

## Lösungen zu Kapitel 11:

Hinweis: Bei den folgenden zwei Aufgaben geht es lediglich um Abschätzungen. Es gibt verschiedene Wege zur Lösung, daher sind die vorgestellten Lösungswege nur als Beispiel zu sehen. Die alternativen Lösungen sollten aber ähnliche Ergebnisse liefern.

### Aufgabe 11.1: Potentialschätzung bei Schrägdächern

Das Saarland hat eine Fläche von 2570 km<sup>2</sup>.

- a) Welches theoretische Potential hat diese Fläche?

$$\text{Aus Abbildung 2.7: } H' \approx 1075 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \cdot \text{a}}$$

Theoretisches Potential:

$$W_{\text{Theoretisch}} = A \cdot H' = 2750 \text{ km}^2 \cdot 1075 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \cdot \text{a}} = 2,956 \cdot 10^{12} \frac{\text{kWh}}{\text{a}} \approx \underline{3 \cdot 10^{12} \text{ kWh/a}}$$

- b) Dachflächen:  $A_{\text{Schräg}} \approx 0,3 \% \cdot 2750 \text{ km}^2 = \underline{7,71 \text{ km}^2}$

Optische Energie auf schräge Fläche (incl. Neigungsverluste von 15 %, siehe Tabelle 10.1):

$$W_{\text{Optisch\_Schräg}} \approx 1.200 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \cdot \text{a}} \cdot 0,85 \cdot \frac{H'}{H} \cdot A_{\text{Schräg}} \approx 1.200 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \cdot \text{a}} \cdot 0,85 \cdot \frac{1075}{1000} \cdot 7,71 \text{ km}^2 \approx \underline{8,45 \text{ TWh/a}}$$

- c) Leistung:  $P_{\text{STC}} = A_{\text{Schräg}} \cdot E_{\text{STC}} \cdot \eta_{\text{Modul}} = 7,71 \text{ km}^2 \cdot 1000 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \cdot 0,2 = \underline{1,54 \text{ GWp}}$

$$\text{Elektrische Energie: } W_{\text{Elektrisch\_Schräg}} = W_{\text{Optisch\_Schräg}} \cdot \eta_{\text{System}} = 8,45 \cdot 10^9 \frac{\text{kWh}}{\text{a}} \cdot 0,18 = \underline{1,52 \text{ TWh/a}}$$

### Aufgabe 11.2: Potentialschätzung bei Freiflächen

Angenommen, Sie haben einen Hektar Freifläche im Saarland zur Verfügung.

- a) Tiefster mittäglicher Sonnenwinkel nach Gleichung (2.6):  $\gamma_{S\_Max} = 66,6^\circ - \varphi = 66,6^\circ - 49^\circ = \underline{17,6^\circ}$   
Flächennutzungsgrad mit Gleichung (9.4) und (9.5):

$$f_{Nutz} = \frac{b}{d_{Min}} = \frac{\sin(\gamma_S)}{\sin(\gamma_S + \beta)} = \frac{\sin(17,6^\circ)}{\sin(17,6^\circ + 20^\circ)} = 49,6\% \approx \underline{50\%}$$

- b) Modulfläche:  $A_{Modul} = f_{Nutz} \cdot A_{Freifläche} = 0,5 \cdot 10.000 \text{ m}^2 = \underline{5.000 \text{ m}^2}$

$$\text{PV-Leistung: } P_{STC} = A_{Modul} \cdot E_{STC} \cdot \eta_{Modul} = 5.000 \text{ m}^2 \cdot 1000 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \cdot 0,2 = \underline{1 \text{ MWp}}$$

$$\text{Elektrische Energie nach Gleichung (10.4): } W_{\text{ElektrischPV}} = A_{Modul} \cdot f_{Nutz} \cdot \eta_{Modul} \cdot E_{STC} \cdot \frac{H'}{H} \cdot Y_F$$

$$\Rightarrow W_{\text{ElektrischPV}} = 10.000 \text{ m}^2 \cdot 0,5 \cdot 0,2 \cdot 1000 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \cdot \frac{1075}{1000} \cdot 900 \frac{\text{kWh}}{\text{kWp} \cdot \text{a}} = \underline{967.500 \text{ kWh/a}}$$

Alternativer Rechnungsweg:

$$\text{Elektrische Energie: } W_{\text{Elektrisch}} = W_{\text{Optisch}} \cdot \eta_{\text{System}}$$

$$\Rightarrow W_{\text{Elektrisch}} = 1200 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \cdot \text{a}} \cdot \frac{H'}{H} \cdot A_{Modul} \cdot \eta_{\text{System}} \approx 1200 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \cdot \text{a}} \cdot \frac{1075}{1000} \cdot 5000 \text{ m}^2 \cdot 0,18 \approx \underline{1,2 \text{ Mio. kWh/a}}$$

- c) Nach Abschnitt 10.1.4 erbringt Energiemais eine elektrische Energie von ca. 17.000 kWh/a.  
Somit erbringt die Photovoltaik auf der gleichen Fläche etwa das 57- bis 70-fache an elektrischer Energie

### Aufgabe 11.3: Markt- und Preisentwicklung

- a) Die Lernrate beschreibt, um wieviel Prozent sich die Kosten eines Produktes verringern, wenn sich die kumulierte hergestellte Menge des Produktes verdoppelt hat.
- b) Die Netzparität gibt den Fall an, dass der Strom aus Photovoltaikanlage billiger ist als der Strompreis für normale Tarifkunden.

### Aufgabe 11.4: Heutiges Stromversorgungssystem

- a) Unter Regelenergie versteht man die Energie, die bereitgestellt werden muss, um unvorhergesehene, kurzzeitige Differenzen zwischen Stromangebot und Stromnachfrage auszugleichen.
- b) Sobald die Netzfrequenz um mehr als  $\pm 0,01$  Hz von der Normfrequenz 50 Hz abweicht, muss die Regelleistung aktiviert werden. Diese muss innerhalb von 30 Sekunden in vollem Umfang bereitgestellt werden und dann für mindestens 15 Minuten aufrechterhalten werden.
- c) Bestimmte Kraftwerke halten einige Prozente ihrer Erzeugungsleistung als Reserve frei.
- d) Photovoltaik und Windkraft haben ein gutes Ausgleichspotential. Bei Sonnenschein weht meist nur ein schwacher Wind und umgekehrt. Auch jahreszeitlich ergänzen sie sich gut: Im Winterhalbjahr überwiegt die Windkraft, im Sommerhalbjahr die Photovoltaik.

#### Aufgabe 11.5: Zukünftige Energieversorgung

- a) Man geht davon aus, dass in Zukunft weitere Anwendungen wie Elektroautos oder Wärmebereitstellung (Power-to-Heat) zu höherem Strombedarf führen.
- b) Das Umweltbundesamt nimmt an, dass die im Jahr 2050 vorhandenen Elektroauto-Batterien rund 180 GWh als externe Stromspeicherkapazität bieten können. Bei einer angenommenen mittleren Last des Stromnetzes (siehe Seite 326) von 70 GW ergibt sich eine maximale Zeitdauer von  $180 \text{ GWh} / 70 \text{ GW} = 2,6 \text{ h}$ .
- c) Die Power-to-Gas-Technologie ermöglicht einen Saisonspeicher für Strom, da das erzeugte „erneuerbare Methan“ in Erdgasspeichern gelagert werden kann. Der Wirkungsgrad von Strom über Methan zu Strom liegt zwischen 30 und 38 %. Idealerweise sollte die bei den Umwandlungsprozessen entstehende Wärme genutzt werden.