

Wind- und Wasserkraft

B. Eng. Regenerative Energien

Klausur vom 28. Januar 2015: Lösungen

Jörn Loviscach

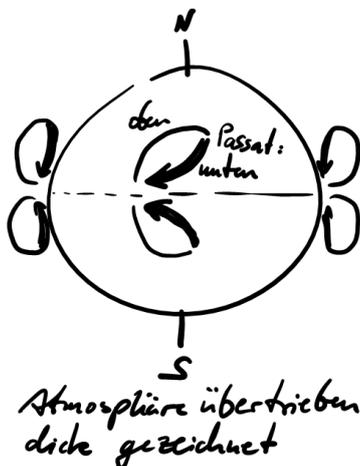
Versionsstand: 12. Februar 2015, 23:04



This work is licensed under the Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 Germany License. To view a copy of this license, visit <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/de/> or send a letter to Creative Commons, 171 Second Street, Suite 300, San Francisco, California, 94105, USA.

In Kursivschrift stehen Anmerkungen zu Fehlern oder zu alternativen Lösungen.

1. Am Äquator steigt warme Luft auf und bewegt sich in höheren Luftschichten in Richtung der Pole, wird aber von der Coriolis-Kraft nach Osten abgelenkt. Bei etwa 30° Breite steigt die Luft wieder ab und bewegt sich dann als Passatwind wieder zum Äquator. Die Coriolis-Kraft fälscht die Richtung ab, so dass die Passatwinde aus Nordost (Nordhalbkugel) bzw. Südost (Südhalbkugel) kommen.



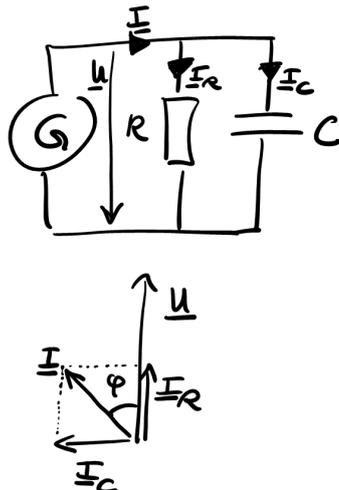
2. Durch den Umrichter ist die Drehzahl von der Netzfrequenz entkoppelt (für den Asynchrongenerator mit Käfigläufer gilt das nur ein ganz wenig: Schlupf), so dass der Rotor drehzahlvariabel laufen kann, am besten bei der Auslegungsschnelllaufzahl, also mit optimaler Ausbeute. Außerdem erlaubt der Synchrongenerator (erst recht mit Umrichter) eine Netzunterstützung, insbesondere durch regelbare Blindleistungseinspeisung.

Das Getriebe mit fester Übersetzung dient nicht dazu, die Drehzahl flexibel zu machen, sondern dazu, beim Generator zu sparen. Und dass der Synchronge-

erator keinen Schlupf hat, lässt sich hier beim Betrieb mit Umrichter nicht als Vor- oder Nachteil verbuchen.

3. Sei U die Klemmenspannung. Dann fließt durch den Widerstand der Strom $I_R = U/R$, in Phase mit der Klemmenspannung. Durch die Kapazität fließt der Strom $I_C = U\omega C$, um 90° verschoben. Also ist $\tan(\phi) = I_C/I_R = \omega RC$. Wegen $\cos(\phi) = 0,9$ ist dann $C = \tan(\arccos(0,9))/(2\pi \cdot 50 \text{ Hz} \cdot 1000 \Omega)$. (Taschenrechner: $C \approx 1,5 \mu\text{F}$)

Man kann mit den Strömen auch direkt den Cosinus ausdrücken und damit elegant $\tan(\arccos(\dots))$ vermeiden.

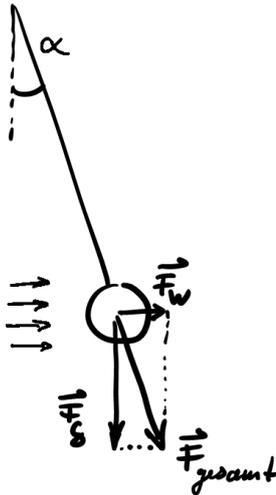


4. 12 dB Pegeländerung sind eine Änderung des Leistungsverhältnisses um Faktor 16, denn 3 dB entsprechen einem Faktor von 2 in der Leistung. Also strahlt die Turbine nur noch etwa $1/16$, also ca. 6 %, der ursprünglichen Schalleistung ab.

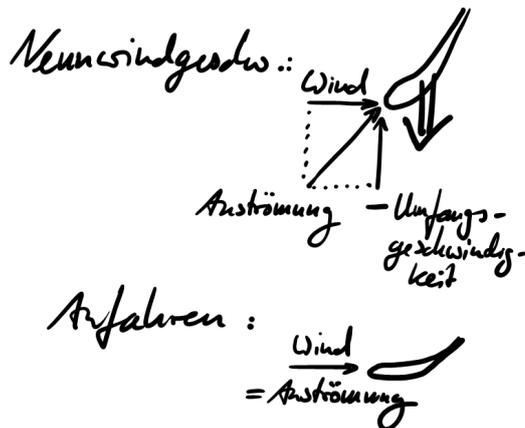
Wenn Dezibel durch Dezibel geteilt werden, muss praktisch immer etwas schief gegangen sein.

5. Man kann die Turbine abschalten, wenn akustische Fledermaussensoren ansprechen. Man kann auf Zäune und Vorsprünge verzichten, die Raubvögel als Ansitz anlocken würden. Man kann die Pfahlrammung auf See durch Blasenschleier akustisch dämmen. (Und viele weitere Möglichkeiten.)
6. Von Ebbe bis Flut wächst das Volumen um $100 \cdot 200 \cdot 4 \text{ m}^3 = 80000 \text{ m}^3$, von Flut bis Ebbe sinkt es entsprechend. Man könnte die Bucht bei dem höchsten Wasserstand auf einen Schlag volllaufen lassen und beim niedrigsten Stand auf einen Schlag leerlaufen lassen. Um die potenzielle Energie des dabei bewegten Wasservolumens zu berechnen, mittelt man über gedachte Schichten von 0 bis 4 m, rechnet also mit dem Mittelwert von 2 m. Also potenzielle Energie = $80000 \text{ m}^3 \cdot 1000 \text{ kg/m}^3 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \cdot 2 \text{ m} \approx 1600000000 \text{ J}$. Also Energie im Jahr $\approx 1600000000 \text{ Ws} \cdot 4 \cdot 365 / (3600 \text{ s/h})$. (Taschenrechner: $E \approx 650 \text{ MWh}$).

7. Wichtig ist die Änderung von v^3 in der Leistungsformel. Statt mit v^3 rechnen wir nun mit $(1,02v)^3 = (1,02)^3 v^3 \approx 1,06 v^3$, denn $(1,02)^3 = (1 + 0,02)^3 \approx 1 + 3 \cdot 0,02$ (Binomische Formel oder lineare Näherung!). Also wächst die Leistung maximal um 6 %. (Real typischerweise weniger, wegen der Begrenzung auf die Nennleistung.)
8. Strömungswiderstand $F_W = \frac{1}{2} C_W \rho A v^2 = \frac{1}{2} \cdot 0,4 \cdot \frac{5}{4} \text{kg/m}^3 \cdot \pi \cdot (0,05 \text{ m})^2 \cdot (3 \text{ m/s})^2$.
Kräfteparallelogramm: $\tan(\alpha) = \frac{F_W}{mg}$. Also $\alpha = \arctan(F_W / (0,1 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2))$.
(Taschenrechner: $\alpha \approx 1^\circ$).



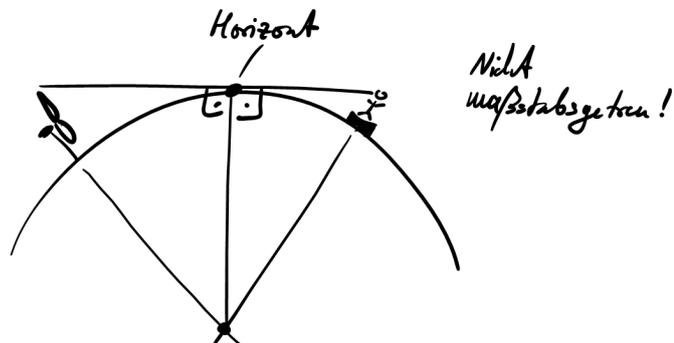
9. Man stellt sie so ein, dass ihr Profil fast parallel zur Welle ist, denn bei stehendem Rotor ist die Anströmungsrichtung die Windrichtung. Der Winkel zur Anströmungsrichtung darf nur wenige Grad betragen, sonst hat man einen Strömungsabriss.



10. Bei langsamem Flug sinkt der Auftrieb. Um genügend Auftrieb zu erhalten, muss der Anstellwinkel größer gewählt werden. Das Heck des Flugzeugs hängt also durch. Je größer der Anstellwinkel wird, um so größer wird die Gefahr von Stall.



11. Man sieht von der Plattform in $\sqrt{2 \cdot \text{Erdradius} \cdot 20 \text{ m}}$ den Horizont. Die Anlage muss noch $\sqrt{2 \cdot \text{Erdradius} \cdot 150 \text{ m}}$ weiter liegen. Das macht einen Gesamtabstand von $\sqrt{2 \cdot 6400000 \text{ m}}(\sqrt{20 \text{ m}} + \sqrt{150 \text{ m}})$. (Taschenrechner: Der Gesamtabstand ist etwa 60 km.)



12. Die Erdachse ist an diesem Tag exakt quer zur Verbindungslinie Erde-Sonne geneigt. Der Schatten ändert sich also nicht, wenn wir die Erdachse aufrichten. Damit ist die Länge des Schattens gleich $100 \text{ m} \cdot \tan(52^\circ)$. (Taschenrechner: etwa 128 m)

