

Wind- und Wasserkraft

Musterlösungen 2024-01-29

1. $F_w = \frac{1}{2} C_w \rho A v^2$, $P = F_w \cdot v$

$$\Rightarrow C_w = \frac{2P}{\rho A v^3} = \frac{2 \cdot 20 \text{ kW}}{\frac{5}{4} \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 3 \text{ m}^2 \cdot \left(\frac{100 \cdot 1000}{3600} \frac{\text{m}}{\text{s}} \right)^3}$$

$$\left(= \frac{2 \cdot 20 \cdot 1000}{\frac{5}{4} \cdot 3 \cdot 100^3 / 3,6^3} \cdot \frac{\text{W}}{\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot \frac{\text{m}^3}{\text{s}^3}} \right)$$

$$= \frac{4 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 3,6^3}{5 \cdot 3 \cdot 100} \approx 0,5$$

2. $v(z) = C \cdot \log_{10} \left(\frac{z}{z_0} \right)$ mit $z_0 = \text{Rauigkeitslänge}$

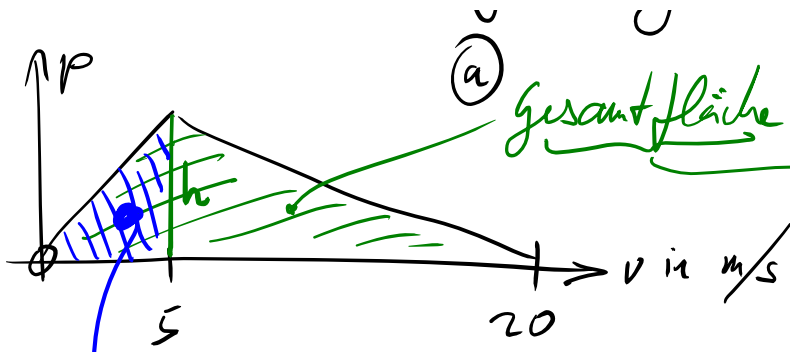
Also: $v(100 \text{ m}) = C \log_{10} \left(\frac{100 \text{ m}}{0,1 \text{ m}} \right) \stackrel{!}{=} 9 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

und $v(10 \text{ m}) = C \log_{10} \left(\frac{10 \text{ m}}{0,1 \text{ m}} \right) \stackrel{!}{=} 5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

$$\Rightarrow \frac{\log_{10}(1000)}{\log_{10}(100)} \stackrel{!}{=} \frac{9}{5}$$

Dies ist aber $\frac{3}{2} \neq \frac{9}{5}$.
Also kann die Rauigkeitslänge $0,1 \text{ m}$ nicht stimmen.

3.



(a) Gesamtfläche = 1,

$$= \frac{1}{2} \cdot 5 \cdot h + \frac{1}{2} \cdot 15 \cdot h = 10h$$

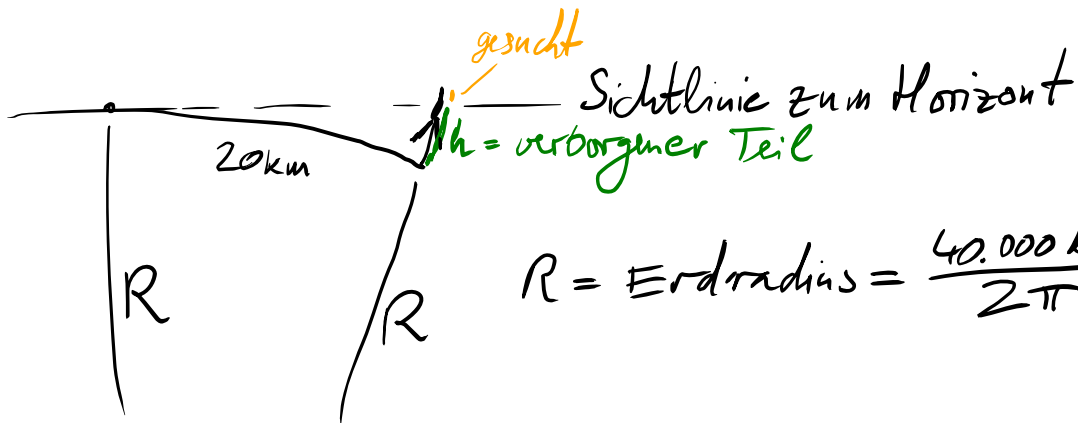
$$\Rightarrow h = \frac{1}{10}$$

((eigentlich $\cdot \frac{1}{m/s}$))

$$(b) P(v \leq 5 \frac{m}{s}) = \frac{1}{2} \cdot 5 \cdot 0,1 = 25\%$$

$$(c) P(v = 7,0000... \frac{m}{s}) = 0$$

4.



gesucht

Sichtlinie zum Horizont
h = verborgener Teil

$$R = \text{Erdradius} = \frac{40.000 \text{ km}}{2\pi}$$

$$(R+h)^2 \approx R^2 + (20 \text{ km})^2 \Rightarrow 2R \cdot h \approx (20 \text{ km})^2$$

$$\Rightarrow h \approx \frac{(20 \text{ km})^2}{2R}$$

$$\Rightarrow \text{sichtbarer Teil} = 300 \text{ m} - h$$

$$\left(\approx 300 \text{ m} - \frac{20.000 \cdot 40.000}{2 \cdot \frac{40.000.000}{2\pi}} \frac{m^2}{m} \right)$$

$$= 300 \text{ m} - 10\pi \text{ m} \approx 269 \text{ m} \left. \right)$$

5. ((Zum Beispiel:))

- Dagegen: Neue Speicherbecken zu schaffen, kann bedeuten, bisherige Ökosysteme von Tieren und Pflanzen zu (zer)stören. ^{oder Stauwerke}
 ^{inkl. Fischen}
 ^{auch im Unterlauf}
- Dafür: Pro gelieferter kWh fallen praktisch keine CO₂-Emissionen an.
- Dagegen: Unter Wasser verrottende Biomasse kann zu nennenswerten Methan-Emissionen führen.

6. ((Zum Beispiel:))

- Windstrom fällt vor allem im Norden an ((wegen des schwachen Ausbaus im Süden)), sodass Übertragungsleitungen in den Süden gebaut werden müssen.
- Windstrom ist volatil. Zum Überbrücken von Flauten benötigt man Speicher und/oder weitere Kraftwerke.
- Wenn die Börsenpreise zu niedrig sind, fließt mehr Marktprämie ((oder Einspeisevergütung bei kleinen/alten Anlagen)) ab, was vom Staat ausgeglichen werden muss.

7. Die Leistung, die durch die Rotorkreisfläche geht, beträgt $\frac{1}{2} \rho A v^3$. Wenn v um 2% wächst, wächst v^3 auf das $(1,02)^3 \approx 1,06$ -Fache, also um etwa 6%. Das wiegt die 5% geringere Dichte mehr als auf. Also: Auf der Anhöhe ist der Ertrag größer.

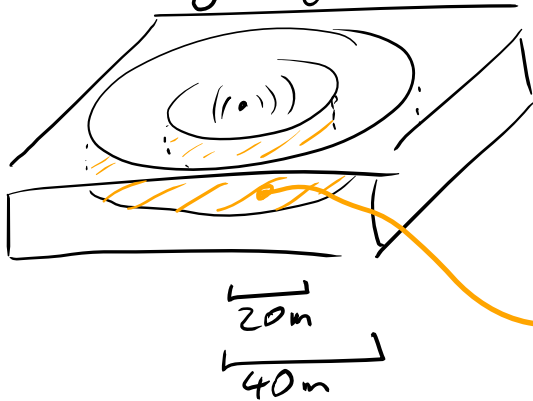
8. (Zum Beispiel:)

- Vorteil gegenüber mehr Rotorblättern:
geringerer Materialaufwand
- Nachteil gegenüber mehr Rotorblättern:
für gleiche Ansbente höhere Schnelllaufzahl
→ mechanische Belastung; größere Gefahr für Vögel
- Vorteil gegenüber weniger Rotorblättern:
Rotor hat Trägheitsmoment einer Scheibe, nicht einer Zigarre → kleinere mechanische Belastung der Lager

9. (Zum Beispiel:))

- Die vom Wind angetriebenen Scharfeln des Widerstandsläufers müssen sich in Windrichtung mitbewegen. Das reduziert die Relativgeschwindigkeit zur Luft und damit die Anstrengung.
- Die Scharfeln müssen gegen den Wind zurücktransportiert werden. Das kostet Energie.
- Die gesamte wirksame Fläche muss von Scharfeln abgedeckt werden, so dass kein dünnes Rotorblatt genügt. → Materialaufwand

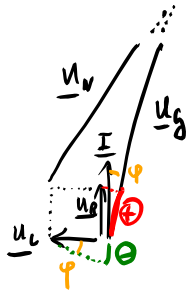
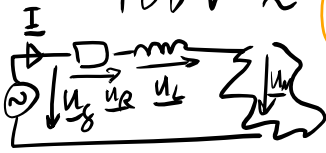
10.



Von 20m auf 40m verdoppelt sich der Radius, also verdoppelt (!) sich die Oberfläche, also sinkt die Intensität auf $\frac{1}{2}$, also sinkt der Pegel um ca. 3dB.

11. Um die Spannung am Generator so klein wie möglich zu halten, wird man ihn mit $\cos(\varphi) = 0,95$ untererreggt betreiben. Sei l die max. Länge der Freileitung. Dann:

$$400V \approx I \cdot \left(l \cdot 0,5 \frac{\Omega}{\text{km}} \cdot \cos(\varphi) - 2\pi \cdot 50\text{Hz} \cdot l \cdot 1,5 \frac{\text{mH}}{\text{km}} \cdot \sin(\varphi) \right)$$



$\frac{1 \text{ MVA}}{20 \text{ kV} + 400 \text{ V}}$
 \leftarrow egal

$\sqrt{1 - 0,95^2}$

$$\approx \frac{1 \text{ MVA}}{20 \text{ kV}} \cdot l \cdot \left(0,5 \cdot 0,95 - 314 \cdot \frac{1,5}{1000} \cdot \sqrt{1 - 0,95^2} \right) \frac{\Omega}{\text{km}}$$

$$\Rightarrow l \approx 400 \text{ V} \cdot \frac{20 \text{ kV}}{1 \text{ MVA}} \cdot \frac{1}{0,5 \cdot 0,95 - 314 \cdot \frac{1,5}{1000} \sqrt{1 - 0,95^2}} \frac{\text{km}}{\Omega}$$

$((\approx 24 \text{ km}))$

12. Kontinuitätsgl. \Rightarrow Geschwindigkeit in beiden Röhren ist gleich. \rightarrow

Es gibt keinen Höhenunterschied und keinen Geschwindigkeitsunterschied. Aber aus einem Druckunterschied könnte die Turbine nach Energie gewinnen!

