

## Aufgabe 3 Informatik 1 WiSe 2024

### Ein Solaranlagen-Rechner



#### Kennzahlen einer Photovoltaikanlage

Die Leistung von Photovoltaikanlagen wird in Wp (Watt peak) oder kWp (Kilowatt peak) angegeben. Watt ist die physikalische Einheit für die Leistung. Die englische Bezeichnung "peak" bezieht sich dabei auf die **höchstmögliche** Leistung der PV-Anlage.

Die Strahlungsleistung der Sonne liegt in Deutschland bei ca.  $1000 \text{ W/m}^2$ , d.h. pro Quadratmeter einer senkrecht zur Sonne stehenden Fläche wird ca. 1 kW Leistung eingestrahlt. Dieser Wert ist in Norddeutschland etwas niedriger und in Süddeutschland etwas höher – für diese Aufgabe rechnen wir mit  $1000 \text{ W/m}^2$ .

Diese Leistung ist von Photovoltaikmodulen in der Realität unerreichbar – denn wenn Sonnenenergie in Strom gewandelt wird, treten immer Verluste auf. Somit liegt der Wirkungsgrad von Photovoltaik-Modulen bei lediglich rund 15 – 23 Prozent.

Die maximale Leistung einer Photovoltaikanlage berechnet sich also wie folgt:

$$P_{max} = w \cdot a \cdot P_{qm}$$

w: Wirkungsgrad 0 – 1 (das entspricht 0 – 100%)

a: Fläche in Quadratmetern

$P_{qm}$ : Strahlungsleistung der Sonne ( $1000 \text{ W/m}^2$ )

Durch Umstellen der Formel ergibt sich die Berechnung der benötigten Fläche für eine angestrebte maximale Leistung wie folgt:

$$a = \frac{P_{max}}{w \cdot P_{qm}}$$

### Aufgabe 3.1:

<https://codeboard.io/projects/467432>

#### Flächenbedarf-Rechner

Schreiben Sie ein C-Programm, welches die benötigte Solarmodulfläche basierend auf gewünschter Maximalleistung und Wirkungsgrad berechnet und ausgibt.

Per ***scanf*** soll von der Tastatur die gewünschte **Maximalleistung** in Watt Peak und der **Wirkungsgrad** der verwendeten Module in Prozent **eingegeben** werden (jeweils als ganze Zahl).

Nach der **Berechnung** soll die benötigte **Fläche** in Quadratmetern mit ***printf*** **ausgegeben** werden (mit Nachkommastellen).

Bedenken Sie, dass der eigentliche Wirkungsgrad in der Berechnung zwischen 0 und 1 liegen muss. Der in Prozent eingegebene Wert muss also in der Berechnung noch durch 100 dividiert werden.

In der Vorlage sind folgende Variablen vorgesehen:

```
int p_max:    maximale Gesamtleistung [Watt Peak]
int w:        Wirkungsgrad [%]
float a:      Fläche [m²]
```

Es wird wahrscheinlich nicht auf Anhieb funktionieren – das ist so gewollt.

Überlegen Sie, was bei dem Rechnen mit ganzen Zahlen (int) im Falle der Division passieren kann.

Ein kleines Beispiel hierzu:

```
int a = 15;
int b;

b = a / 100;
```

Welcher Wert steht jetzt wohl in b?

Sprechen Sie mit der Betreuung im Praktikum über dieses Problem und wie es vielleicht gelöst werden kann.

Viel Spaß bei der Bearbeitung 😊

### Aufgabe 3.2:

<https://codeboard.io/projects/467434>

#### Preiskalkulator

Kopieren Sie zuerst Ihr Programm aus 3.1. Dieses soll nun erweitert werden.

Die Kosten für eine Solaranlage sind **nicht linear** proportional zur Leistung. Das liegt daran, dass die Gesamtkosten sich aus den Kosten für die Module und den Installationskosten zusammensetzen, wobei für die Installation immer gewisse Fixkosten anfallen.

Eine Firma verbaut Module mit einem Wirkungsgrad von 22% und hat folgende Preisberechnung festgelegt:

Fläche Solarmodule	Preis inkl. MwSt.
weniger als 10 m <sup>2</sup>	Keine Auftragsannahme
10 bis weniger als 20 m <sup>2</sup>	430 Euro / m <sup>2</sup>
20 bis weniger als 30 m <sup>2</sup>	360 Euro / m <sup>2</sup>
30 bis weniger als 40 m <sup>2</sup>	320 Euro / m <sup>2</sup>
40 bis weniger als 50 m <sup>2</sup>	300 Euro / m <sup>2</sup>
ab 50 m <sup>2</sup>	290 Euro / m <sup>2</sup>

Erweitern Sie Ihr Programm aus 3.1 so, dass basierend auf der ermittelten Fläche der Gesamtpreis für die Solaranlage berechnet und ausgegeben wird. **Nutzen Sie hierfür Verzweigungen.**

Das Programm sollte nun einigermaßen realistische Bruttopreise (Stand Herbst 2023) ausgeben.

### Aufgabe 3.3:

<https://codeboard.io/projects/467435>

#### Berechnung der Amortisationsdauer

Kopieren Sie zuerst Ihr Programm aus 3.2. Dieses soll nun erweitert werden.

Den bei einer Berechnung ermittelten Preis können wir nutzen, um die sog. **Amortisationsdauer** der PV-Anlage zu berechnen. Hierbei geht es um die **Anzahl der Jahre**, nach denen:

- die **Einnahmen** (für Einspeisung von Strom)
- und die **Einsparung** von Kosten (für Selbstnutzung von Strom)

den Kaufpreis der Anlage aufwiegen.

Man könnte auch sagen, die Amortisationsdauer bezeichnet die Anzahl der Jahre, die es ungefähr braucht, bis die Anlage unter dem Strich gesehen für ein Plus in der Kasse sorgt, sich also **wirtschaftlich gelohnt** bzw. amortisiert hat.

**Sehr vereinfacht** lässt sich die Amortisationsdauer berechnen, indem man den **Preis** für die Anlage durch die Summe ihrer **jährlichen** finanziellen **Einnahmen** und **Einsparungen** dividiert.

Für die Berechnung muss zunächst einmal klar sein, **wieviele Energie** (in kWh) die Anlage **pro Jahr durchschnittlich** produziert. In Deutschland liegt der durchschnittliche **jährliche Energieertrag** bei ca. **950 kWh pro 1000 Wp** installierter max. Leistung – dieser Wert soll hier verwendet werden.

Das bedeutet, dass der **Energieertrag pro Jahr** (in kWh) sich aus dem Wert der **Variable p\_max** im Programm berechnen lässt.

Es gilt also:

$$Ertrag_{energie} = P_{max} \cdot 0,95$$

Wie berechnen sich nun die **finanziellen Einnahmen pro Jahr** für die **Einspeisung** von Strom ins Netz?

Eigentlich ganz einfach:

$$Einnahmen_{einspeis} = Ertrag_{energie} \cdot Anteil_{einspeis} \cdot Verguetung_{einspeis}$$

Und die **finanzielle Einsparung pro Jahr** für die **Selbstnutzung** des eigenen Stroms?

$$Einsparung_{nutz} = Ertrag_{energie} \cdot Anteil_{nutz} \cdot Strompreis_{anbieter}$$

mit:

Ertrag <sub>energie</sub> :	Energie / Jahr [kWh]
Anteil <sub>einspeis</sub> :	Anteil der Einspeisung ins Netz [0 bis 1 – das entspricht 0 bis 100%]
Anteil <sub>nutz</sub> :	Anteil der Selbstnutzung [0 bis 1 – das entspricht 0 bis 100%]
Verguetung <sub>einspeis</sub> :	Vergütung für Einspeisung [Euro pro kWh]
Strompreis <sub>anbieter</sub> :	Strompreis beim Anbieter [Euro pro kWh]

Hierbei sollte klar sein, dass eine **100%ige Selbstnutzung** des erzeugten Stroms ohne zusätzlichen Speicher (z.B. Akku) **nicht möglich** ist. Der mögliche **Anteil der Selbstnutzung** liegt bei wirtschaftlich ausgewogen dimensionierten PV-Anlagen (**ohne Akku**) nur **bei 20 – 40 %**.

Für den weiteren Verlauf dieser Aufgabe **rechnen** wir vereinfacht mit einem **festen Anteil** der möglichen **Selbstnutzung von 0,3 (30 %)**. Es geht also um eine **PV-Anlage ohne Speicher/Akku** und wir betrachten Häuser **ohne Wärmepumpe** (das würde sonst zu kompliziert).

**Hinweis:** Die Anteile von Einspeisung und Selbstnutzung ergeben **zusammen immer 1 (100%)**.

**Anmerkung:** Bei den genehmigungsfreien **Mini-Anlagen** bis zu 800 Wp kann der Anteil der Selbstnutzung höher sein – diese sehr kleinen Anlagen **werden hier nicht betrachtet**.

Als **Formel** für die Berechnung der Amortisationsdauer ergibt sich nun:

$$t = \frac{Preis}{Einnahmen_{einspeis} + Einsparung_{nutz}}$$

mit:

t:	Zeit in Jahren	
Preis:	Gesamtpreis der Anlage	(in Euro)
Einnahmen <sub>einspeis</sub> :	Einnahmen durch Einspeisung pro Jahr	(in Euro)
Einsparung <sub>nutz</sub> :	Einsparung durch Selbstnutzung pro Jahr	(in Euro)

Der Solar-Rechner soll nun so erweitert werden, dass die Amortisationsdauer für unterschiedliche Maximalleistungen ( $p_{\max}$ ) berechnet werden kann.

Dafür benötigen wir erst einmal die Angaben der **Vergütung** für die in das Stromnetz **eingespeiste** Energie:

Laut dem **EEG 2023** wird unter anderem folgendes gelten:

- Anlagen mit **Volleinspeisung** (ohne Selbstnutzung):
  - bis 10.000 Wp 13,4 Cent (0,134 Euro) pro kWh
  - von 10.000 – 100.000 Wp 11,3 Cent (0,113 Euro) pro kWh
- Anlagen mit **Überschusseinspeisung** (mit Selbstnutzung):
  - bis 10.000 Wp 8,6 Cent (0,086 Euro) pro kWh
  - von 10.000 bis 40.000 Wp 7,5 Cent (0,075 Euro) pro kWh

**Anmerkung:** Das bedeutet, dass bei einem **Verzicht auf Selbstnutzung** ein deutlich **höherer Ertrag** bei der **Einspeisung** erzielt wird.

Da wir auch eine Berechnung für eine Anlage **mit Selbstnutzung** machen möchten, benötigen wir den (eingesparten) Preis pro kWh – also den **Preis**, den man sonst an den **Stromanbieter** gezahlt hätte.

Der Preis wird für diese Aufgabe (Stand 2023) so festgelegt:

- Strompreis Anbieter 37 Cent (0,37 Euro) pro kWh

**Anmerkung:** Wahrscheinlich werden die Strompreise langfristig steigen – der hier genannte Preis dient nur der Aufgabe.

**Nur zur Erinnerung** – wir rechnen in dieser Aufgabe mit einer Selbstnutzung von 30% (s.o.).

**Erweitern Sie Ihr Programm aus 3.2**, um eine **Berechnung** und Ausgabe der **Amortisationsdauer** (in Jahren) für die folgenden **zwei Fälle**:

- a. Die Anlage wird mit **Volleinspeisung** ohne Selbstnutzung betrieben.
- b. Die Anlage wird mit einer **Selbstnutzung** von **30%** betrieben, die restlichen **70%** werden in das **Stromnetz** eingespeist.

Testen Sie einfach mal verschiedene Eingabewerte für  $p_{\max}$  (zwischen 3000 und 12000) und schauen, was herauskommt...

### **Aufgabe 3.4:**

Kopieren Sie zuerst Ihr Programm aus 3.3. Dieses soll nun erweitert werden.

Versuchen Sie, Ihre Lösung aus 3.3 so zu erweitern, dass mit Hilfe einer Schleife eine ‚Tabelle‘ der Amortisationsdauern für mehrere  $p_{\max}$  von 3000 bis 12000 in 1000-er Schritten ausgegeben wird.

Die Eingabe von  $p_{\max}$  per Tastatur fällt also weg.

Für die Gestaltung der Ausgaben gibt es keine Vorgabe – hier geht es vielmehr um die Nutzung des Konstrukts ‚Schleife‘ für die Automatisierung von sich wiederholenden Vorgängen.

### **Aufgabe 3.5 (freiwillig):**

Die bisherigen Berechnungen haben keinerlei Zinsen berücksichtigt.

In der Praxis wird der private Kauf einer Solaranlage jedoch auch zinsliche, finanzielle Auswirkungen haben, denn:

- Bei Kauf auf Kredit muss der Kreditzins bezahlt werden.
- Bei Kauf aus Ansparung kann das Geld nicht anderweitig (gewinnbringend) verzinst werden.

Eine Berechnung der Amortisationsdauer wird dadurch natürlich deutlich komplizierter.

Versuchen Sie, Ihre Lösung aus 3.4 so zu ändern und zu erweitern, dass ein beliebiger Zinssatz (mit Nachkommastellen) per Tastatur eingelesen wird und darauf basierend die Amortisationstabelle ausgegeben wird.

### **Hinweis:**

Hier eine mathematische Formel für die direkte Berechnung zu finden, ist nicht trivial.

Einfacher sollte eine Lösung mit Hilfe einer kleinen Schleife sein, die z.B. von Jahr 1 bis zu Jahr  $n$  den neuen Kredit- bzw. Kontostand ausrechnet und entsprechend berücksichtigt.

Sprechen Sie mit der Betreuung im Praktikum über Ihre Ideen zu einer Lösung! 😊