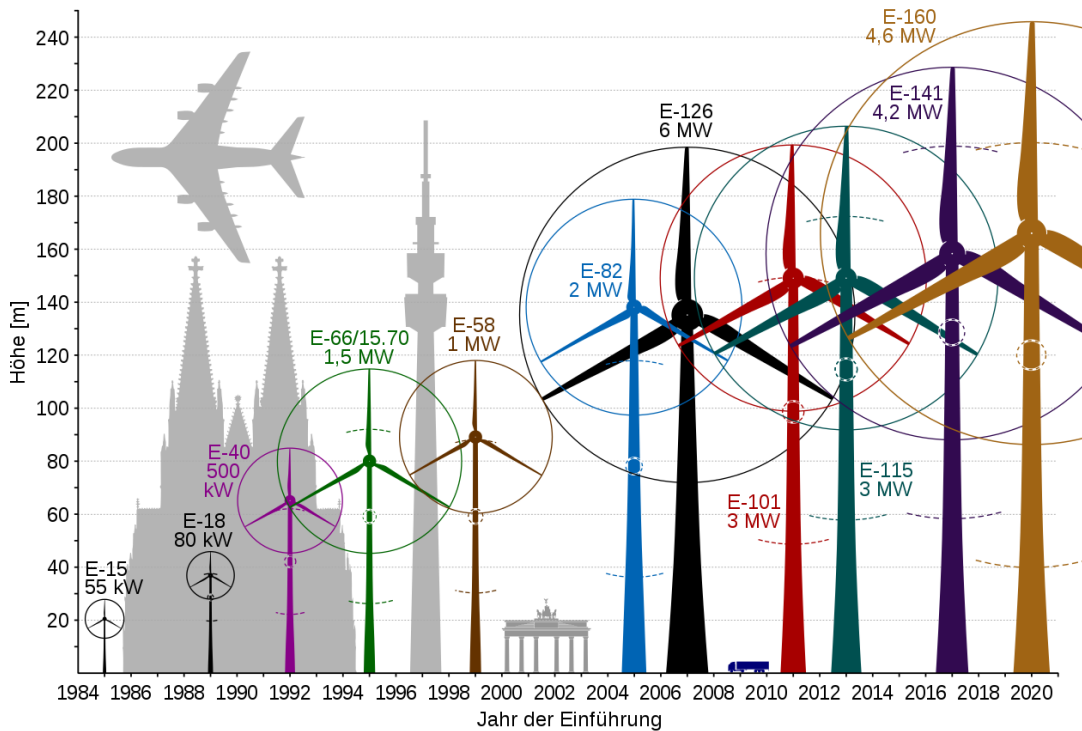


Zur Konstruktion von Windkraftanlagen

Allgemeine Informationen

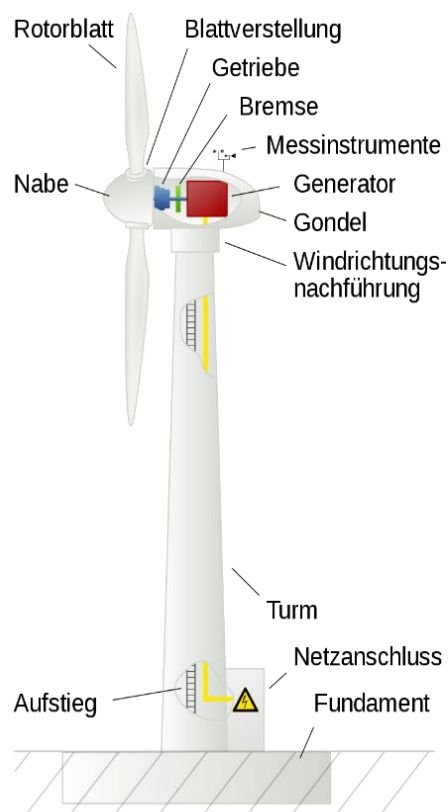
Entwicklung der WEA in den letzten 35 Jahren



In der Schweiz gibt es ca. 60 Windkraftanlagen. Zuletzt wurde auf dem Gotthardpass am 15. Oktober eine Anlage von 11.75 MW eingeweiht. Jahresproduktion 16-20 GWh.

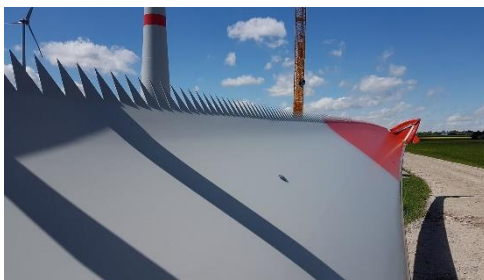
Zur Konstruktion von Windenergieanlagen (WEA)

Die Bauelemente einer WEA



Die Rotorblätter

- Es gibt links und rechtsdrehende Rotordrehachsen
- Heute in der Regel Drehrichtung im Uhrzeigersinn aus Sicht des ankommenden Windes
- Heute fast ausnahmslos 3 Rotorblätter
- In der Regel aus glasfaserverstärktem Kunststoff in Sandwichbauweise.
- Bei langen Rotorblättern kommen auch Kohlenstofffasern zum Einsatz
- Rotorblattlänge Onshore ca. 65m
- Rotorblattlänge Offshore ca. 85m
- Gewicht ca. 25 Tonnen pro Blatt
- Vortex-Generatoren und Zackenbänder zur Ertragssteigerung und Geräuschreduktion.



Zackenbänder

- Rotorblattenteisungssysteme zur Verhinderung von Eisbildung
- Überlastregelung über Stallregelung (bei kleinen Anlagen) oder Pitchregelung
 - Stallregelung: Leistungsbegrenzung über Strömungsabriss
 - Pitch-Regelung: Rotorblätter werden aus dem Windgedreht



Rotordurchmesser 101m
Nabenhöhe 99m
3 MW Nennleistung



Pitch-Regelung



Rotornabe



Strassentransport eines Rotorblattes

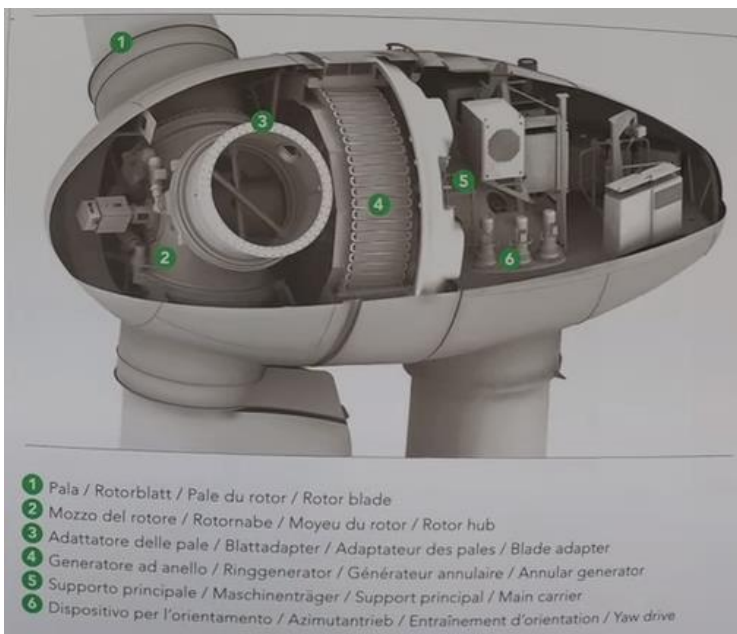


zusammengebaute
Rotorblätter vor Anhebung auf Turm

Stromerzeugung



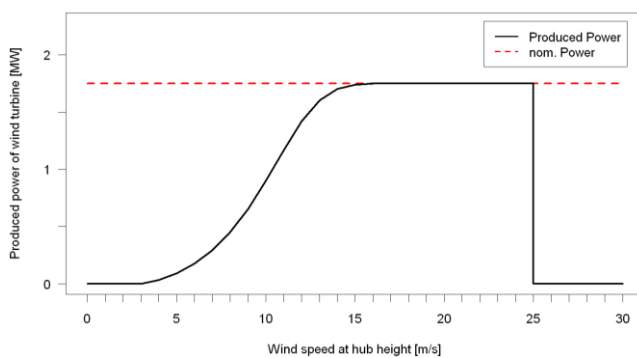
Eibau eines Getriebes mit Generator in die Gondel



Innenleben einer Gondel

➤ Stromproduktion in Abhängigkeit der Windgeschwindigkeit

Power production of a typical wind turbine



- Lebensdauer in der Regel auf 20 Jahre ausgelegt, realistisch 30 Jahre
- Umweltbundesamt Deutschland erwartet pro Jahr bis zu 70'000t zu recycelnde Faserverbundwerkstoffe → Lücke der Rückbaufinanzierung 300 Mio Eur für 2038

Konstruktion des Turmes Fundament

- In der Regel Flachfundation
- Gleichgewicht über Fundamentmasse
- Allenfalls auch Pfählung



Der Schaft

- Es kommen 3 Materialien zur Anwendung
 - Beton
 - Stal
 - Holz
- Heutige Standardbauweise ist eine Kombination von Beton und Stahl (Hybridbauweise)
- Ab Fundament werden die ersten 100 – 150m in Beton gebaut
- In der Regel vorfabrizierte Betonhalb- oder Drittelschalen für Elementhöhen von ca. 4m für den Transport
- Auf Baustelle zu Ringen von ca. 4m Höhe zusammengebaut, Ringdurchmesser am Fuss ca. 1/15 der Nabhöhe
- Bis zu 120t schwere Ringe werden mit Raupenkränen angehoben und aufeinander gestapelt.



- Betonringe werden mit Vorspannkabeln vorgespannt.



Etappen des Schaftaufbaus



- Auf die Betonschafte werden 2 – 3 bis zu 30m lange Stahlrohrstücke aufgesetzt.
- Die Masten sind begehbar und im Innern mit einer Steigleiter versehen.



- Bei hohen Windgeschwindigkeiten schwankt der Turm bis zu 1 - 1.5m
- In Zukunft auch mehr Türme in Holz
 - Prototyp 2012 WEA Hannover Marienwerder
 - 100m hoher Holzturm in stabiler Achteckform
 - Wandstärke ca. 30cm in Sperrholz
 - Leistung 1.5 MW

Gesellschaftliche Akzeptanz von Windkraftanlagen, Problempunkte

- Erneuerbare Energie: Umfrage 2011 in 24 Ländern ergab 93% Zustimmung zu Windkraftanlagen, ausser man ist selbst betroffen
- Gesundheit: WEA ergeben gemäss einer Metastudie eine «sehr geringe» Gefährdung der Gesundheit
- Schall: Typische Werte liegen bei ca. 95 dB und mehr, Grenzwert für Wohn- und Gewerbegebiet 40 – 50 dB → Abstände zu Wohn- und Gewerbegebiete, schallreduzierende Betriebszustände, WHO empfiehlt, dass im 24h-Durchschnitt der Wert von 45 dB nicht überschritten wird
- Schattenwurf: Problem sind die Helligkeitsschwankungen infolge der drehenden Rotorblätter (flattender Schatten, Diskoeffekt) → Schattenwurfregelung mit zeitweiser Abschaltung
- Stroboskopeffekt: (vgl. rückwärtslaufende Räder in Filmen)
- Lichtemissionen: Hinderniskennzeichnung für den Flugverkehr erfordert Kennleuchten auf der Gondel → bedarfsgesteuerte Befuerung, Steuerung über Radargeräte
- Landschaftsbild: ästhetische Bewertung → subjektives Empfinden, Gewöhnung, gesellschaftliche Einstellung, Landschaftsideale → Landschaftsverhandlung

➤ Eisbildung, Eisabwurf



Sicherheitsabstand = 1.5 x (Turmhöhe + Rotordurchmesser)

➤ Tierschutz



➤ Immobilienpreise: befürchtete Einbußen bei Immobilienpreisen von Objekten in unmittelbarer Nähe von WEA werden durch wissenschaftliche Untersuchungen widerlegt

➤ Tourismus: negativer Einfluss auf Fremdenverkehr und fallende Übernachtungszahlen können bisher nicht wissenschaftlich nachgewiesen werden



Windenergie in der Schweiz

In der Schweiz gibt es (Stand 2020) knapp 40 Windkraft-Grossanlagen. Der grösste Windpark befindet sich auf dem Mont Crosin im Berner Jura. 16 Windturbinen mit einer installierten Leistung von 37.2 MW produzieren pro Jahr ca. 87 GWh Strom.

Die 2012/13 errichtete [Windenergieanlage Calandawind](#) (Nabenhöhe 119 Meter) ist die erste 3-MW-WKA der Schweiz.

Standort	Baujahr	Leistung	Produktion/Jahr	Anlagentyp	Betreiber	zum Zeitpunkt der Errichtung grösste Windkraftanlage der Schweiz
Haldenstein	2012–2013	3 MW	4,372 GWh	Vestas V112-3.0 MW	calandawind	

Im Oktober 2020 wurde der Windpark auf dem Gotthardpass (2130 m.ü.M) eröffnet mit folgenden Kennwerten (im Alpenraum grösste Windräder)

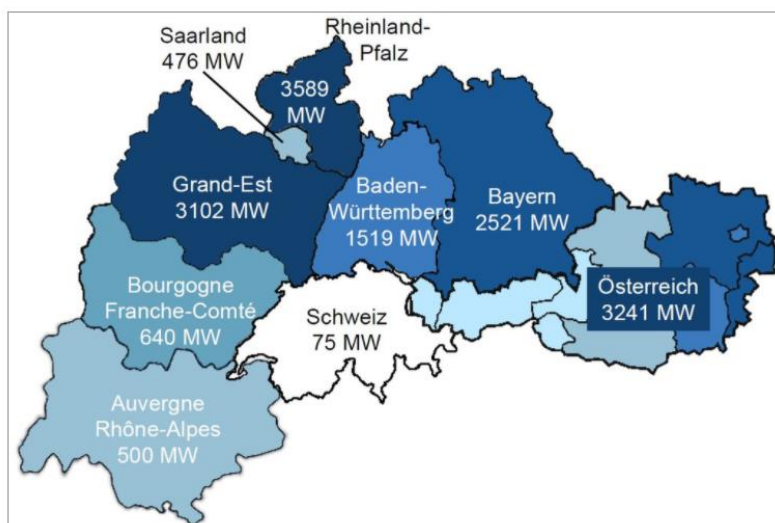
Standort	Baujahr	Leistung	Produktion/Jahr	Anlagentyp	Betreiber
Gotthardpass	2018–2020	11.75 MW	16-20 GWh		Azienda Elettrica Ticinese (AET) Société industrielle de Genève (SIG)

4 Windenergieanlagen auf dem Gütsch (2332 m.ü.M), 2005 Inbetriebnahme erste Anlage, zweite und dritte seit 2010 und vierte seit 2012. (Jahresleistung 2019: 6.1 GWh)

Der höchstgelegene Windpark in Europa ist der Windpark Gries mit vier Windrädern zwischen dem Nufenenpass und dem Griespass (2500 m.ü.M.). (Jahresleistung 2019: 6.8 GWh)

Total installierte Windenergieleistung in der Schweiz, Stand 2020: 87 MW

Stromproduktion 2019: 146 GWh (0.3% des Strombedarfs, Ziel wären 7%)



Installierte Windenergieleistung in Nachbarländern (Schweiz ohne Gotthard)

Windenergie in Europa erreicht ca. 15% des Strombedarfs

Kenndaten Windpark Verenafohren

Betreiber	Hegauwind GmbH & Co. KG – Verenafohren
Planung	Herbst 2012 – Frühjahr 2016
Bauzeit	Mai 2016 – Juni 2017
Inbetriebnahme	Sommer 2017
Betriebsdauer	20 Jahre
Investitionsvolumen	16,3 Mio. €
Anlagentyp	Nordex N-131 / 3300
Gesamthöhe	199,5 m
Nabenhöhe	134 m
Rotordurchmesser	131 m
Leistungsprognose	20 Mio. kWh pro Jahr* <small>*entspricht bilanziell dem privaten Stromverbrauch von rund 20.000 Menschen</small>
Nennleistung	3 × 3.300 kW
Nenn Drehzahl	10,9 U/min
Blatt-Spitzen geschwindigkeit	74,8 m/s
Einschalt-Windgeschwindigkeit	3 m/s
Abschalt-Windgeschwindigkeit	20 m/s
Generator	3-stufiges Getriebe Planeten-Planeten-Stirnrad
Turm	Hybrid; Beton / Stahl
Aktuelle Informationen	www.verenafohren.de



Anlagentyp: Nordex N131/3300

Jahresproduktion:
 Betriebsjahr 2018: 16.8 GWh
 Betriebsjahr 2019: 20.3 GWh
 (Zielwert beinahe erreicht)



Rotorblätter:
 65m Länge, 14 to schwer



Fundament
 Durchmesser 22m
 Höhe 3.50m
 Betonmenge: 600 m³

Sonderausstattung: Schattenwurfkontrolle
 Erkennung von Eisbildung an Rotorblätter

→ Drehzahlreduktion
 → Eiswarnleuchten für Spaziergänger

