

Name/Vorname: \_\_\_\_\_/\_\_\_\_\_ Matr.-Nr./Knz.: \_\_\_\_\_/\_\_\_\_\_

**1. PV-Anlage (33 Punkte)**

Für eine Photovoltaikanlage (47° nördliche Breite, 30° Generatorazimut) ergeben sich nach nachfolgender Tabelle die Monatssummen der Strahlungsenergie auf die geneigte Fläche:

*Tabelle 1 – Monatssummen HG in kWh/m<sup>2</sup> in Abhängigkeit des Anstellwinkels  $\beta$  in °*

Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Ges	$\beta$
57,97	72,52	128,65	156,00	174,84	165,00	166,78	143,53	115,20	96,10	58,20	46,19	1380,98	0
84,85	92,62	150,94	168,07	178,00	164,99	168,41	148,98	126,98	119,30	79,54	69,05	1551,73	20
95,47	99,94	158,16	169,18	175,32	160,67	164,05	147,28	128,64	126,72	88,07	78,63	1592,12	30
100,08	107,29	160,59	168,74	172,36	157,06	161,20	145,51	129,01	129,75	91,48	82,49	1605,55	35
107,53	107,16	162,30	164,97	164,16	148,56	152,60	140,17	127,10	132,75	96,59	89,17	1593,06	45
113,59	108,98	159,35	153,98	147,24	132,00	135,84	127,84	119,51	131,37	100,01	94,99	1524,70	60
107,37	96,86	132,12	115,85	99,38	87,91	92,01	89,54	90,07	108,67	90,80	91,18	1201,77	90

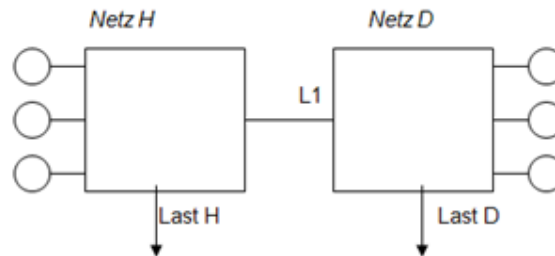
- (4) Welchen **Anstellwinkel**  $\beta$  müssten Sie wählen, um den **Jahresertrag zu optimieren**?
- (4) Welchen **Anstellwinkel**  $\beta$  müssen Sie wählen, um den Monatswert, der den **geringsten Ertrag** aufweist, zu **maximieren**?
- (6) **Vergleichen** Sie die Jahreserträge und den Monatswerte der Punkte a. und b. und **interpretieren** Sie die Unterschiede.
- (8) **Beschreiben** Sie das **Drei-Komponentenmodell** und **interpretieren** Sie den Einfluss des Anstellwinkels auf die jeweiligen Monatserträge. Welche Anteile werden vermutlich wann dominieren?

Die nun betrachtete PV-Anlage habe einen Gesamt-Wirkungsgrad (Zelle + Wechselrichter) von 12% und einen Anstellwinkel von 35°.

- (3) Welche **Fläche** müsste der **Solargenerator** dieser Anlage aufweisen, damit diese im Jahr ca. 2 MWh Energieoutput erzielt?
- (8) Berechnen Sie die **mittlere Leistungsabgabe** der PV-Anlage für jedes Monat (nehmen Sie vereinfachend an, dass die Anlage zu 50% der Zeit aktiv ist) und **interpretieren** Sie die Leistungswerte.

## 2. Kraftwerksausfall (33 Punkte)

Ein Verbundnetz besteht aus einer Regelzone „H“ und einer Regelzone „D“. Der Kraftwerksmix ist in beiden Netzen gleich. Beide Netze sind durch eine Kuppelleitung L1 verbunden. Die Nennfrequenz beträgt 50 Hz.



Daten der Teilnetze:

Netz	$P_{Gn}$	$P_G$	$P_L$	$ K_L $
H	5500MW	4800MW	5000MW	$0,0025 \times P_L / \text{Hz}$
D	4000MW	3700MW	3500MW	$0,0035 \times P_L / \text{Hz}$

Im **Netz D** fällt ein Kraftwerk mit einer **Erzeugungsleistung** von **200 MW** und einer **Nennleistung** von **250MW** aus.

- (3) Wie groß sind die **Übergabeleistungen** vor Auftreten der ungeplanten Leistungsänderungen (Erzeugung und Verbrauch) zwischen den Regelzonen?
- (8) Wie groß ist die **stationäre Frequenzabweichung** im Verbundnetz wenn sich alle restlichen Kraftwerke in beiden Netzen an der Primärregelung mit einem Proportionalitätsgrad von 4%/ % beteiligen? (ohne Selbstregeleffekt der Lasten)
- (6) Wie groß ist die **stationäre Frequenzabweichung** im Verbundnetz, wenn neben der Primärregelung der Generatoren noch der **Selbstregeleffekt** der Lasten berücksichtigt wird?
- (4) Wie groß ist der **Leistungsrückgang der Lasten** und welche **zusätzliche Erzeugungsleistung** müssen beide Netze für die Stabilisierung der Frequenzabweichung liefern? (Es sind der Verbraucher-Selbstregeleffekt und die Primärregelung zu berücksichtigen)?
- (6) Wie groß sind die **Übergabeleistungen** nach der Primärregelung zwischen den Netzen?
- (6) Bestimmen Sie den **Regelzonenfehler** und beurteilen Sie danach in **welcher Zone** die **Sekundärregelenergie** aufzubringen ist.

### 3. Windenergieanlage mit Pitch-Regelung (33 Punkte)

Eine Pitch-geregelte Windkraftanlage hat folgende Kenndaten:

Rotordurchmesser:	$D_{Rotor} =$	126 m
Windnenngeschwindigkeit:	$v_N =$	12,5 m/s
Nabenradius:	$r_{Nabe} =$	4 m
Beginn der Abregelung:	$v_{Abschalt, 1} =$	27 m/s
Ende der Abregelung:	$v_{Abschalt, 2} =$	30 m/s

Messergebnisse der Leistungstests (Werte in Nabenhöhe):

Erreichen des Losbrechmoments bei	$v_{Los} =$	3 m/s
Windgeschwindigkeit vor der Turbine:	$v_1 = v_N =$	12,5 m/s
Leistungsbeiwert bei $v_1$ :	$c_p =$	0,452
Luftdichte:	$\rho_L =$	1,225 kg/m <sup>3</sup>

Leistung über der Windgeschwindigkeit  $v_W$ :

$v_W < v_{Los}$	Flautenbereich ( $P = 0$ )
$v_{Los} < v_W \leq v_N$	Teillastbereich
$v_N < v_W < v_{Abschalt, 1}$	Volllastbereich ( $P = P_N$ )
$v_{Abschalt, 1} \leq v_W \leq v_{Abschalt, 2}$	Abregelbereich <sup>*)</sup>
$v_W > v_{Abschalt, 2}$	Abschaltung ( $P = 0$ )

<sup>\*)</sup> Die Anlage führt statt einer Abschaltung eine kontrollierte Reduktion der eingespeisten Leistung durch (Abregelung). Dabei wird die Leistung  $P$  linear mit der Windgeschwindigkeit von  $P = P_N$  bei  $v_W = v_{Abschalt, 1}$  auf  $P = 0$  bei  $v_W = v_{Abschalt, 2}$  reduziert!

Die Jahresdauerlinie für das Winddargebot sei durch die folgende Funktion beschrieben:

$$v_W(t) = v_{max} \cdot e^{-\frac{t}{T}} \quad \text{mit} \quad v_{max} = 40 \text{ m/s} \quad \text{und} \quad T = 2600 \text{ h}$$

Der Gesamtwirkungsgrad von Generator und Getriebe beträgt  $\eta_{Ges} = 0,92$ .

- (3) Wie groß ist die **elektrische Nennleistung** des Windrades?
- (9) **Skizzieren** Sie schematisch die gegebene **Jahresdauerlinie der Windgeschwindigkeit** und zeichnen sie die **Bereiche** (Flaute, Teillast, Volllast, Beginn und Ende der Abregelung) ein. Stellen Sie auch den **Verlauf der eingespeisten Leistung** in den Bereichen schematisch dar.
- (4) Berechnen Sie die **Zeitpunkte** für die **Übergänge** zwischen Teillast, Volllast, Beginn und Ende der Abregelung.
- (4) Wie groß ist die im **Volllastbereich erzeugte Energie** in GWh?
- (7) Wie groß ist die im **Abregelbereich erzeugte Energie** in GWh?
- (3) Im Teillastbereich wird pro Jahr eine Energiemenge von 5,32 GWh erzeugt. Wie groß ist die **Volllaststundenzahl** der gegebenen Anlage?
- (3) Wie hoch wäre die **Volllaststundenzahl**, wenn statt der Abregelung eine simple Abschaltung bei  $v_W \geq v_{Abschalt, 1}$  durchgeführt würde (d.h. **keine Abregelung**)?