



- Ursprung der Windenergie
- Die Eigenschaften von Windenergie
- Das Potential (weltweit, Europa, CH)
- Wie funktioniert eine Windturbine?
- Geschichte der Windnutzung

Energiewende in der Schweiz

Liebe Teilnehmerinnen und Teilnehmer, wir haben in vorangehenden Lektionen gesehen, dass Windenergie einen festen Platz in den verschiedenen Energieszenarien unserer Regierung besetzt. Dieser Kurs zur Windenergie ist zweigeteilt. In diesem ersten Teil kommen wir auf den Ursprung der Windenergie zurück und wir werden die Eigenschaften und das Potential dieser erneuerbaren Energie erläutern. Dazu werden wir erklären, wie Windenergie genutzt werden kann und wir werden einen kurzen Blick in die Geschichte der Windenergie werfen.

Notes

Summary

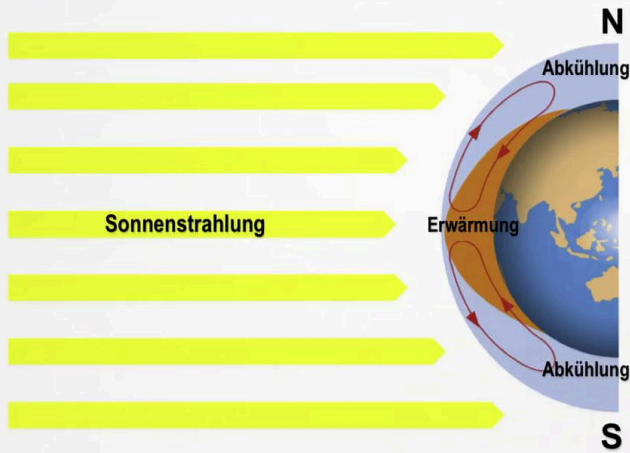


0m 04s

Ursprung der Windenergie

Vereinfachtes Modell der atmosphärischen Zirkulation

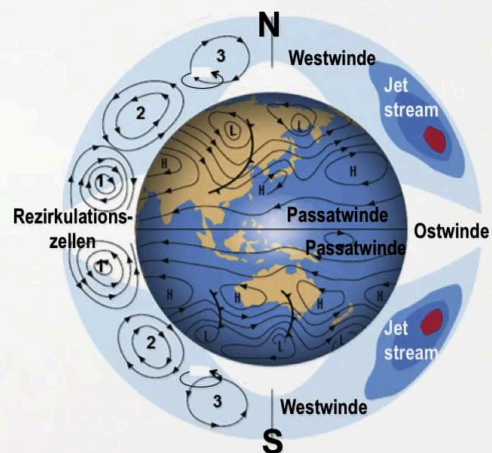
Erdrotation und Oberflächenbeschaffenheit *nicht* berücksichtigt



Quelle: Wichita.edu "Planetary atmospheres"

Realistischeres Modell der atmosphärischen Zirkulation

Erdrotation und Oberflächenbeschaffenheit berücksichtigt



Energiewende in der Schweiz

In der Lektion 14 hatten wir gesehen, dass die Sonnenenergie die treibende Kraft hinter den atmosphärischen Winden ist. Dem vereinfachten Modell, hier auf der linken Seite, können wir entnehmen, dass die Luftbewegungen durch eine, je nach Breitengrad, unterschiedliche Sonneneinstrahlung hervorgerufen werden. Dem vereinfachten Modell, hier auf der linken Seite, können wir entnehmen, dass die Luftbewegungen durch eine, je nach Breitengrad, unterschiedliche Intensität der Sonneneinstrahlung hervorgerufen werden. Um den Äquator wärmt sich die Luft auf, steigt auf, weicht gegen die beiden Pole ab, kühlt sich ab, wo sie runter fällt und so den Kreislauf wieder schließt. Andere Phänomene, wie die Erdrotation und die Oberflächenbeschaffenheit, beeinflussen natürlich die Windbewegungen ebenfalls und führen zu einem etwas komplexeren Modell, wie hier auf der rechten Seite dargestellt. Zum Beispiel die Corioliskraft, die aus der Erdrotation und der Windgeschwindigkeit resultiert, drückt die Winde auf der nördlichen Hemisphäre nach rechts und auf der Südhalbkugel nach links ab.

Notes

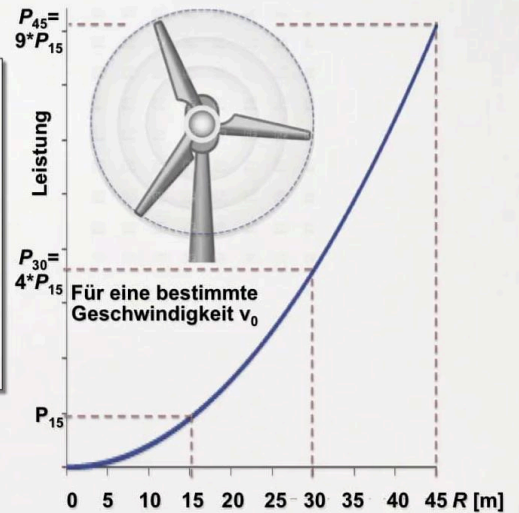
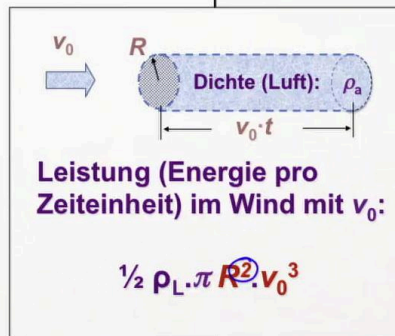
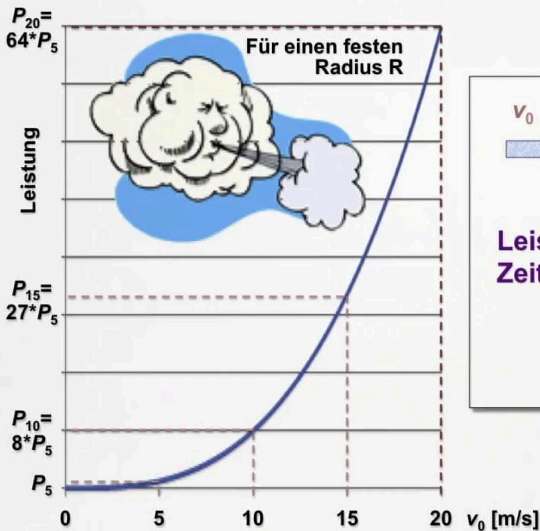
Summary



Die Energie in einem Windschlauch ändert mit ...

... der Geschwindigkeit hoch 3

... dem Propellerdurchmesser im Quadrat



Die Energie, die in einem Luftstrom enthalten ist, skaliert mit der Geschwindigkeit hoch 3. Dieser Zusammenhang wird hier im Diagramm links dargestellt, wo wir hier unten die Windgeschwindigkeit in m/sec angeben und hier auf der vertikalen Achse, geben wir die entsprechende Windenergie oder die Windleistung an. Das heißt, wenn die Geschwindigkeit von 5 auf 10 m/sec verdoppelt wird, dann nimmt die Energie um einen Faktor 8 zu. Wenn die Geschwindigkeit von 5 auf 15 m/sec verdreifacht wird, nimmt die Energie um einen Faktor 27 zu. Diese sehr starke Abhängigkeit der Energie mit der Windgeschwindigkeit, muss natürlich bei der Ausnutzung von Windenergie berücksichtigt werden. Mit dieser Formel hier, wird dieser kubische Zusammenhang mathematisch dargestellt. Auf der linken Seite hier, stellen wir den Zusammenhang zwischen der Energie und dem Durchmesser eines Windrades dar. Die Leistung, die aus einer Windturbine umgesetzt werden kann, skaliert mit ihrem Radius im Quadrat.

Notes

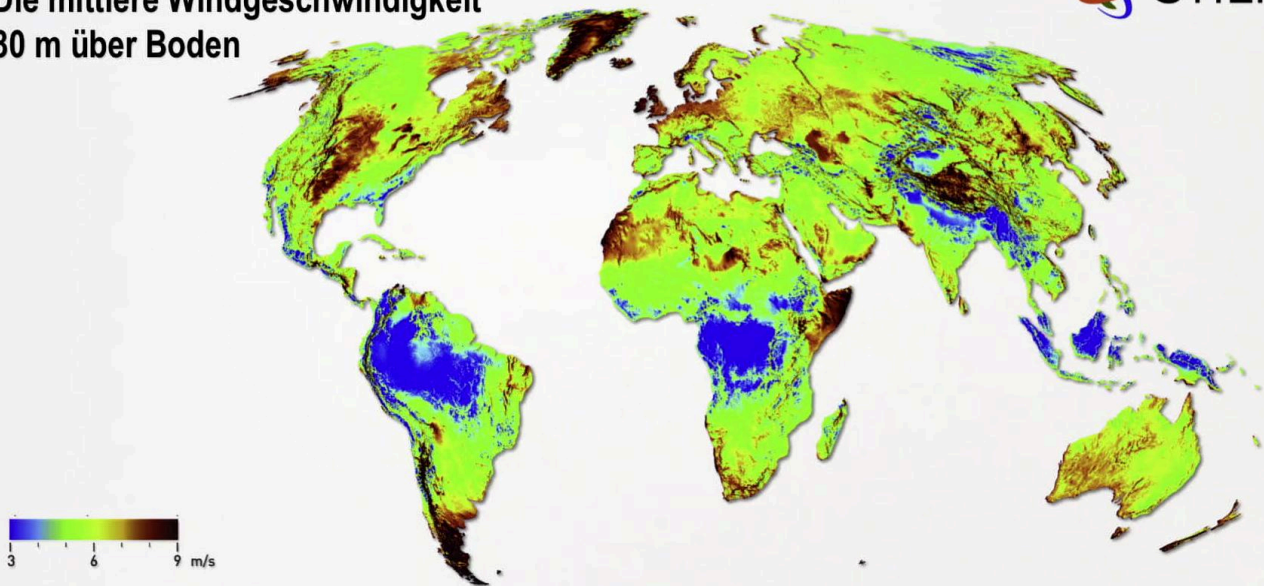
Summary



Das weltweite Potential von Windenergie



Die mittlere Windgeschwindigkeit
80 m über Boden



Quelle: https://dupontconsulting.files.wordpress.com/2012/01/3tier_5km_global_wind_speed.jpg

Energiewende in der Schweiz

Da die Winde örtlich sehr stark voneinander abweichen, ist natürlich auch das Potential von Region zu Region auf der Erde sehr unterschiedlich. Die dunkelroten Flächen auf dieser Weltkarte zeigen die Gebiete mit dem größten Potential auf, wo die Winde im Schnitt mit 9 m/sec in 80 Metern über dem Boden blasen. Diese Regionen mit hohem Potential sind vor allem in Grönland, in der Mitte von Nordamerika, in Patagonien, im Süden von Südamerika, an den Küsten im Norden Europas, in Somalia auf dem afrikanischen und im Himalaja auf dem asiatischen Kontinent zu finden.

Notes

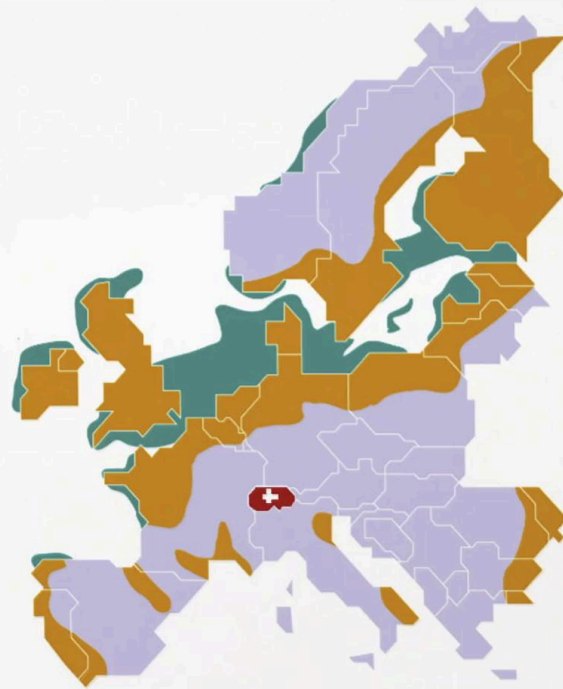
Summary



3m 06s

Das Potential von Windenergie in Europa

75'000 TWh/Jahr
(EU-27)



<http://www.alstom.com/Global/OneAlstomPlus/Power/Documents/Infographics/info-2-energie-eolienne-en-europe-fr.pdf?epslanguage=fr-FR>

Hohes Potential

- Offshore
- Onshore

Energiewende in der Schweiz

Ein Zoom auf Europa zeigt die Regionen mit dem größten Potential in verschiedenen Farben auf. Orange Gebiete befinden sich auf dem Land, grüne auf dem Meer. Interessante Gegenden in Europa sind im portugiesischen Küstengebiet zu finden, in Südfrankreich mit dem Mistral, oder auf der Nord- oder der Ostsee. Leider ist die Schweiz, hier in der Mitte, wie wir sehen können, nicht gerade verwöhnt.

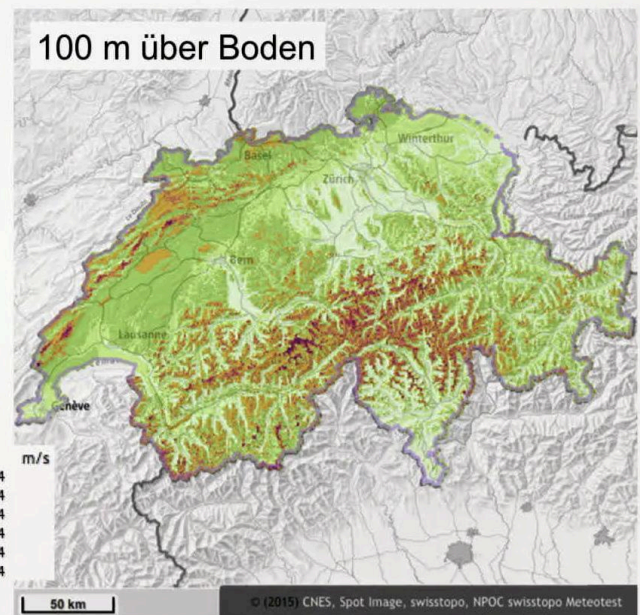
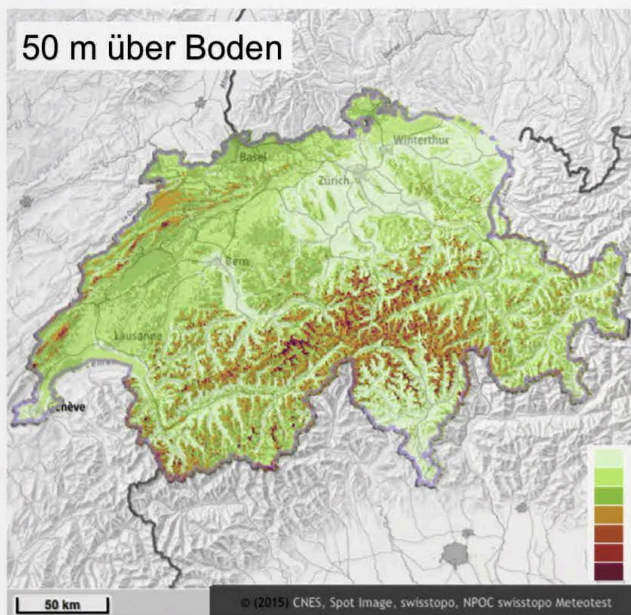
Notes

Summary



3m 49s

Das Potential von Windenergie in der Schweiz



Quelle: <http://www.Wind-data.ch>

Energiewende in der Schweiz

Diese Karte zeigt die interessanten Zonen in der Schweiz, hier mit Windgeschwindigkeiten 50 Meter über Boden gemessen. Interessant für Windenergie wird es auf den Jura Höhen zu, in den Alpen oder im Rhonental. Wenn wir nun unsere Windmessgeräte auf 100 m Höhe stemmen, dann ergeben sich weitere interessante Regionen im Seeland und in Jura.

Notes

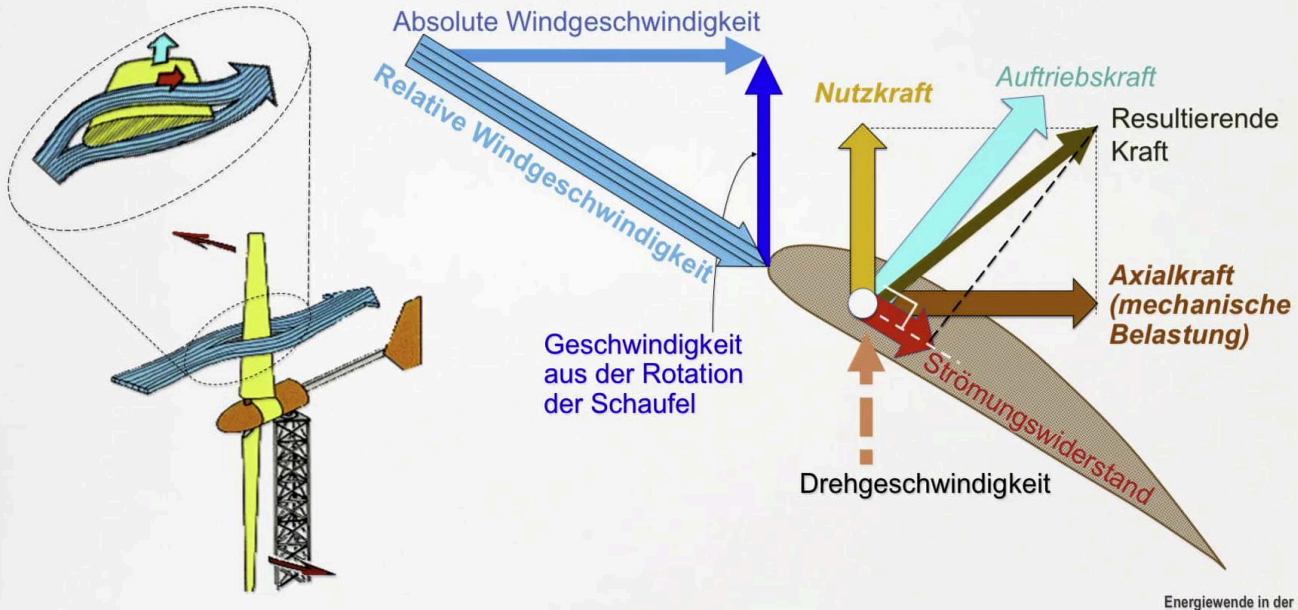
Summary



4m 18s

Wie funktioniert eine Windturbine ?

... nach dem gleichen Prinzip wie ein Flugzeugflügel



Wie funktioniert denn nun eine Windturbine? Durch den Wind angetrieben, drehen sich die Schaufeln in einer senkrechten Ebene zum Wind. Durch diese Bewegung der Schaufeln senkrecht zum Wind, entsteht eine scheinbare Windrichtung, die durch diesen hellblauen, dicken Vektor hier dargestellt wird. Dieser scheinbare Wind umströmt die Schaufel, die wie ein Flugzeugprofil geformt ist. Es entstehen dabei aerodynamische Auftriebs- und Reibungskräfte. Die resultierende Kraft, hier olivgrün dargestellt, weist eine nutzbare Komponenten auf, die ein Drehmoment um die Turbinenachse generiert und die Drehbewegung antreibt. Und es entsteht auch eine axiale Kraftkomponente, die Schaufeln und Mast zusätzlich mechanisch belasten, ohne jedoch Arbeit zu generieren.

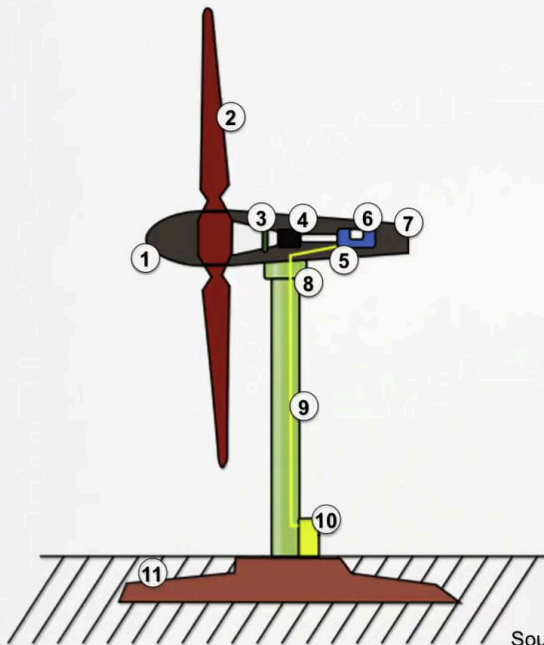
Notes

Summary



4m 44s

Wie funktioniert eine Windturbine ?



Source: Wikipedia

Komponenten einer Windkraftanlage

1. Nabe
2. Rotorblatt
3. Bremse
4. Getriebe
5. Generator
6. Messinstrumente
7. Gondel
8. Windrichtungsnachführung
9. Turm
10. Netzanschluss
11. Fundament

Energiewende in der Schweiz

Auf diesem Schema sehen wir die verschiedenen Hauptkomponenten einer typischen Windturbine. Natürlich braucht es einen Mast auf einem soliden Fundament, um den Rotor möglichst hoch in den Wind zu stellen. Die Rotorschaufeln treiben über Nabe und Getriebe den Generator an, der schließlich die elektrische Leistung in das Netz speist.

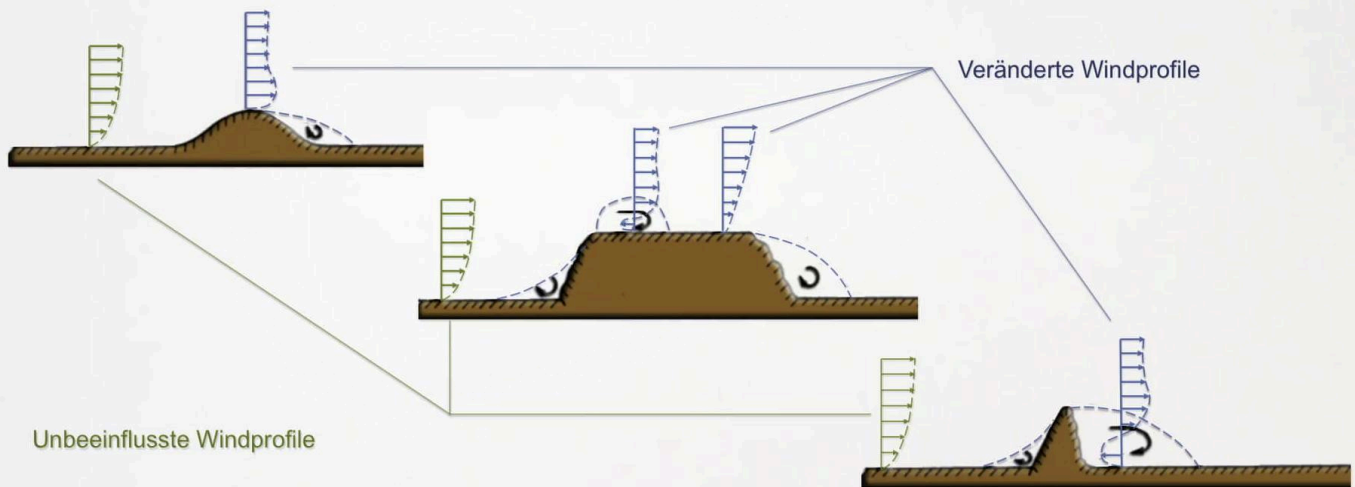
Notes

Summary



Wie funktioniert eine Windturbine ?

Lokale Reliefs können die bodennahen Windprofile beeinflussen



Energiewende in der Schweiz

Das Relief der Erboberfläche kann sowohl die Windgeschwindigkeit wie auch die Windrichtung sehr stark beeinflussen. Um den Rotor einem möglichst homogenen Geschwindigkeitsprofil auszusetzen, ist es daher ratsam, den Rotor möglichst hoch über dem Boden einzurichten.

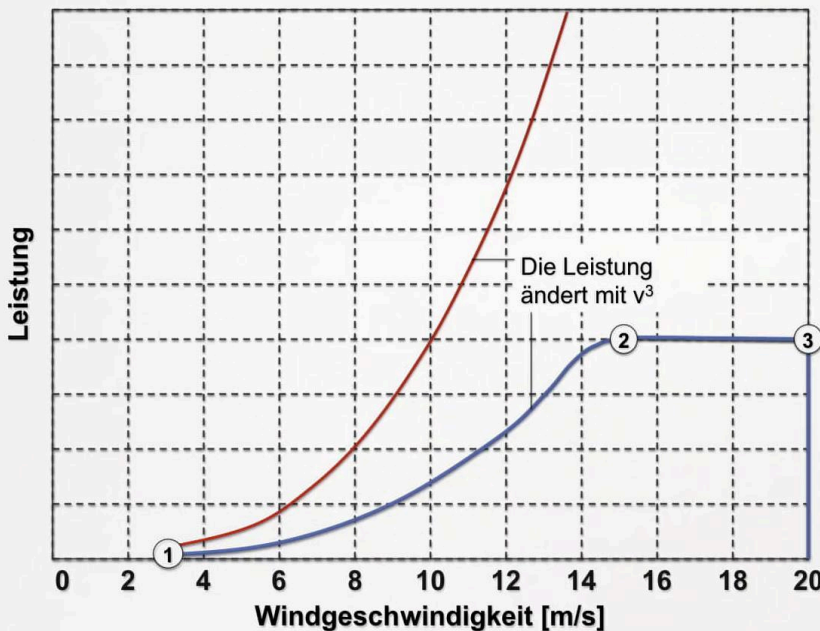
Notes

Summary



6m 10s

Wie funktioniert eine Windturbine ?



Typische Leistungskurve

— Wind
— Windturbine

Energiewende in der Schweiz

In diesem Diagramm zeigen wir, über diese rote Kurve, die Windleistung als Funktion der Windgeschwindigkeit in m/sec. Die blaue Kurve hier stellt die Leistung dar, die über den Windgenerator ins Netz gespeist werden kann. Es wird klar, dass nicht die ganze vom Wind zur Verfügung stehende Leistung in Elektrizität umgewandelt werden kann. Zuerst braucht es überhaupt eine minimale Windgeschwindigkeit, um die internen Reibungen zu überwinden und um den Rotor zum Drehen zu bringen. Mit zunehmendem Wind nimmt die eingespeiste Leistung ebenfalls zu, bis die nominale Leistung, in diesem Punkt hier, erreicht ist. Darüber hinaus kann der Generator nicht mehr Leistung umsetzen, ohne den ganzen Antriebsstrang zu überlasten. Bei sehr starken Wind, in diesem Punkt 3 hier, muss der Windgenerator ganz abgestellt werden, um strukturelle Beschädigungen am System zu verhindern.

Notes

Summary



6m 27s

Die Geschichte der Windkraft

Der Mensch benutzt die Windkraft schon seit sehr langer Zeit



Detail einer ägyptischen Freske

<http://leblogdemonseigneurney.over-blog.com/histoire-de-l-art-l-antiquite-C3%A9>



Windmühle mit vertikaler Achse zum Pumpen von Wasser
(Persien, 7. Jhd)

Energiewende in der Schweiz

Nun etwas zur Geschichte der Windkraft. Windenergie wurden schon sehr früh von unseren Vorfahren genutzt, sei es um Segelbote anzutreiben, wie hier auf einem ägyptischen Fresko dargestellt, oder zum Wasserpumpen, hier auf dem Bild rechts, mittels einer vertikal angeordneten Windturbine.

Notes

Summary



Die Geschichte der Windkraft

Die Niederlanden: ein Land, das zu einem grossen Teil aus Windkraft entstanden ist!

Regionen überhalb dem Meerespiegel (links) und die heute bewohnten Regionen (rechts)



https://fr.wikipedia.org/wiki/Ma%C3%A9trise_des_eaux_aux_Pays-Bas

Energiewende in der Schweiz

Die Niederlande sind bekannt für ihre Windmühlen. Auf dieser Karte sehen wir Gebiete, die natürlich oberhalb der Meeresoberfläche liegen. Diese Karte rechts hier, zeigt Gebiete welche durch Absenkungen des Wasserspiegels, durch Abpumpen, zusätzlich gewonnen wurden, und die auch heute noch unterhalb der Meeresoberfläche liegen.

Notes

Summary



7m 54s

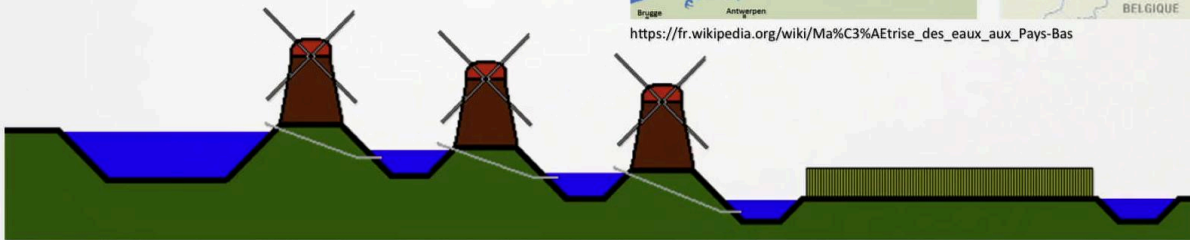
Die Geschichte der Windkraft

Die Niederlanden: ein Land, das zu einem grossen Teil aus Windkraft entstanden ist!

Regionen überhalb dem Meerespiegel (links) und die heute bewohnten Regionen (rechts)



https://fr.wikipedia.org/wiki/Ma%C3%A9trise_des_eaux_aux_Pays-Bas



Seit dem 17 Jhd haben es Windmühlen erlaubt Gelände unter Wasser zu gewinnen (Polder)

<http://www.ladocumentationfrancaise.fr/pages-europe/d000533-pays-bas.-quel-avenir-pour-les-polders-par-servane-gueben-veniere-lydie/article>

Energiewende in der Schweiz

Windangetriebene Pumpen, Windmühlen eben, wurden schon früh in Serie geschaltet, um unter dem Meeresspiegel liegende Gebiete trocken zu legen, um sie schließlich bewirtschaften zu können.

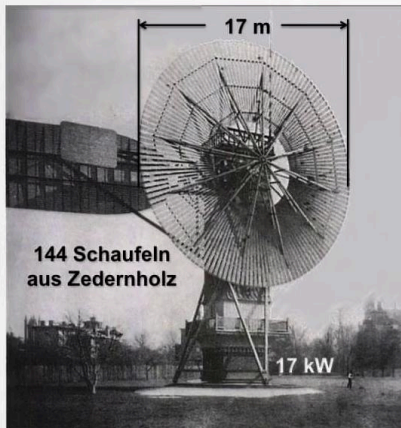
Notes

Summary



Die Geschichte der Windkraft

Elektrizität aus Windenergie



1888 baute Charles F. Brush, ein amerikanischer Wissenschaftler, die erste Windturbine zur Elektrizitätsproduktion

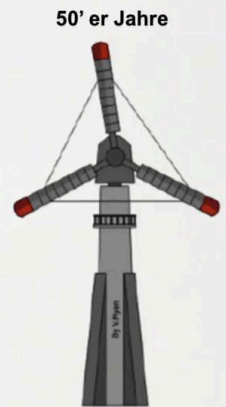


Vor 1930



30' er Jahre

Palmer-Putman Turbine
1,26 MW Elektrizität
Rotordurchmesser: 50 m



50' er Jahre

Gedser Turbine
200 kW Elektrizität
Mit stellbaren Rotorschaufeln
Vorgänger der modernen
Windkraftanlagen

Energiewende in der Schweiz

<http://tpe-eolienne.11vm-serv.net/partie1.php>

Im 19. Jahrhundert wurden dann zum ersten Mal Windräder gebaut, um Elektrizität zu generieren. Mit einem Rotor von 17 Metern Durchmesser und 144 Schaufeln aus Zedernholz, gelang es dem Amerikaner Charles Brush 17 kW elektrische Leistung umzusetzen. Später wurde die Anzahl der Rotorschaufeln reduziert, um sich heute mehrheitlich bei drei Schaufeln einzupendeln. Sicher haben Sie schon einige solcher Turbinen auf Bildern gesehen oder selber schon in der Nähe erleben können.

Notes

Summary



8m 31s

Vorschau zum Teil 2

- Aktuelle und zukünftige Technologien
- Die Schwierigkeiten von Windfarmen
- Die Entwicklung der Windenergie in der Schweiz
- Vor- und Nachteile
- Generelle Zusammenfassung

Energiewende in der Schweiz

Im zweiten Teil dieser Lektion, werden wir auf die aktuellen und zukünftigen Technologien und auf die Schwierigkeiten von Windfarmen eingehen. Dazu werden wir die Vor- und Nachteile dieser erneuerbaren Energieform erläutern und über die Entwicklung von Windenergie in der Schweiz berichten.

Notes

Summary



9m 04s