



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

Energiewende in der Schweiz

In diesem zweiten Teil, werden wir auf die aktuellen und zukünftigen Technologien und auf die technischen Schwierigkeiten von Windfarmen eingehen. Wir werden die Vor- und Nachteile dieser erneuerbaren Energieform erläutern, über die Entwicklung von Windenergie in der Schweiz berichten und mit einer Zusammenfassung der beiden Lektionen zur Windenergie abschließen.

Notes

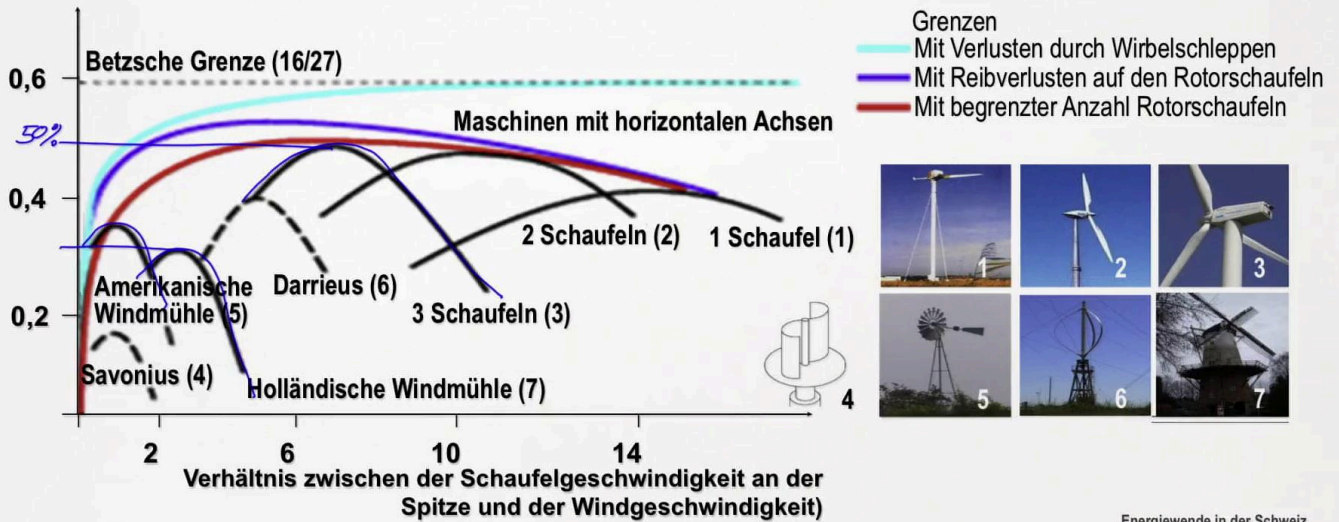
Summary



0m 03s

Der Vergleich zwischen den unterschiedlichen Konzepten

Leistungskoeffizient C_p (Verhältnis zwischen der Turbinenleistung und der Windleistung → »Wirkungsgrad«)



Auf diesem Bild werden die Eigenschaften von mehreren Windturbinenarten zusammengefasst. Wir sehen hier den erreichbaren Wirkungsgrad als Funktion des Verhältnisses zwischen der Umfangsgeschwindigkeit an der Schaufelspitze und der absoluten Windgeschwindigkeit. Man sieht klar, dass eine generelle Grenze, also ein genereller Wirkungsgrad, nicht überschritten werden kann. Diese Grenze wird durch das sg. Betzsche Gesetz gegeben. Dieses Gesetz besagt, dass das maximale Verhältnis zwischen der Nutzenergie und der durch den Wind zur Verfügung stehenden Energie 16/27tel, also 59,3 % nicht übersteigen kann. Alle Technologien haben natürlich durch die internen Reibungsverluste und andere Irreversibilitäten einen geringeren Wirkungsgrad als der maximal erreichbare. Hier sehen wir die langsam drehende holländische Windmühle, mit einem maximalen Wirkungsgrad von etwa 30 %, was eigentlich beträchtlich ist, wenn man berücksichtigt, wie alt die Technologie schon ist. Hier sehen Sie die Kurve von amerikanischen Windrädern, wie Sie sie sicherlich aus Western-Filmen kennen, und schließlich hier, die modernsten Turbinen mit drei Schaufelblättern, die mit knapp 50 % den besten Wirkungsgrad erreichen.

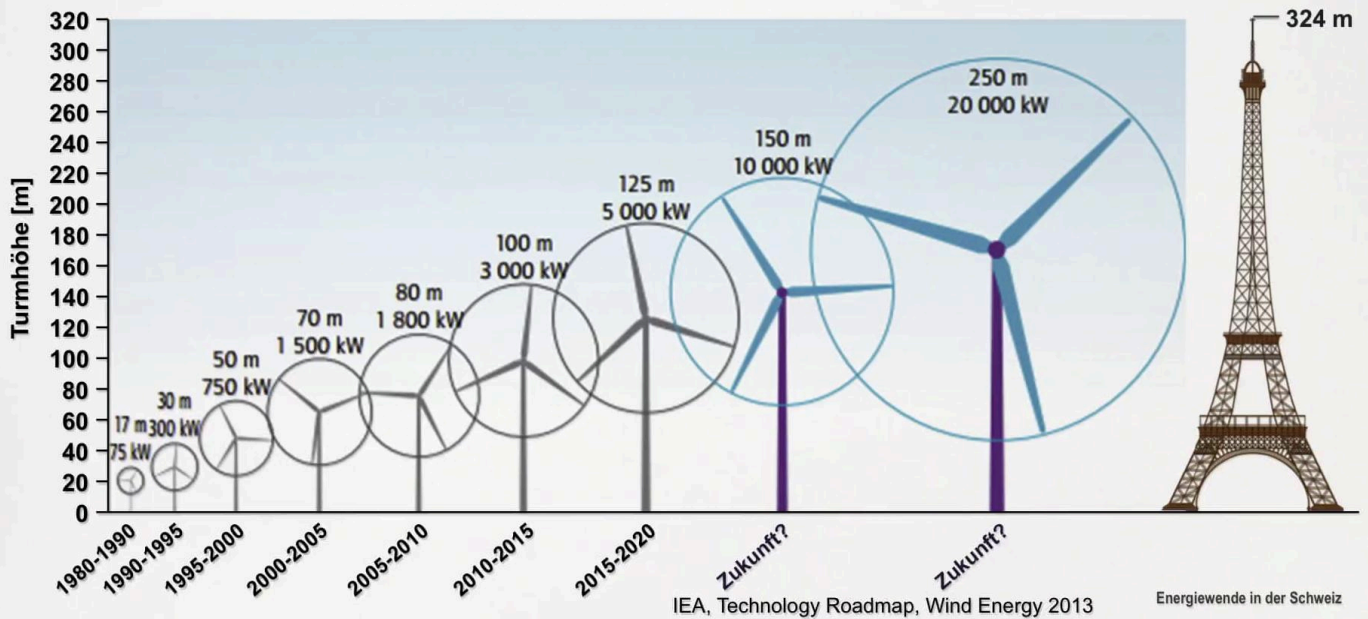
Notes

Summary



Heutige und zukünftige Technologien

Das Rennen nach mehr Leistung durch grössere Rotoren



Wie wir schon in Teil 1 gesehen haben, nimmt die Geschwindigkeit mit der Höhe über dem Boden zu. Da die Windenergie mit der Geschwindigkeit v^3 steigt, macht es natürlich Sinn, die Achse der Turbine möglichst hoch über dem Boden zu installieren. Wir haben auch gesehen, dass die Leistung einer Windturbine mit dem Rotordurchmesser im Quadrat steigt. Aus diesen beiden Gründen, ergibt sich ein Trend hin zu immer größeren Rotoren, die natürlich auch immer höher in den Himmel ragen müssen. In der Schweiz leisten die größten Windturbinen, im bündnerischen Haldenstein und im Rhonetal im Wallis, etwa 3 Megawatt. Die größte bisher installierte Maschine liegt in Dänemark und leistet 7 Megawatt.

Notes

Summary



Das Rennen nach mehr Leistung durch gruppierte Produktion (»Windfarmen«)

Offshore



Onshore



<http://conservativepapers.com/news/2013/05/14/obama-administration-gives-wind-farms-a-pass-on-eagle-deaths-prosecutes-oil-companies/>

Energiewende in der Schweiz

Diese beiden Bilder zeigen, wie heute Windfarmen eingesetzt werden können. Einerseits auf dem Meer, sogenannte Offshore Anlagen, wie hier auf diesem Bild links, wo die Wirbelschleppen der ersten Windturbinen durch Kondensation sichtbar gemacht werden. Auf dem Bild rechts sehen wir eine amerikanische Windfarm, mit relativ kleinen Rotoren auf dem Land, sogenannte Onshore Anlagen. Auf dem Land sind solche Windfarmen natürlich dem lokalen Relief und den entsprechend beeinflussten Windprofilen ausgeliefert. Die Positionierung der verschiedenen Windturbinen in einem Feld ist eine schwierige Aufgabe. Man möchte ja einerseits möglichst viele Generatoren auf einen möglichst kleinen Raum unterbringen, andererseits beeinflussen die Turbinen das Windprofil selbst, wie wir durch die Wirbelschleppen hier sehen können, was dazu führen kann, dass eine zu nahe stehende, zweite Turbine, durch die Verwirbelungen der ersten an Effizienz verlieren kann. Es ist also ein typisches Optimierungsproblem, das es hier zu Lösung gilt.

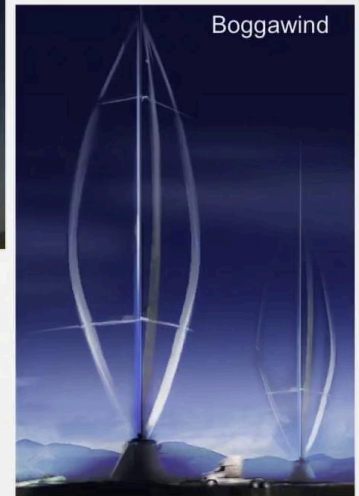
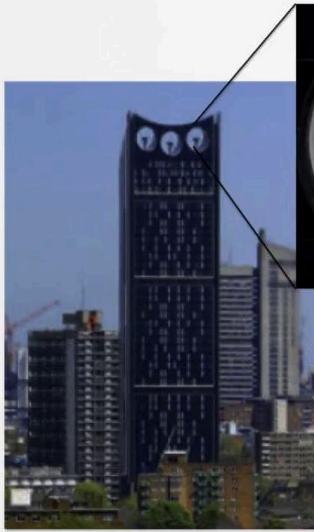
Notes

Summary



2m 57s

Innovative Konzepte (1)



Boggawind

Energiewende in der Schweiz

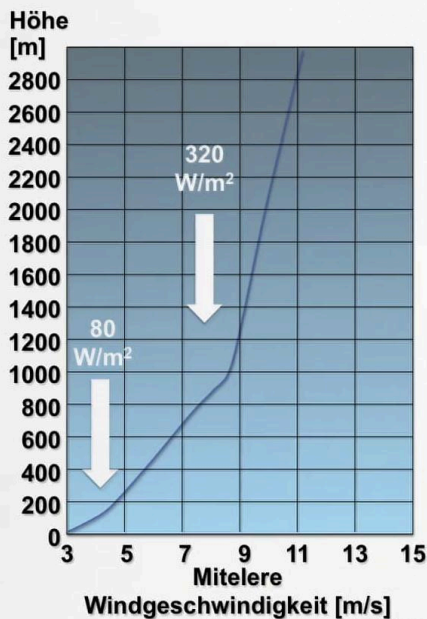
Obwohl man mehrheitlich Windturbinen auf Masten mit horizontaler Achse zu sehen bekommt, werden interessante Alternativen gebaut und getestet. Hier zum Beispiel direkt in einen Wolkenkratzer integriert, in ähnlicher Weise verpackt, wie ein Flugzeugmotor, auf diesem Bild hier, oder als Serie von vielen kleinen Rotoren, auf dem Dach einer amerikanischen Informatikfirma. Alternativ werden auch Windturbinen in der Schweiz mit vertikaler Achse angeboten.

Notes

Summary

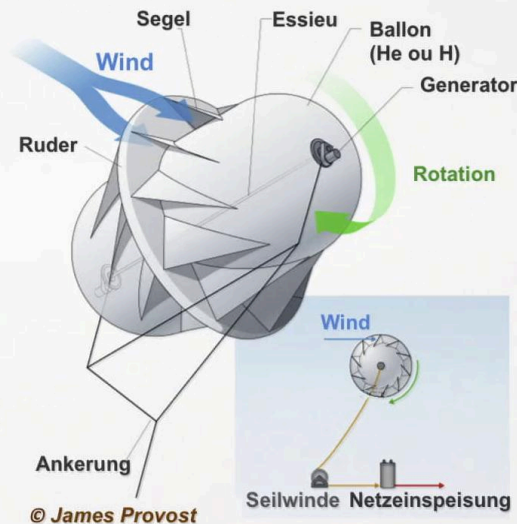


Heutige und zukünftige Technologien



https://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89olienne_a%C3%A9roport%C3%A9e#/media/File:Airborne_wind_generator-en_fr_%282%29.svg
<http://www.kitves.com/wind.aspx>

Innovative Konzepte (2)



Energiewende in der Schweiz

Andere, ausgefallenere Konzepte, versuchen die Turbinen noch sehr viel höher zu platzieren, um die höheren Windgeschwindigkeiten ausnutzen zu können. Wir erinnern daran, dass Windenergie mit der Windgeschwindigkeit $\wedge(3)$ skaliert. Das wird erreicht, zum Beispiel mit Hilfe von mit Helium gefüllten Systemen, wie von einer amerikanischen Startup-Firma in Boston vorgeschlagen. Oder dann durch Ballone, die um ihre eigene Achse drehen, um einen Generator anzutreiben, oder auch über Winddrachen, die in unterschiedlichen Anstellwinkeln heruntergezogen und hochgelassen werden.

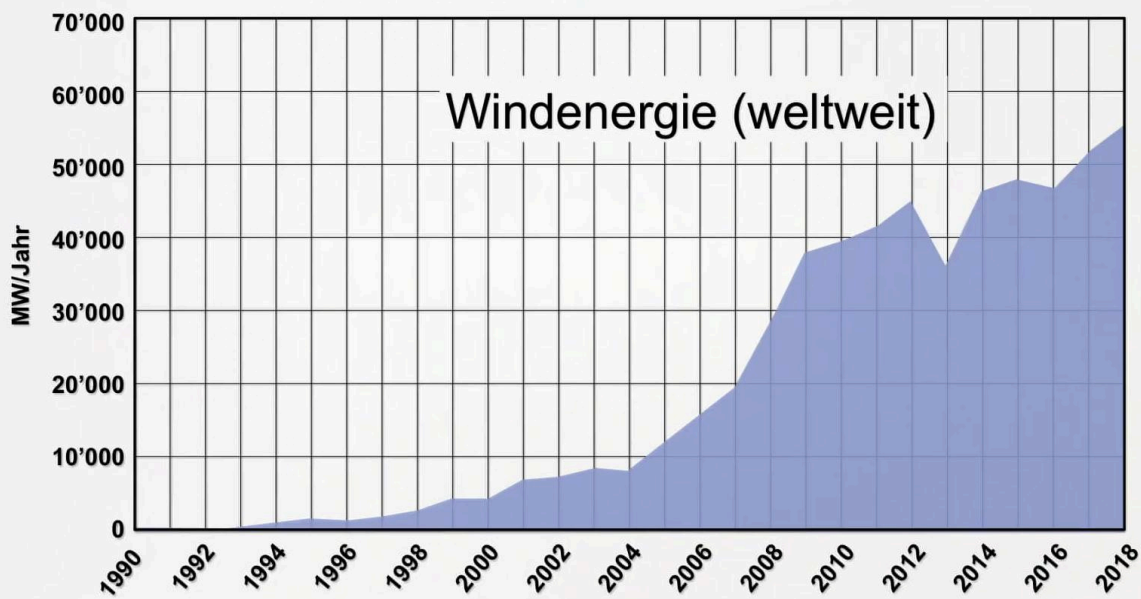
Notes

Summary



4m 47s

Weltweit installierte Windenergie



Navigant research

Energiewende in der Schweiz

Wie stark ist denn Windenergie nun wirklich vertreten? Die weltweit installierte Windleistung, ist in den letzten Jahren sehr stark angestiegen, wie wir in diesem Diagramm sehen können.

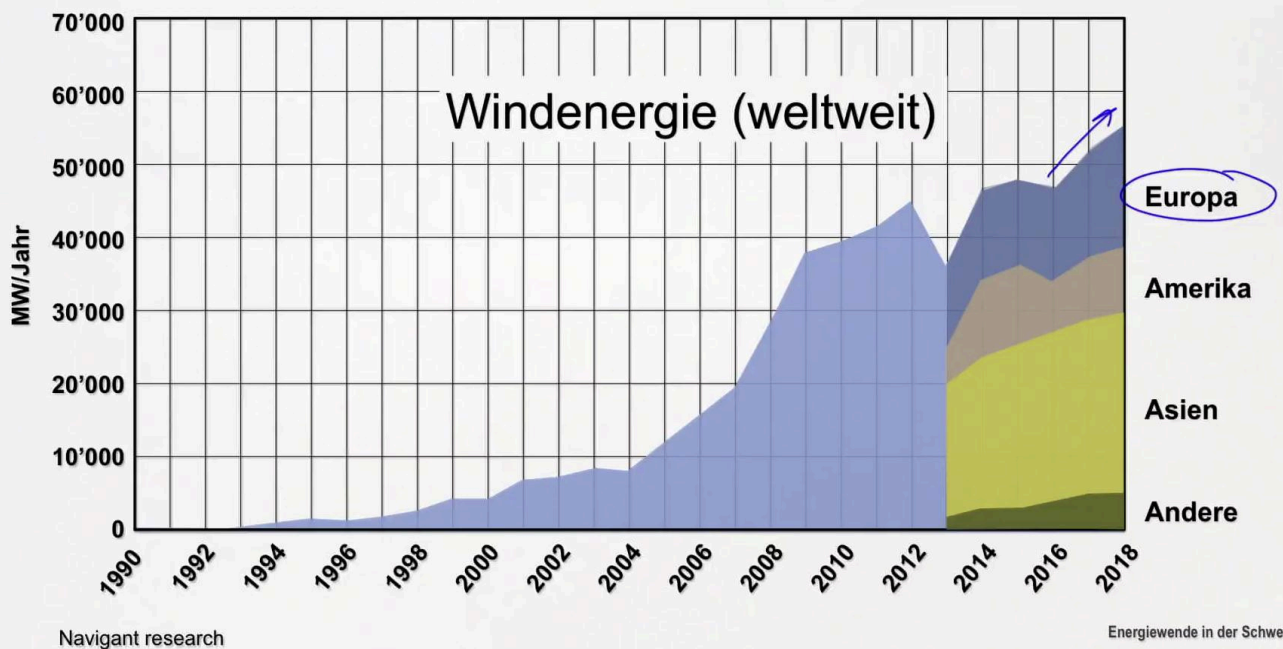
Notes

Summary



5m 28s

Weltweit installierte Windenergie und Prognose



Auf allen Kontinenten, vor allem in Europa, wird in nächster Zukunft mit einem starken Wachstum gerechnet.

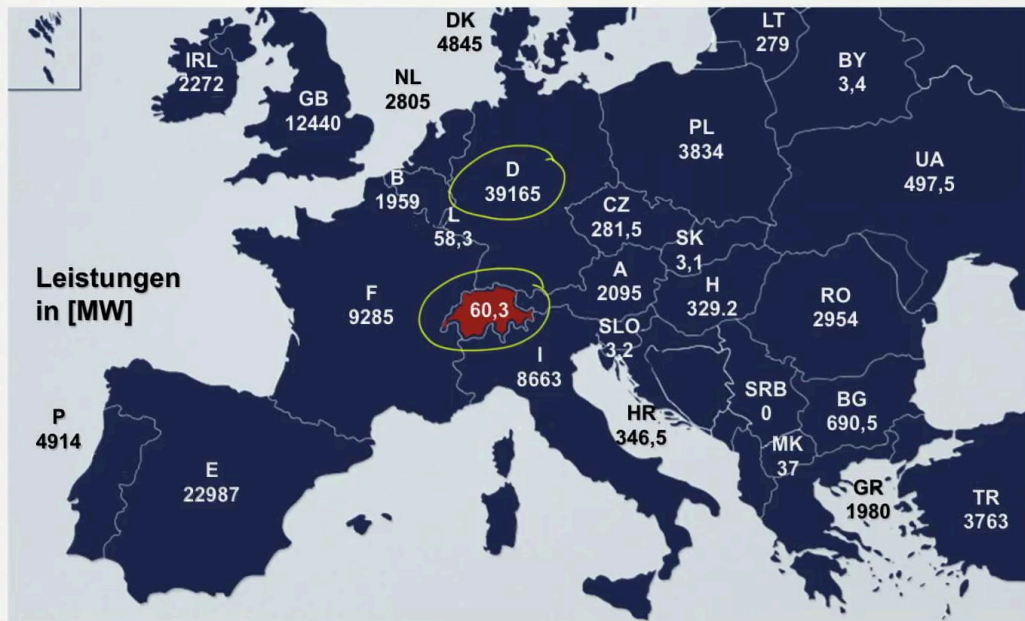
Notes

Summary



5m 42s

Situation in Europa 2014



Quelle: Ewea.org

Wind in power statistics 2014

Energiewende in der Schweiz

Auf dieser Karte sehen wir, die in den verschiedenen europäischen Ländern installierte Windleistungen. Deutschland ist mit seinen mehr als 39 Gigawatt klar Spitzenreiter. Mit nur 60 Megawatt, hat die Schweiz relativ wenig installierte Windleistung. Gründe dafür sind einerseits die relativ unvorteilhaften mittleren Windgeschwindigkeiten, andererseits, die vielfältigen Möglichkeiten und Ebenen von Rekursen, welche die Installation einer Windturbine in der Schweiz recht stark erschweren können.

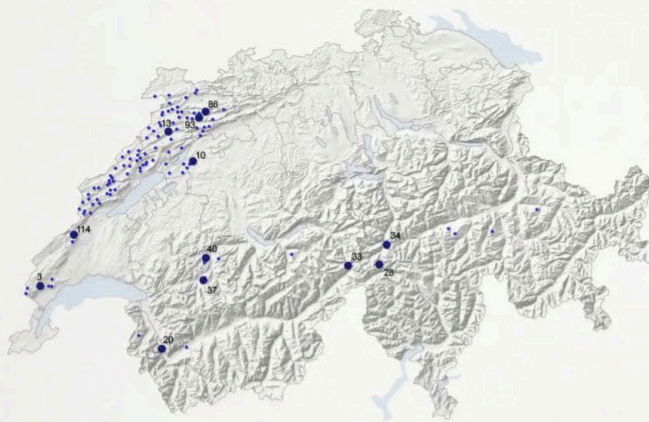
Notes

Summary



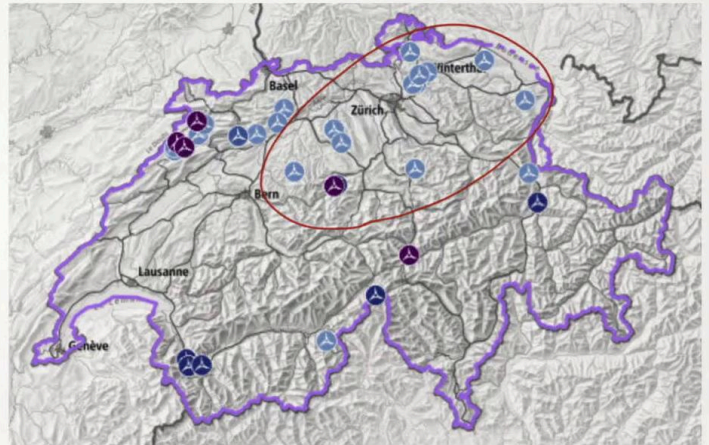
5m 50s

Situation in der Schweiz 2014



● **Prioritäre Standorte**
● **Übrige Standorte**

Wind-data.ch



Legende:

▲ Kleine Einzelanlage
Leistung < 100 kW

● Mittlere Einzelanlage
Leistung ≥ 100 kW und < 1000 kW

● Grosse Einzelanlage
Leistung ≥ 1000 kW

▲ Windpark

Energiewende in der Schweiz

Die Karte auf der linken Seite, hebt die vom Windpotential her klar favorisierten Gebiete hervor. Auf der rechten Karte sind bereits installierte Windanlagen dargestellt. Es fällt auf, dass die beiden Karten nicht überall gut übereinstimmen. Was heißt, dass unsere Windanlagen nicht optimal aufgestellt wurden. Das ist darauf zurückzuführen, dass die lokale Akzeptanz für solche Anlagen nicht überall gegeben ist.

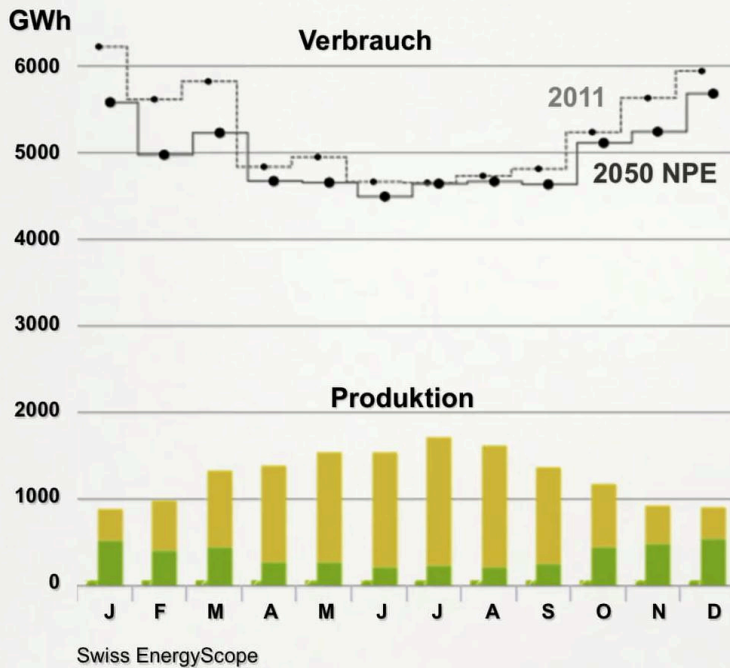
Notes

Summary



6m 27s

Vorteile



- Erneuerbar und reversibel (Anlagen können leicht rückgebaut werden)
- Höhere Produktion im Winter als im Sommer (Komplementarität mit Sonnenenergie)
- Kleiner Flächenbedarf

■ Sonne
■ Wind

Energiewende in der Schweiz

Dieses Bild wurde aus dem Swiss Energy Scope Rechner gezogen und stellt die, gemäß dem Energieszenario der neuen Energiepolitik, installierten solaren PV-Anlagen in gelb und die Windenergie in grün dar. Das Bild zeigt klar, dass die Solarenergie und die Windenergie sich saisonal komplementär verhalten. Das heißt, im Winter, wenn sich die Sonne weniger zeigt, bläst der Wind stärker, und im Sommer umgekehrt. Windenergie ist nicht nur eine erneuerbare Energieform, sondern sie ist auch reversibel. Reversibel im Sinne, dass wenn eine neue, effizientere Technologie auf den Markt kommen sollte, dann können Windanlagen sehr einfach und ohne großen Aufwand abgebaut werden, ohne Spuren zu hinterlassen.

Notes

Summary



6m 57s

Nachteile



<http://www.leseoliennes.be/nuisance/paleprojeete.htm>
<http://www.queduvent.ch/risques-et-menaces/normes-de-bruit/>

- Unregelmässige aber vorhersehbare Produktion
- Visuelle Beeinträchtigung
 - Grösse
 - Asynchrone Bewegungen (Windfarm)
 - Stroboskopischer Effekt (bewegter Schatten)
- Lärmemissionen
- Gefahr für fliegende Fauna
 - Vögel
 - Fledermäuse
- Gefahren
 - Rotorblattbruch
 - Herabfallendes Eis
 - Brand in Gondel



Energiewende in der Schweiz

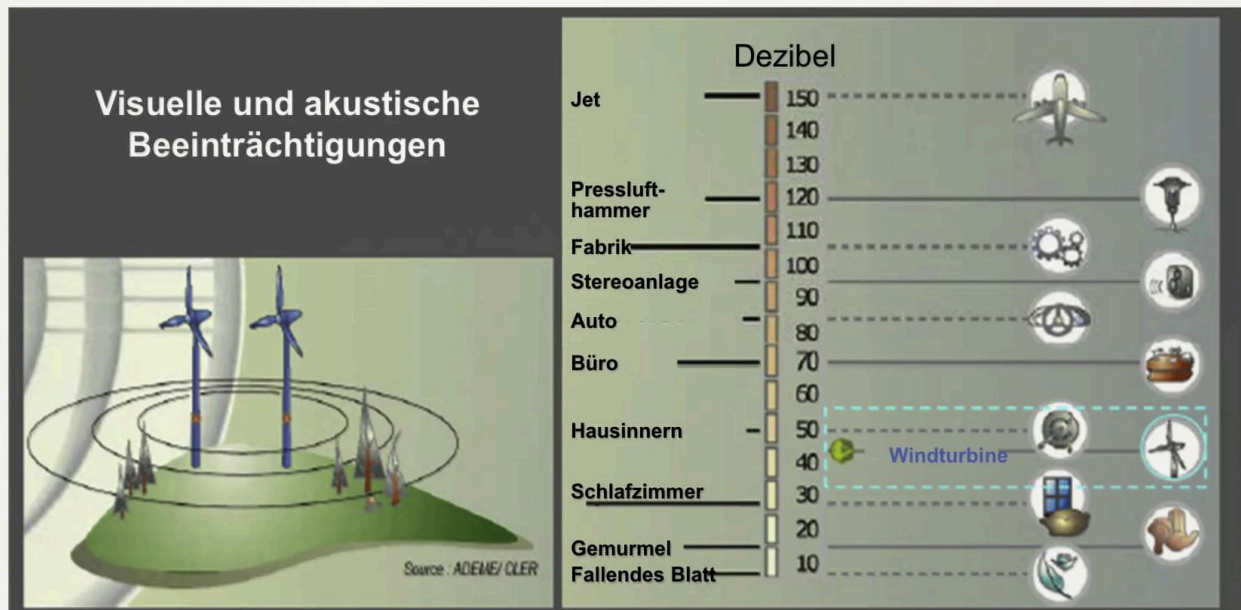
Windanlagen weisen, wie andere Technologien, auch Nachteile auf. Die Windleistung ist dem lokalen Wetter ausgeliefert, das heisst, die Produktion durch Wind ist nur ein paar Tage im Voraus planbar. Durch ihre Grösse und durch den bewegten Schattenwurf der Rotorscheufeln, können sich Personen in der Nähe gestört fühlen. Auch periodische Lärmemissionen der Schaufeln, können für Unmut sorgen. Die relativ dünnen und schnell drehenden Schaufeln, können zudem für Vögel und Fledermäuse zum Verhängnis werden. Herabfallendes Eis, Mast- oder Turmbrüche, oder auch Brände hoch oben in der Gondel, sind weitere mögliche Gefahren, die aber mit der Reifung der Technologie und mit der Erfahrung rasch ausgemerzt werden sollten.

Notes

Summary



7m 52s



Energiewende in der Schweiz

Lärmemissionen und die visuelle Beeinträchtigung, sind klar die wichtigsten und die meistdiskutierten Nachteile. Beide Faktoren hängen sehr stark von der individuellen Wahrnehmung ab, was die Diskussionen oftmals sehr emotional gestaltet. Die Lärmintensität wird in Dezibel angegeben. Auf dem linken Bild werden die gemessenen Lärmemissionen von Windanlagen mit anderen bekannten Situationen und Systemen verglichen.

Notes

Summary





- Windenergie ist stark am wachsen, vor Allem in Europa
- Das Potential von Windenergie in der Schweiz bleibt ausser ein paar privilegierten Regionen relativ tief; die installierte Kapazität bleibt bescheiden
- Windenergie ist erneuerbar und reversibel; sie weist eine gute Komplementarität zu Sonnenenergie und Laufwasserkraft aus
- Die visuelle Beeinträchtigung benötigt Entscheidungen aus der Politik und aus der lokalen Bevölkerung
- Die weiteren Nachteile, die von verschiedenen Gefahren ausgehen werden aktiv untersucht, scheinen aber nicht gravierend zu sein

Energiewende in der Schweiz

Zusammenfassend haben wir gesehen, dass Windenergie, vor allem in Europa, sehr stark ausgebaut wird. In der Schweiz bleibt das Potential jedoch, durch die eher bescheidenen Windverhältnisse, eher tief. Daher ist die installierte Windkapazität bei uns gegenüber verwöhnteren Gebieten tief. Windenergie ist eine von vielen erneuerbaren Energien. Sie weist eine gute saisonale Komplementarität zur Sonnenenergie und zu Laufwasserkraftwerken auf. Da Windanlagen oft auf einer Krete gebaut werden sollen, sind sie von sehr Weitem sichtbar und stellen so natürlich eine markante visuelle Beeinträchtigung dar, was deren Installation in der Schweiz schwierig machen kann. Die Nachteile, die aus weiteren Gefahren der Technologie ausgehen, werden aktiv untersucht. Die neuesten Erkenntnisse fließen laufend in die modernen Systeme ein und machen Windenergie so immer effizienter, sicherer und attraktiver.

Notes

Summary



9m 14s