

# Wind- und Wasserkraft

B. Eng. Regenerative Energien / Elektrotechnik

Klausur vom 26. Januar 2026: Musterlösungen

Jörn Loviscach

Versionsstand: 27. Januar 2026, 20:54



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.

Lösungen von ChatGPT 5.2; Anmerkungen und Korrekturen in Rot von Jörn Loviscach

## 1. Blattspitzengeschwindigkeit = Schallgeschwindigkeit.

Schnelllaufzahl:  $\lambda = \frac{v_{\text{Spitze}}}{v_{\text{Wind}}}$ . Damit

$$v_{\text{Wind}} = \frac{v_{\text{Spitze}}}{\lambda} = \frac{340 \text{ m/s}}{7} \approx 48,6 \text{ m/s.}$$

(Formel für den Taschenrechner:  $v_{\text{Wind}} = 340/7$ .)

## 2. 6000+ Volllaststunden: wie und warum nicht?

Man wählt eine *sehr geringe spezifische Leistung* (großer Rotor, relativ kleiner Generator), ggf. große Nabenhöhe und einen windreichen Standort, sodass die Anlage häufig nahe Nennleistung läuft. Warum macht man das oft nicht: Mehr Rotorfläche pro kW erhöht Investitionen/Lasten und führt bei Starkwind häufiger zu Abregelung (Pitch/Netz), sodass ~~der~~ <sup>die</sup> zusätzliche Rotor nicht proportional mehr Erlös bringt. ~~Fläche~~

## 3. Lautsprecher: elektrische Leistung für $L_W = 130 \text{ dB}$ .

$$L_W = 10 \log_{10} \left( \frac{P_{\text{Schall}}}{P_0} \right), \quad P_0 = 10^{-12} \text{ W}$$

*oder: 13 Leistungsstufen!*

$$P_{\text{Schall}} = P_0 10^{L_W/10} = 10^{-12} \cdot 10^{13} = 10 \text{ W.}$$

Wirkungsgrad  $\eta = 0,02 \Rightarrow P_{\text{el}} = P_{\text{Schall}}/\eta = 10/0,02 = 500 \text{ W.}$

## 4. Schattenrichtungen am Äquator am 21. Juni (Sonnenaufgang/Mittag/Sonnenuntergang).

Am Äquator ( $\varphi = 0^\circ$ ) und zur Sommersonnenwende ist die Deklination

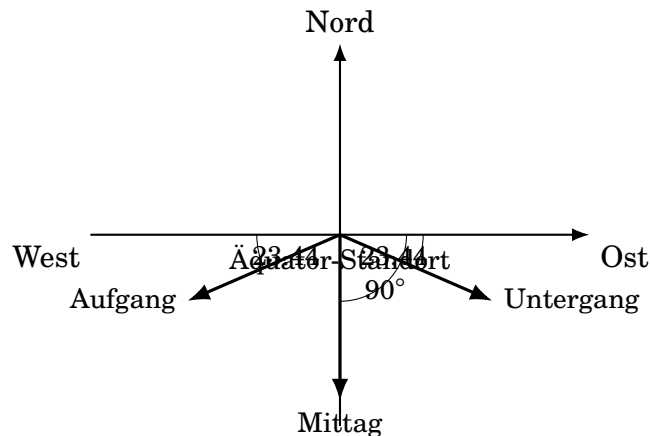
„gerundet“ und dann zwei Nachkommastellen ...

$\delta \approx +23,44^\circ$ . Dann geht die Sonne  $\delta$  nördlich von Ost auf und  $\delta$  nördlich von West unter. Der Schatten zeigt jeweils entgegengesetzt:

Aufgang: Schatten  $\delta$  südlich von West,      Mittag: Schatten nach Süd,      Untergang: Schatten  $\delta$  südlich von Ost

Winkel zur Ost-West-Richtung:

$$\alpha_{\text{Aufgang}} = \alpha_{\text{Untergang}} = \delta \approx 23,44^\circ, \quad \alpha_{\text{Mittag}} = 90^\circ.$$



### 5. Heim-Pumpspeicher: Volumen für 1 kWh bei $\Delta h = 10$ m.

$$E = \rho V g \Delta h \Rightarrow V = \frac{E}{\rho g \Delta h} = \frac{3,6 \cdot 10^6 \text{ m}^3}{1000 \cdot 9,81 \cdot 10} \approx 36,7 \text{ m}^3.$$

(Formel für Taschenrechner:  $V = \frac{3,6 \cdot 10^6}{1000 \cdot 9,81 \cdot 10}$ .)

### 6. Wasserstrahl: transportierte Leistung.

Querschnitt  $A = \pi(d/2)^2 = \pi(0,03)^2$ . Massenstrom  $\dot{m} = \rho A v$ . Kinetische Leistung:

$$P = \frac{1}{2} \dot{m} v^2 = \frac{1}{2} \rho A v^3 = \frac{1}{2} \cdot 1000 \cdot \pi(0,03)^2 \cdot 20^3 \approx 1,13 \cdot 10^4 \text{ W.}$$

Also  $P \approx 11,3$  kW. (Taschenrechnerformel:  $P = \frac{1}{2} \rho \pi (d/2)^2 v^3$ .)

### 7. Drehung mit Höhe (Nordhalbkugel) und Kräftebild.

In Bodennähe bremst Reibung den Wind, dadurch ist die Corioliskraft kleiner und der Wind schneidet die Isobaren *zum Tief hin*. Mit zunehmender Höhe nimmt die Reibung ab, der Wind wird stärker und nähert sich dem geostrophischen Wind (parallel zu Isobaren) an. *Auf der Nordhalbkugel dreht der Wind mit der Höhe im Uhrzeigersinn* („veering“).



10. **Netzintegration: 2 Dinge per Umrichter lösbar, 1 nicht.**

Der Umrichter kann Blindleistung bereitstellen und so Spannung/Power-Factor am Netzanschlusspunkt regeln. Er kann Wirkleistung dynamisch führen (Rampenbegrenzung, Frequenzstützung/<sup>Phasenschieber</sup>Inertial-Emulation, Fault-Ride-Through). Er kann *nicht* die fehlende Erzeugung bei Flaute bzw. grundsätzliche Netzengpässe (Leitungskapazität/Redispatch) wegzaubern: dafür braucht es Speicher, flexible Verbraucher oder Netzausbau.

Auch ok: Anpassung Rotordrehzahl -> Netzfrequenz

11. **Generator (cosφ=1), ohmsche Leitung, Kondensator parallel: Spannung am Generator?**

Mit Kondensator fließt zusätzlich ein kapazitiver Strom  $\vec{I}_C$  (90° voreilend) am Generatorknoten; der Leitungsstrom ist

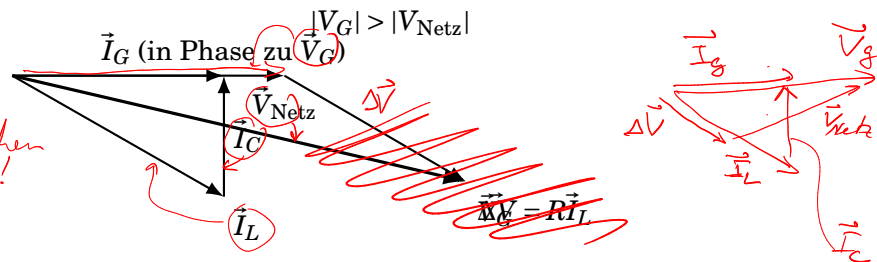
deutsch „U“ statt „V“

$$\vec{I}_L = \vec{I}_G - \vec{I}_C.$$

im VZS  
besser mit Unterstrich statt Feil

Bei rein ohmscher Leitung gilt  $\Delta\vec{V} = R\vec{I}_L$  (in Phase mit  $\vec{I}_L$ ), und  $\vec{V}_G = \vec{V}_{\text{Netz}} + \Delta\vec{V}$ . Da  $\Delta\vec{V}$  nun zusätzlich einen quadratischen Anteil (Imaginärteil) hat, wird  $|V_G|$  größer: **die Generatorspannung steigt (betragsmäßig).**

kleiner  
Denkfehler, weil sich auch der Winkel zwischen  $V_{\text{Netz}}$  und  $\Delta V$  ändert!



12. **Fisch mit Schwimmblase in der Verengung: A, B oder C?**

In der Verengung ist die Strömungsgeschwindigkeit größer, daher ist (bei gleicher Höhe) nach Bernoulli der *statische Druck kleiner*. Die gasgefüllte Schwimmblase dehnt sich bei kleinerem Außendruck (näherungsweise  $pV \approx \text{const.}$ ) aus:

$$p \downarrow \Rightarrow V_{\text{Blase}} \uparrow \Rightarrow \text{Fisch wird "dicker"}$$

Also passiert **C** (in der Engstelle aufgebläht; danach wieder zurück, wenn der Druck steigt).