://www.ews-consulting.at)

## Strukturkomponenten



### Stahlrohrturm



#### Stahlrohrtürme

Rohrtürme aus Stahl sind heutzutage die gängigste und am weitesten verbreitete Turmbauart. Mehrere Typen sind bei den Stahltürmen zu finden, wie zum Beispiel zylindrisch oder konisch. Stahltürme sind in bis zu sechs Segmente von je 20 bis 30 Meter Länge unterteilt.



Der Transport der Turmsegmente von sehr großen Windkraftanlagen kann bei Stahlrohrtürmen problematisch sein, da die Straßenbrücken zum Teil niedriger sind als der Durchmesser der untersten Turmsegmente. Dies trifft insbesondere für Anlagen zu, die größer als 2 MW sind.

Datum: 24.03.2014  
Seite: 17

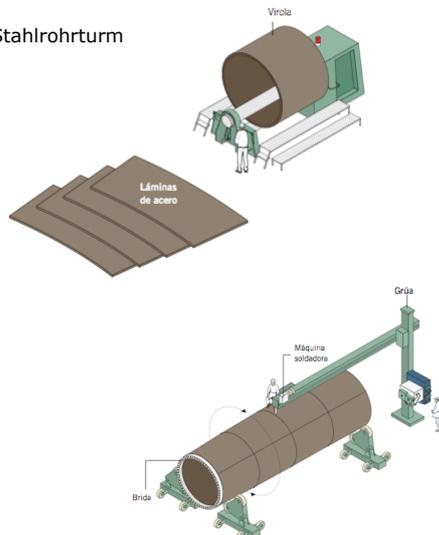
IGW Grundlagen der Windenergie

[www.ews-consulting.at](http://www.ews-consulting.at)

## Strukturkomponenten



### Stahlrohrturm



#### Stahlrohrtürme

Die Stahltürme werden aus Stahlplatten hergestellt. Diese werden zunächst in Segmente geschnitten, später gerollt und schließlich zusammengeschweißt. Ein Stahlurm ist sehr schwer und wiegt bei einer Multimegawatt-Windkraftanlage von 120 Meter Höhe zwischen ca. 250 Tonnen.

Datum: 24.03.2014  
Seite: 18

IGW Grundlagen der Windenergie

[www.ews-consulting.at](http://www.ews-consulting.at)

## Strukturkomponenten



### Hybridturm



Datum: 24.03.2014  
Seite: 19

IGW Grundlagen der Windenergie

[www.ews-consulting.at](http://www.ews-consulting.at)

## Strukturkomponenten



### Neue Turmkonzepte



Datum: 24.03.2014  
Seite: 20

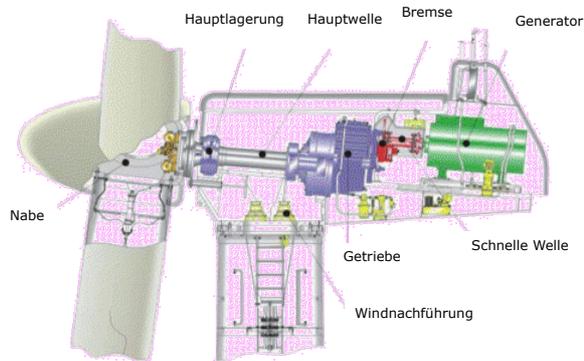
IGW Grundlagen der Windenergie

[www.ews-consulting.at](http://www.ews-consulting.at)

## Strukturkomponenten



- Rotorblatt
- Pitchantrieb
- Gussnabe
- Hauptlagerung mit Wälzlagern
- Hauptwelle
- Getriebe
- Bremse
- Schnelle Welle
- Generator
- Luftkühlung
- Maschinenträger aus Guss
- Windnachführung
- Windmesseinheit
- Stahlrohrturm



Datum: 24.03.2014  
Seite: 21

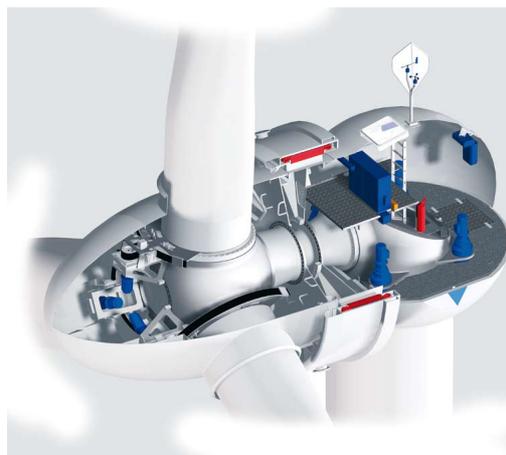
IGW Grundlagen der Windenergie

[www.ews-consulting.at](http://www.ews-consulting.at)

## Strukturkomponenten



- Rotorblatt
- Pitchantrieb (mit Zahnriemen)
- Gussnabe
- Hauptlagerung mit Wälzlagern
- Generator mit Permanentmagneten
- Passive Luftkühlung
- Maschinenträger aus Guss
- Windnachführung (Azimutantrieb)
- Windmesseinheit
- Stahlrohrturm



Datum: 24.03.2014  
Seite: 22

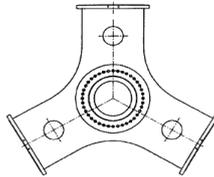
IGW Grundlagen der Windenergie

[www.ews-consulting.at](http://www.ews-consulting.at)

## Strukturkomponenten



Nabe



Wind turbine hub



Datum: 24.03.2014  
Seite: 23

IGW Grundlagen der Windenergie

[www.ews-consulting.at](http://www.ews-consulting.at)

## Strukturkomponenten



Rotorblätter



Rotorblätter aus Glasfaser oder Carbonfaser

Datum: 24.03.2014  
Seite: 24

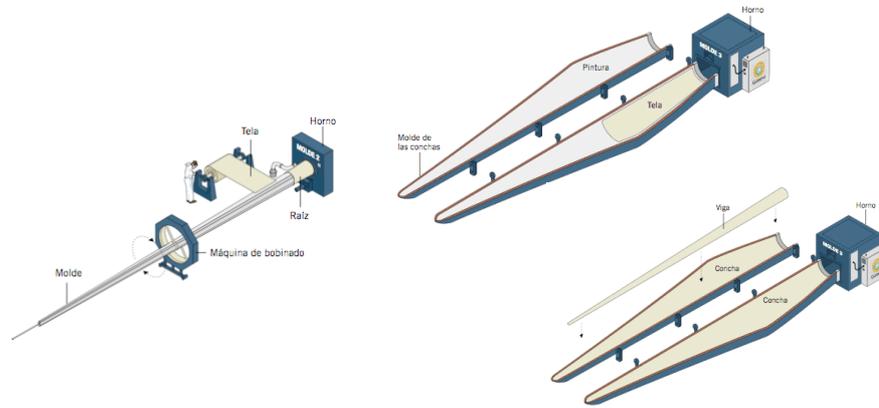
IGW Grundlagen der Windenergie

[www.ews-consulting.at](http://www.ews-consulting.at)

## Strukturkomponenten



### Rotorblätter



Herstellung der Rotorblätter (Beispiel Gamesa)

Datum: 24.03.2014  
Seite: 25

IGW Grundlagen der Windenergie

[www.ews-consulting.at](http://www.ews-consulting.at)

## Strukturkomponenten



### Rotorblätter



Herstellung der Rotorblätter

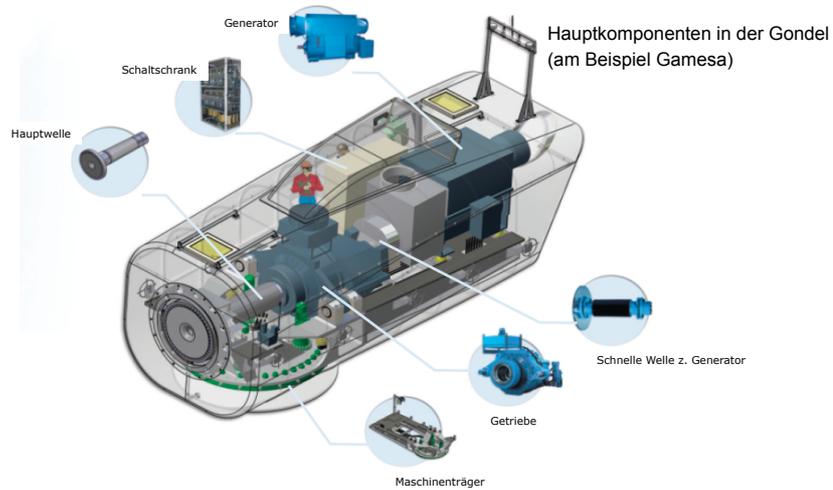
Datum: 24.03.2014  
Seite: 26

IGW Grundlagen der Windenergie

[www.ews-consulting.at](http://www.ews-consulting.at)



## Strukturkomponenten



Datum: 24.03.2014  
Seite: 29

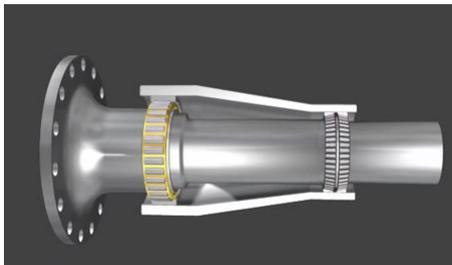
IGW Grundlagen der Windenergie

[www.ews-consulting.at](http://www.ews-consulting.at)

## Strukturkomponenten



### Antriebsstrang



### Aufgelöste Bauform

Aufgelöste Bauformen besitzen eine separate Lagerung mit zwei Lagern (Fest- und Loslager) und einem frei zugänglichen Getriebe, das sowohl auf der langsamen Welle als auch auf der schnellen Welle mit je einer Kupplung eingebunden wird.

### Festlager

#### Zweireihiges FAG-Kegelrollenlager

- Hohe Lebensdauer
- Hohe Betriebssicherheit und kurze Montagezeit durch voreingestellte Lagerluft
- Lagerluft und Druckwinkel optimal einstellbar
- Enge axiale Führung des Rotors
- Kompakte Lagerausführung
- Große Lagertragfähigkeit
- Hohe Steifigkeit



Quelle: BWE und **SCHAEFFLER**

Datum: 24.03.2014  
Seite: 30

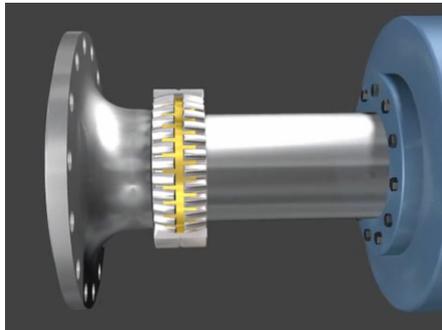
IGW Grundlagen der Windenergie

[www.ews-consulting.at](http://www.ews-consulting.at)

## Strukturkomponenten



### Antriebsstrang



#### Teilintegrierte Bauweise

Von teilintegrierter Bauweise spricht man, wenn ein Teil der Lagerung in das Getriebe integriert wird und über das Getriebegehäuse abgestützt wird. Dies ist die sogenannte Dreipunktlagerung

#### Festlager

##### FAG-Pendelrollenlager

- Hohe Lebensdauer
- Geeignet für schwerste Beanspruchung
- Ausgleich geringer Fluchtfehler und Wellenbiegungen
- Einfache Nachschmierung



Quelle: BWE und SCHAEFFLER

Datum: 24.03.2014  
Seite: 31

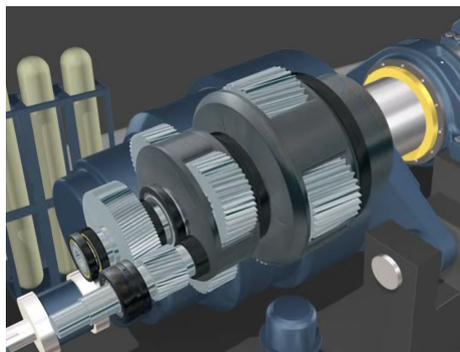
IGW Grundlagen der Windenergie

[www.ews-consulting.at](http://www.ews-consulting.at)

## Strukturkomponenten



### Getriebe



Die große Mehrheit der Windkraftanlagenhersteller setzt Getriebe ein, welche die Drehzahl und das Drehmoment zwischen Windrotor und Generator verändern. Die Rotorwelle dreht sich langsam mit einem sehr hohen Drehmoment, und der Generator sehr schnell mit einem niedrigen Drehmoment.

Die Rotordrehzahl einer Multimegawatt-Windkraftanlage hängt von der Schnelllaufzahl ab und liegt im Bereich sechs bis 20 Umdrehung pro Minute. Um einen guten Wirkungsgrad zu erreichen und um sich an die Netzfrequenz (üblicherweise 50 Hz oder 60 Hz) anpassen zu können und auch, um die Baugröße des Generators zu verkleinern, muss die Generatorzahl viel schneller sein als die der Rotorwelle. Die Generatorzahl liegt im Bereich zwischen 900 und 2000 Umdrehung pro Minute.

Die Baugröße eines Getriebes wird durch das notwendige Übersetzungsverhältnis zwischen Rotor und Generatorwelle bestimmt. Um Übersetzungsverhältnisse in dieser Größenordnung zu realisieren werden mehrere Getriebestufen in Reihe montiert. Für große Anlagen sind Übersetzungsverhältnisse von circa 1:100 üblich.

Der Wirkungsgrad des Getriebes einer Windkraftanlage ist sehr hoch (um 98 Prozent).

Quelle: BWE und SCHAEFFLER

Datum: 24.03.2014  
Seite: 32

IGW Grundlagen der Windenergie

[www.ews-consulting.at](http://www.ews-consulting.at)

## Strukturkomponenten



### Bremse

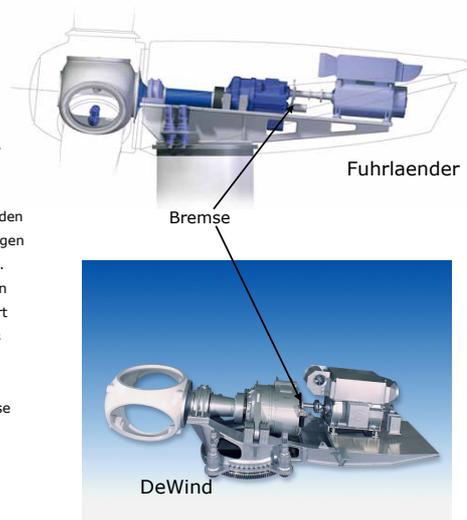
Eine Windkraftanlage wird hauptsächlich aerodynamisch über Verstellen der Flügel gebremst. Das Verstellen eines einzelnen Flügels reicht aus, um die Windkraftanlage komplett zu bremsen.

Bei Pitch Anlagen wird dies durch verdrehen des ganzen Rotorblattes realisiert.

Zusätzlich findet man mechanische Scheibenbremsen. Diese werden lediglich zur Fixierung der Rotorblätter, sowie zur Not-Abschaltungen und zum manuellen Stopp bei Wartung und Reparatur eingesetzt.

Bei kleineren Anlagen kann die Bremse sowohl auf der langsamen Welle sowie auf der schnellen Welle (nach dem Getriebe) montiert sein. Der Vorteil der Bremsung auf der langsamen Welle ist, dass das Getriebe im Bremsvorgang nicht belastet wird.

Bei größeren Anlagen (mehr als 600 kW Nennleistung) ist das Moment auf der langsamen Welle zu groß, daher muss die Bremse generatorseitig auf der schnellen Welle, welche ein kleineres Drehmoment hat, montiert werden



Quelle: BWE

Datum: 24.03.2014  
Seite: 33

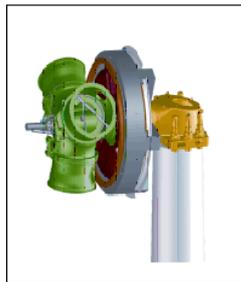
IGW Grundlagen der Windenergie

[www.ews-consulting.at](http://www.ews-consulting.at)

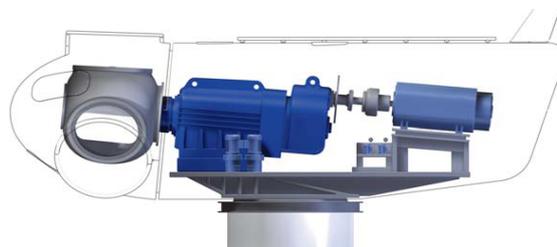
## Strukturkomponenten



### Generator



Rotornabe und Ringgenerator  
(ohne Getriebe)



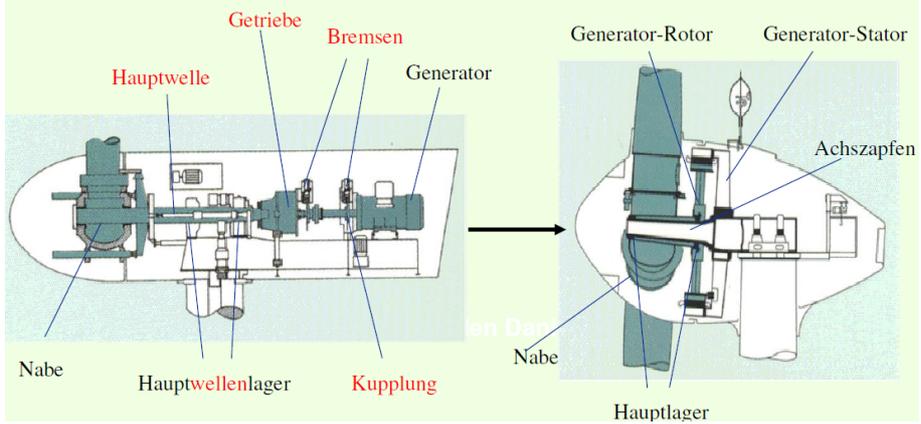
Rotornabe – Getriebe – Asynchron Generator

Datum: 24.03.2014  
Seite: 34

IGW Grundlagen der Windenergie

[www.ews-consulting.at](http://www.ews-consulting.at)

Das Getriebekonzept und das getriebelose Konzept im Komponentenvergleich

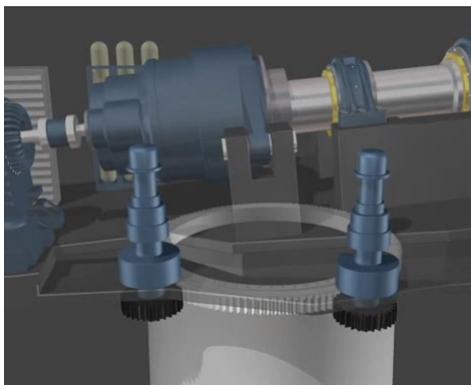


Datum: 24.03.2014  
Seite: 35

IGW Grundlagen der Windenergie

www.ews-consulting.at

Windnachführung



Windenergieanlagen müssen ihre Ausrichtung optimal dem Wind anpassen, um extreme Belastungen zu vermeiden und wirtschaftlich zu arbeiten.

Moderne Windkraftanlagen werden durch aktive Systeme mit Azimutmotoren automatisch nachgeführt.

Quelle: www.windpower.org und **SCHAEFFLER**

Datum: 24.03.2014  
Seite: 36

IGW Grundlagen der Windenergie

www.ews-consulting.at

## Zufahrtswege



### Transport der Komponenten

Folgende Fahrzeugarten, Frequenzen und Lasten sind typisch für eine Baustelle und bei der Planung zu berücksichtigen:

a.) Fundamentbau und Betonturm:

MM-59 bis 100m: ca. 45 Betonfahrzeuge sowie diverse Lieferfahrzeuge für Bewehrungsstahl, Fundamenteinbauteil, Verschalungen etc.

3.xM-80/100m: bis zu 80 Betonfahrzeuge sowie diverse Lieferfahrzeuge für Bewehrungsstahl, Fundamenteinbauteil, Verschalungen, etc.

3.xM-128m: bis zu 100 Betonfahrzeuge sowie diverse Lieferfahrzeuge für Bewehrungsstahl, Fundamenteinbauteil, Verschalungen sowie vorgefertigte Turmelemente etc.

b.) Aufbau und Abbau des Hauptkranes:

MM-59 bis 100m: bis zu ca. 24 Fahrzeuge.

3.xM-80/100m: bis zu ca. 28 Fahrzeuge

3.xM-128m: bis zu ca. 50 Fahrzeuge

c.) Transportfahrzeuge für Komponenten der Windenergieanlage:

MM-59 bis 100m: ca. 8 - 11 Schwerlastfahrzeuge.

3.xM-80/100m: ca. 10-13 Schwerlastfahrzeuge

3.xM-128m: bis zu ca. 60 Schwerlastfahrzeuge

Datum: 24.03.2014  
Seite: 37

IGW Grundlagen der Windenergie

www.ews-consulting.at

## Zufahrtswege



### Transport der Komponenten



Für die Anlieferung der Windkraftanlage inkl. Turm sind ca. 70 Transporte notwendig.

#### Mindestanforderungen an die Zuwegung

Nutzbreite der Fahrbahn	4,00m
Lichte Durchfahrtsbreite	5,50m
Lichte Durchfahrts Höhe	4,80m
Kurvenradius innen	32,50m
Kurvenradius außen	39,00m
Steigungen/ Gefälle bei ungebundener Deckschicht	≤ 7%
Steigungen/ Gefälle bei gebundener Deckschicht	≤ 12%
Seitenneigung der Zuwegung (nur auf geraden Strecken ohne Steigung/Gefälle)	≤ 10%
Seitenneigung der Zuwegung speziell in Kurven und an Steigungen	≤ 1,5%
Bodenfreiheit der Transportfahrzeuge	0,10m

Datum: 24.03.2014  
Seite: 38

IGW Grundlagen der Windenergie

www.ews-consulting.at

## Zufahrtswege

### Transport der Komponenten



Datum: 24.03.2014  
Seite: 39

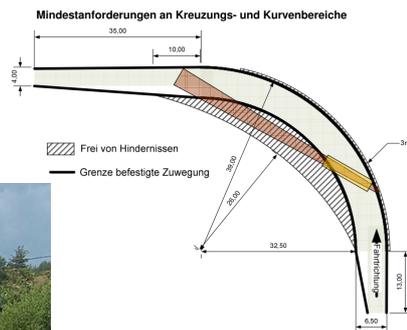
IGW Grundlagen der Windenergie

www.ews-consulting.at

## Zufahrtswege

### Transport der Komponenten

#### Kurvenradien



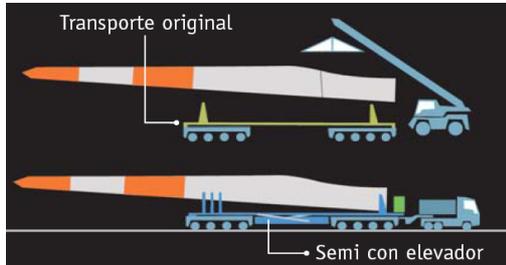
Datum: 24.03.2014  
Seite: 40

IGW Grundlagen der Windenergie

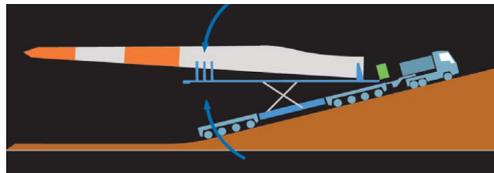
www.ews-consulting.at

## Zufahrtswege

Transport der Komponenten



Transport von Turbinenteilen mit Überlänge und extremen Gewichten



Datum: 24.03.2014  
Seite: 41

IGW Grundlagen der Windenergie

[www.ews-consulting.at](http://www.ews-consulting.at)

## Zufahrtswege

Transport der Komponenten



Datum: 24.03.2014  
Seite: 42

IGW Grundlagen der Windenergie

[www.ews-consulting.at](http://www.ews-consulting.at)

## Zufahrtswege - Besondere Lösungen



Transport der Komponenten



Datum: 24.03.2014  
Seite: 43

IGW Grundlagen der Windenergie

[www.ews-consulting.at](http://www.ews-consulting.at)

## Zufahrtswege - Besondere Lösungen



Transport der Komponenten



Datum: 24.03.2014  
Seite: 44

IGW Grundlagen der Windenergie

[www.ews-consulting.at](http://www.ews-consulting.at)

Wir denken  
in Generationen.



**Energiewerkstatt Consulting GmbH** · Katztal 37 · 5222 Munderfing · Austria  
T. +43 (0)7744 20141-0 · F. +43 (0)7744 20141-41  
[office@energiewerkstatt.at](mailto:office@energiewerkstatt.at)

www  EWS