

Gedächtnisprotokoll

Dauer: 90 min

Gesamtpunktzahl: 50 (Angaben bei den einzelnen Aufgaben in diesem Protokoll nur als grobe Orientierung zu verstehen)

Alle Angaben nach bestem Wissen und Gewissen – Fehler vorbehalten.

Aufgaben 1-7: Single Choice, jeweils 2 Punkte pro Aufgabe

1. Welche Schwingungsgleichung gilt bei der Eigenfrequenz?
 - a) $M \cdot \ddot{u} + D \cdot \dot{u} + S \cdot u = F$
 - b) $M \cdot \ddot{u} + S \cdot u = F$
 - c) $M \cdot \ddot{u} + D \cdot \dot{u} + S \cdot u = 0$
 - d) $M \cdot \ddot{u} + D \cdot \dot{u} + S \cdot u = -F$
2. Was ist nicht realisierbar?
 - a) Eine drehzahlvariable WEA mit Synchrongenerator und Vollumrichter
 - b) ?
 - c) Eine drehzahlvariable WEA mit permanenterregtem Asynchrongenerator
 - d) Eine drehzahlvariable WEA mit doppelt gespeistem Asynchrongenerator
3. Ein Hochlaufversuch wird mit einem nach Schmitz ausgelegten Schnellläufer (Blattanzahl: 4) durchgeführt. Nach einem Durchlauf mit Pitchwinkel 0° wird der Rotor um -2° aus dem Wind (zum Lee hin) gepitcht. Was verändert sich?
 - a) Der maximale Leistungsbeiwert $c_{p,max}$ wird schon bei einer geringeren Schnelllaufzahl λ erreicht.
 - b) Der Momentenbeiwert c_M im Anlauf sinkt
 - c) Der Leistungsbeiwert c_p im Leerlauf steigt
 - d) Der Schubbeiwert c_T im Anlauf sinkt
4. Was darf bei einem Versuch im Strömungskanal im Vergleich zur geplanten Originalmaschine nicht verändert werden?
 - a) Die Auslegungsschnelllaufzahl
 - b) Die Temperatur des Mediums
 - c) ?
 - d) Das Verhältnis von Blatattiefe zu Radius
5. Was bedeutet $M = c_{Masch} \cdot \Omega^2$?
 - a) Für die Regelung im Volllastbetrieb ist keine Kenntnis der Windgeschwindigkeit notwendig.
 - b) Die Regelung in Teillast kann über das Moment geschehen, sodass stets $c_p(\lambda) = c_{p,max}(\lambda)$ gilt.
 - c) Die Regelung kann in Teillast über den Pitch erfolgen.
 - d) Das Anemometer kann vollständig entfallen.

6. Warum gilt für Langsamläufer: $c_{p,max} = c_p(\lambda > \lambda_D)$?
 - a) Aufgrund der Dominanz der Drallverluste
 - b) Aufgrund der Dominanz der Tipverluste
 - c) Aufgrund der Dominanz der Profilverluste
 - d) Aufgrund von Auslegungsfehlern

7. Warum sind Schnellläufer besser für die Stromerzeugung geeignet?
 - a) Aufgrund begrenzter Kühlmöglichkeiten verträgt der Generator keine hohen Momente
 - b) Aufgrund begrenzten Bauraums können nur maximal acht Polpaare Platz finden
 - c) Bei gleicher Geometrie und Getriebe, ist die Passiergeschwindigkeit der Pole vor dem Stator höher.
 - d) Langsamläufer sind nicht regelbar.

8. Zeichnen Sie in das folgende Bild alle relevanten Geschwindigkeiten, Winkel, Ebenen/Achsen sowie die Kräfte D , L , F_{res} , T und U sowie die Rotationsrichtung qualitativ ein (7 Punkte).

Gesucht war in etwa eine Zeichnung wie in Abbildung 1 zu sehen. Gegeben war nur das Profil inkl. Rotorebene (horizontale Achse) sowie Maschinenebene (vertikale Achse), die sich im Schwerpunkt des Blattprofils schneiden (siehe Abbildung 2)

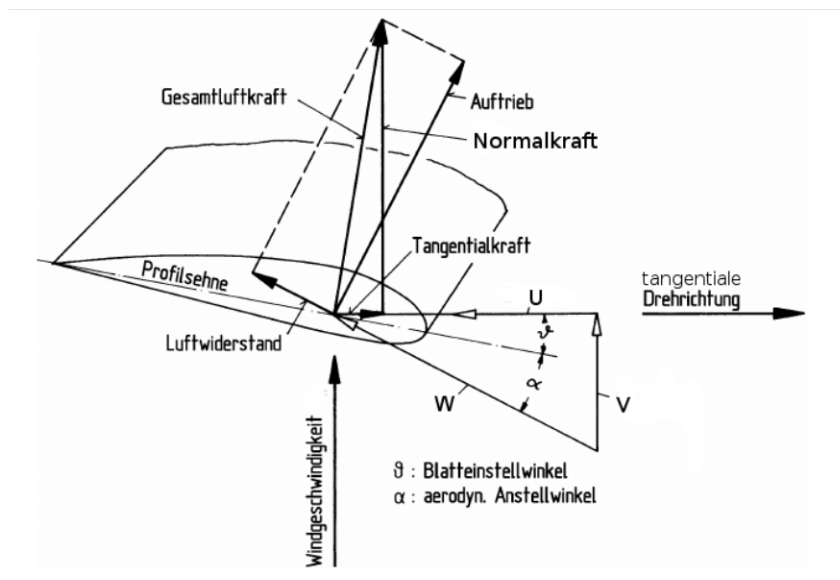


Abbildung 1 Anströmverhältnisse und Luftkräfte am Profilquerschnitt eines Blattelements. Quelle: Wille, Tim (2015): Entwicklung einer Berechnungs-Methode für die Auslegung von Pitch-Regelungen bei vertikal betriebenen Windkraftanlagen nach Open Source Kriterien. Bachelorarbeit, Beuth Hochschule für Technik Berlin. Online verfügbar: https://wiki.opensourceecology.de/images/6/60/TW-BA_Pitchregelung-VAWT_2015-04-20.pdf

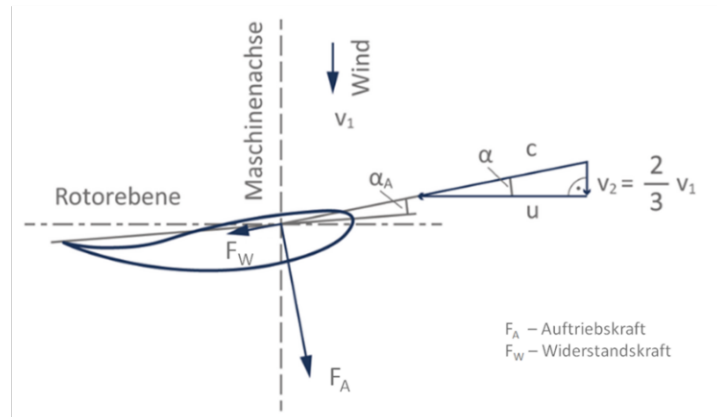
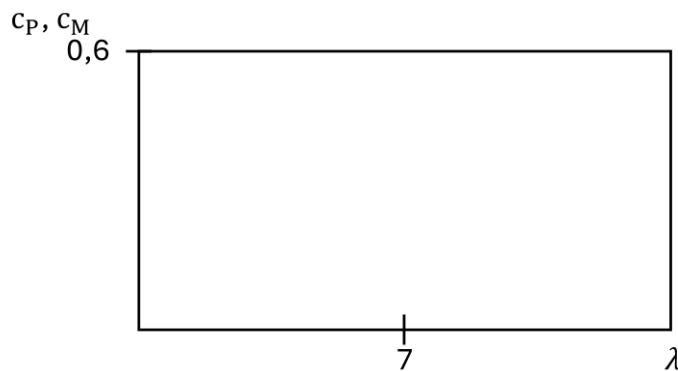


Abbildung 2 Winddreieck am Profil. Quelle: Bundesverband Windenergie (BWE): Aerodynamik von Windenergieanlagen. Online verfügbar: <https://www.wind-energie.de/themen/anlagentechnik/funktionsweise/aerodynamik/>

9. Leiten Sie folgende Gleichung her: $c_p = c_m \cdot \lambda$ (3 Punkte)
10. Nennen Sie jeweils einen positiven und negativen Effekt von Hindernissen auf Windverhältnisse in der Umgebung. Nennen Sie außerdem zwei lokale Ausgleichswinde. (2 Punkte)
11. Zeichnen Sie im nachfolgenden Diagramm den Verlauf von $c_m(\lambda)$ und $c_p(\lambda)$ für eine schnellläufige Windenergieanlage mit $\lambda_D = 7$ ein. Achten Sie dabei auf charakteristische Punkte und eine richtige Skalierung. (3 oder 4 Punkte)

Gegeben:



Gesucht waren vermutlich die nachfolgenden Diagramme in Abbildung 4 und Abbildung 3.

Für $c_p(\lambda)$:

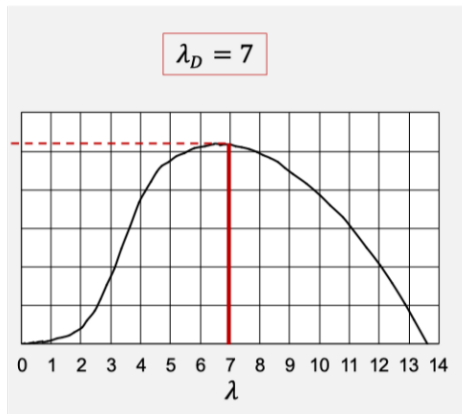


Abbildung 4 Dimensionsloser Leistungsbeiwert eines Schnellläufers. Quelle: WEA1 Vorlesungsunterlagen WiSe 2025/26, VL 7 (Rotorkennfelder), S. 23

Für $c_M(\lambda)$:

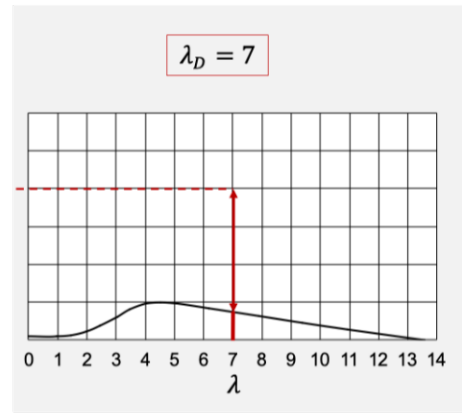
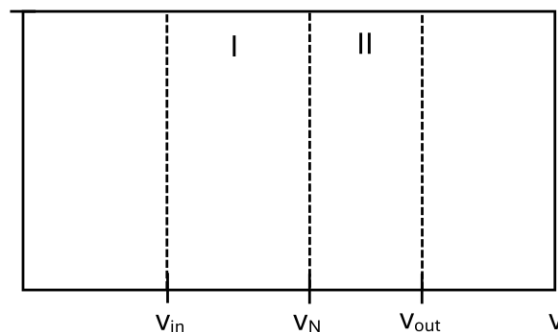


Abbildung 3 Dimensionslose Momenten-Kennlinie eines Schnellläufers. Quelle: WEA1 Vorlesungsunterlagen WiSe 2025/26, VL 7 (Rotorkennfelder), S. 25

12. Zeichnen Sie ein schematisches Diagramm der Leistungsverluste an einer WEA (Sankey-Diagramm war gesucht). (2 Punkte)
13. Nennen Sie drei Regeln der Ähnlichkeitstheorie sowie drei Ihnen bekannte Proportionalitäten von Anlagengrößen zum Rotorradius. (3 Punkte)
14. Nennen Sie drei aerodynamische Verlustarten und deren proportionale Abhängigkeit von WEA-Größen. (3 Punkte)
15. Geben Sie die Formeln für die Auftriebskraft beim Auftriebsläufer sowie die Widerstandskraft beim Widerstandsläufer an. Wie berechnet sich jeweils die Anströmung (Formel)? (4 Punkte)
16. Wie wird der energetische Ertrag einer WEA ermittelt (Formel)? Wie wird die Häufigkeit h_i berechnet und welche Dimension hat sie? (2 Punkte)
17. Zeichnen Sie in nachfolgendem Diagramm qualitativ die folgenden Kennlinien einer drehzahlvariablen WEA ein: Schnelllaufzahl (λ), Leistung (P), Drehzahl (n). Benennen Sie außerdem die beiden Betriebsbereiche I und II. (4 Punkte)
Gegeben:

λ, P, n



Gesucht war in etwa folgendes Diagramm in Abbildung 5 (nur λ , P, n) sowie Bereich I: Teillast und Bereich II: Volllast.

Betriebsparameter über Windgeschwindigkeit

Leistung, Schnellaufzahl, Pitchwinkel

Stationäre Leistungskurve einer 750 kW-Anlage mit 50m-Rotor

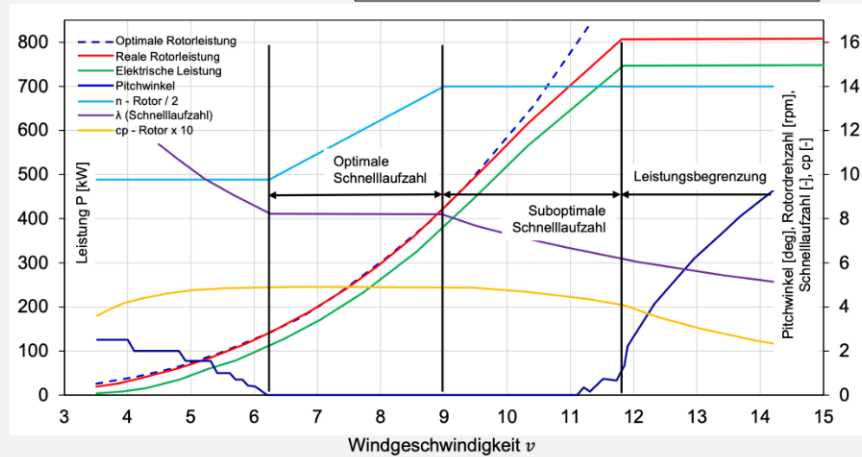


Abbildung 5 Betriebsparameter über Windgeschwindigkeit. Quelle: WEA1 Vorlesungsunterlagen WiSe 2025/26, VL 10 (Betriebsführung und Netzeinbindung), S. 8