

1. Sie wollen Ihr Haus mit Energie von regenerativen Energiequellen autark versorgen.
Die Heizwärme holen Sie mittels einer elektrisch betriebenen Wärmepumpe aus dem Erdreich Ihres Gartens. Der Strom soll aus dem Sonnenlicht mittels Photovoltaik gewonnen werden.
 - a) Was ist eine Wärmepumpe ? Beschreiben Sie die Wirkungsweise anhand des Schaltbildes und TS-Diagramms. Welche Stoffe werden hierbei eingesetzt?
 - b) Ihr Haus hat einen Heizwärmebedarf von $P = 16 \text{ kW}$ bei $\vartheta = 45 \text{ }^\circ\text{C}$ Vorlauftemperatur. Die Kennziffer der Wärmepumpe beträgt $\varepsilon = 4$. Der Boden des Gartens hat eine Wärmekapazität von $C = 20 \text{ W/m}^2$ und eine mittlere Temperatur von $\vartheta = 5 \text{ }^\circ\text{C}$.
Wie groß ist die erforderliche elektrische Bedarfsleistung Ihrer Wärmepumpe und welche Gartenfläche benötigen Sie?
 - c) Was ist eine Solarzelle? Beschreiben Sie den Aufbau und die Wirkungsweise anhand eines Prinzipbildes und geben Sie Zahlenwerte für charakteristische Größen an (Wirkungsgrad, Nennstrom, Nennspannung, Größe, etc.).
Welche Bedeutung hat die Strom-Spannungs-Kennlinie für eine Solarzelle ?
Welche Leistung kann ein 1 Quadratmeter großes Solarzellenmodul im Mittel an einem Sommertag und Wintertag abgeben? Wie groß ist die mittlere Strahlungsenergie der Sonne pro Quadrat und Jahr in Deutschland?
 - d) Wieviel Solarzellenflächen müssen Sie auf Ihrem Hausdach zur Versorgung der Wärmepumpe mit Strom bereitstellen?
Was würde diese Photovoltaikanlage etwa kosten?

2. Die Bundesrepublik Deutschland (356.000 km^2) soll visionär ausschließlich mit regenerativen Energien und Kernfusion versorgt werden. 60 v.H. des Primärenergieverbrauchs sollen aus der Sonnenstrahlung mittels Solarzellen und aus der Umgebungswärme mittels Wärmepumpen gewonnen werden, 20 v.H. aus Wasserkraft, Windkraft, Biomasse und Müll und die restlichen 20 v.H. aus der Kernfusion.
 - a) Welche Prozentanteile am PEV von derzeit rd. $12 \cdot 10^{18} \text{ J/a}$ haben Raumwärme, Prozesswärme, Kraft und Licht?
Bei welchen Prozessenergien bestehen Einsparungspotentiale und wie hoch schätzen Sie diese?
 - b) Die Raumwärme soll über elektrisch betriebene Wärmepumpen gewonnen werden.
Was ist eine Wärmepumpe (Schaltschema, charakteristische Größen)?
Wie viel elektrische Arbeit und Bodenflächen sind erforderlich, um die Wärme aus dem Boden (Wärmekapazität $C=20 \text{ W/m}^2$) gleichmäßig über das Jahr zu gewinnen?
 - c) Kraft und Licht soll über Photovoltaik gewonnen werden.
Wie viel Solarzellenflächen müssten hierfür installiert werden?

3. Ein Vier-Personen-Haushalt mit Doppelhaushälfte und einem Auto soll visionär ausschließlich mit regenerativen Energien versorgt werden.
 - a) Welche Prozentanteile am EEV von rd. 180 GJ pro Jahr eines solchen Haushaltes haben Raumwärme, Brauchwasser, Kraft (Elektrogeräte, Elektroauto) und Licht ?
Bei welchen Prozessenergien bestehen Einsparungspotentiale und wie hoch schätzen Sie diese?

- b) Die Raumwärme soll über eine elektrisch betriebene Wärmepumpe gewonnen werden.
Was ist eine Wärmepumpe (Schaltschema, charakteristische Größen) ?
Wie viel elektrische Arbeit und Bodenflächen sind erforderlich, um die Wärme aus dem Boden (Wärmekapazität $C = 20 \text{ W/m}^2$) im Winterhalbjahr zu gewinnen?
- c) Kraft und Licht sollen über Photovoltaik gewonnen werden.
Wie viel Solarzellenflächen müssten hierfür bei kontinuierlichem Betrieb über Tag und Jahr installiert werden?
Wie könnte zukünftig die Energie für Kraft und Licht bei Nacht und im Winter bereitgestellt werden?
4. a) Welchen Anteil hatten die regenerativen Energien am Primär-Energieverbrauch in Deutschland im Jahr 2000?
- b) Stellen Sie ein realitätsbezogenes Modell der Energieversorgung der Zukunft auf, bei dem Deutschland so weit wie möglich mit regenerativen Energien versorgt wird. Mit welchen regenerativen Energien, Verfahren und Deckungsgraden würden Sie folgende Endenergie-Gruppen bedienen:
- Kraft Verkehr (30%)
 - Raumwärme (33%)
 - Prozesswärme (22%)
 - Kraft Wirtschaft u.a. (13%)
 - Licht (2%)
- Geben Sie kurze Begründungen dazu.
In Klammern sind die derzeitigen Anteile am End-Energieverbrauch (Jahr 2000) angegeben.
5. Auf einem Einfamilienhaus soll eine Photovoltaikanlage mit maximal möglicher Leistung errichtet werden. Das Haus ist 9,2 m lang und 8 m breit. Die Dachneigung beträgt 30° . Die Dachfläche ist nach Süden ausgerichtet und hat keinerlei Dachfenster oder sonstige Aufbauten. An jeder Dachseite (außer Firstseite) ist ein Überstand von 0,4 m vorhanden. Bei der Modulbelegung ist nach allen Seiten hin ein Randabstand zur Dachkante von 0,3 m einzuhalten. Zwischen den Modulen sind immer 2 cm Abstand notwendig. Es stehen Ihnen folgende Module zur Auswahl:
- Solon P220/6+ (1,66 m hoch, 1 m breit, 220 Wp)
 - Sharp NuS0E3E (1,32 m hoch, 1 m breit, 180 Wp)
- a) Berechnen Sie die vorhandene Dachfläche (auf ganze Zahlen runden) und fertigen Sie eine Skizze der Dachfläche und des nutzbaren Feldes im Maßstab 1 : 100 an.
- b) Mit welchen Modulen erzielt man maximale Leistung der Anlage?
Wäre diese Anordnung auch kostenseitig optimal?
Was ist bei der Installation der Module zu beachten?
- c) Skizzieren Sie die Anlage mit allen weiteren Komponenten die zur Einspeisung der umgewandelten Sonnenenergie benötigt werden mit kurzer Erläuterung der Aufgabe der einzelnen Bauteile.
- d) Mit welcher jährlichen Vergütung können Sie für diese Anlage rechnen?
6. Stellen Sie ein realitätsbezogenes Modell der Energieversorgung der Zukunft auf, bei dem Deutschland so weit wie möglich mit regenerativen Energien versorgt wird. Mit welchen regenerativen Energien, Verfahren und Deckungsgraden würden Sie

folgende Endenergie-Gruppen bedienen:

- Kraft Verkehr (30%)
- Raumwärme (33%)
- Prozesswärme (22%)
- Kraft Wirtschaft u.a. (13%)
- Licht (2%)

Geben Sie kurze Begründungen dazu.

In Klammern sind die derzeitigen Anteile am End-Energieverbrauch (Jahr 2000) angegeben.

8. Bei der Abschlussdiskussion gaben Sie dem Straßenverkehr über die Energiekette Photovoltaik – Wasser-Elektrolyse – H₂-Kraftstoff – Brennstoffzelle die größten Zukunftschancen. Lassen Sie uns nun abschätzen, ob dies weltweit die Lösung sein kann.

Dazu werden Solarzellenanlagen in der Wüste Sahara (8 Mio. km²) aufgestellt. Der Strom werde an die Küsten geleitet (Leistungsverlust 3 %), Meerwasser dort in Elektrolyseanlagen in H₂ und O₂ gespalten (Wirkungsgrad 90 %) und der Wasserstoff flüssig in Kryoschiffen rund um die Welt und weiter in Pipelines zu Verteilstationen transportiert (Verlust 10%). Mit riesigem Kostenaufwand werde ein Tankstellennetz für flüssigen Wasserstoff aufgebaut. Autos (Pkw, Lkw) verbrennen den Wasserstoff in Brennstoffzellen kalt zu Strom, der einen Elektromotor antreibt (Wirkungsgradkette im BZ-Auto rund 40 %; Wirkungsgradkette beim Verbrennungsmotor-Auto im Mittel 20 % (Tank, Motor, Getriebe, Rad)).

Der Kraftstoffverbrauch für Fahrzeuge betrug weltweit 80 EJ im Jahr 2000 (Heizwert von Kraftstoff 43 MJ/kg, von H₂ flüssig 120 MJ/kg).

- a) Wie viel Prozent der Sahara-Fläche müsste mit Solarzellen überdeckt werden?
- b) Wie hoch wären die Herstellungskosten für 1 kg H₂? (Benzinkosten zum Vergleich 25 ct/kg).