

## 1. Wind- und Solarenergie

Das Thema Treibhauseffekt ist in aller Munde: Der Anteil von Kohlenstoffdioxidmolekülen in der Atmosphäre ist im letzten Jahrhundert dramatisch angestiegen. Waren es vor dem 19. Jahrhundert noch etwa 280 ppm (parts per million, CO<sub>2</sub>-Moleküle pro eine Million Luftmoleküle), so waren es im Jahr 2010 bereits 389 ppm. Der jährliche Zuwachs beträgt zurzeit in etwa 1,5 - 2 ppm. Hauptursache ist die Verbrennung fossiler Brennstoffe wie Erdöl, Gas und Kohle, deren vor Millionen von Jahren in der Erdkruste gespeicherter Kohlenstoff oxidiert wird und als gasförmiges Kohlendioxid in die Erdatmosphäre gelangt.

Ein anderes Problem sind die begrenzten Ressourcen dieser fossilen Brennstoffe. Je nach Betrachtungsweise sind die Erdölvorräte bei gleichbleibender Förderung und Verbrauch in etwa 35 Jahren, die Steinkohlevorräte in etwa 150 und die Braunkohlevorräte in etwa 300 Jahren aufgebraucht. Natürlich nicht einberechnet darin sind Vorräte, die in Zukunft erst entdeckt werden.

Um dem Problem der begrenzten Ressourcen zu begegnen und die Menge des in der Atmosphäre enthaltenen CO<sub>2</sub> zu reduzieren, gibt es seit einigen Jahrzehnten Bestrebungen, die Energieerzeugung auf regenerative Quellen umzustellen. Regenerativ bedeutet in diesem Fall, dass die verwendeten Energiequellen kontinuierlich wiederaufgefüllt werden und nicht aus Speichern entnommen werden, die schon in früheren Erdzeitaltern entstanden sind.

Quelle all dieser regenerativen Energie ist unsere Sonne. Deren Licht kann unter Anwendung des Photovoltaischen Effekts direkt in einen elektrischen Strom umgewandelt werden. Die Wärmestrahlung der Sonne kann in Kollektoren gesammelt und zum Heizen oder in Wärmekraftmaschinen verwendet werden. Aber auch sekundäre Effekte des Sonnenlichts bzw. ihrer Energie lassen sich zur Energieerzeugung nutzen, wie z.B. Wind- und Wasserkraft, Photosynthese und zu guter letzt auch die Gravitationskraft, welche die Sonne im Zusammenspiel mit dem Mond auf die Erde ausübt.



Abbildung 1 Wandlung der Windenergie in elektrische Energie mit Windrädern

In dieser Aufgabe sollt ihr euch intensiver mit zwei Methoden der regenerativen Energieerzeugung beschäftigen – der Wind- und der Solarenergieerzeugung. Im Aufgabenteil 1.1 wird es dabei um das Thema Wind und Windmessung gehen und ihr werdet in Aufgabe 1.2 ein einfaches Windmessgerät berechnen und aufbauen, welches ihr in einer späteren Aufgabe dieses Wettbewerbes anwenden sollt. In Aufgabe 1.3 werdet ihr euch mit Photovoltaikanlagen und dem zugrundeliegenden physikalischen Effekt auseinander setzen. Auch hier werdet ihr in einer späteren Aufgabe die Möglichkeit haben, euer Wissen beim Aufbau und dem Betrieb einer Miniatursolaranlage anzuwenden. Im letzten Aufgabenteil werdet ihr wirtschaftliche Betrachtungen zur Nutzung von Windkraftanlagen durchführen und Betrachtungen rund um das Thema Energiebereitstellung durchführen.

## 1.1 Vom Wind zur Windmessung

Windenergie ist die anteilmäßig bedeutendste Form regenerativer Energie. So werden etwa 7% der gesamten Elektroenergie in Deutschland aus Windkraft erzeugt, mit weiter steigender Tendenz. Aus diesem Grund werdet ihr euch in diesem Aufgabenteil mit dem Wind und seiner Messung auseinandersetzen.

- 1) Beschreibt in eigenen Worten und maximal drei Sätzen, wie Wind entsteht!
- 2) Erklärt in maximal zwei Sätzen das Prinzip der Windenergieerzeugung in einer Windkraftanlage!

Ein entscheidender Faktor bei der Energieerzeugung aus Wind ist die Windgeschwindigkeit oder auch Windstärke genannt. Nur an Orten mit stetigen, kräftigen Winden ist es wirtschaftlich sinnvoll, eine Windkraftanlage zu errichten. Um diese Standorte zu bestimmen, werden über einen langen Zeitraum die dort vorhandenen Windverhältnisse gemessen. Die dazu verwendeten Geräte werden Anemometer genannt.

- 3) Wo wird außerdem eine Windmessung benötigt? Nennt mindestens sechs Anwendungsbereiche!
- 4) Welche Arten von Anemometern (Windmessern) gibt es? Nennt mindestens vier Arten!
- 5) Nennt vier physikalische Wirkprinzipien von Anemometern!

Form der Lösung für die Unteraufgabe 1.1

Antworten auf die Fragen 1 - 5

## 1.2 Schwingplattenanemometer

Ein Schwingplattenanemometer ist ein einfaches Windmessgerät, welches ihr euch auch selbst bauen könnt. Damit ihr auch eine zahlenmäßige Aussage über die Windgeschwindigkeit bekommt, müsst ihr eine Skala dafür berechnen.

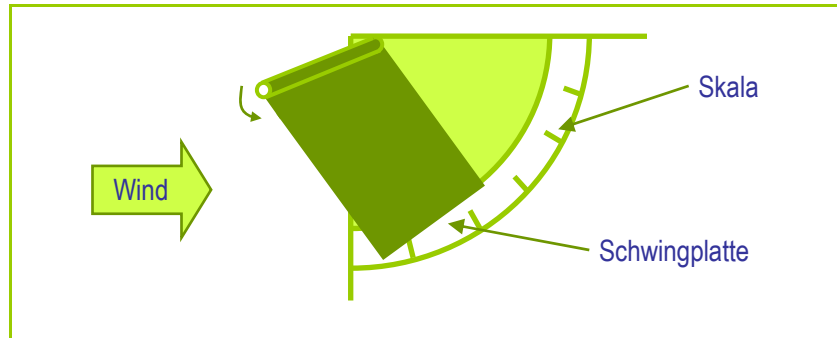


Abbildung 2 Schwingplattenanemometer

- 1) Beschreibt mit eigenen Worten die Funktionsweise eines Schwingplattenanemometers!

Hinweis: Formuliert die Erklärung in maximal 3 Sätzen!

Die abgelesene Windgeschwindigkeit eures Anemometers wird vom Winddruck bestimmt. Der Winddruck wiederum ist abhängig von der Windgeschwindigkeit, der Fläche der Schwingplatte und ihrem Gewicht sowie dem Strömungswiderstandskoeffizient  $c_w$  der Schwingplatte. Dieser wird umgangssprachlich auch Luftwiderstandsbeiwert genannt.

- 2) Was bedeutet der Strömungswiderstandskoeffizient  $c_w$ ? Welche Eigenschaft eines Körpers wird mit dieser Größe beschrieben?
- 3) Wovon ist der Strömungswiderstandskoeffizient eines Körpers abhängig?
- 4) Nennt jeweils drei Beispiele, bei dem ein besonders großer oder kleiner Strömungswiderstandskoeffizient erwünscht ist!

Der Luftwiderstandsbeiwert eurer Schwingplatte ändert sich mit dem Winkel der Auslenkung und ist somit eine komplexe Funktion, die ihr zwecks Vereinfachung der Berechnung als konstant ( $c_w=1,1$ ) annehmt. Erstmal sollt ihr euch überlegen, wie sich die Schwingplatte verhält, wenn sich der Wind ändert. In der schematischen Abbildung 1 könnt ihr sehen, dass die Schwingplatte dem Wind (genau genommen nur seiner horizontalen Komponente) eine windwirksame Fläche (vgl. Abbildung 3) entgegenstellt. Diese Fläche verändert sich mit dem Winkel  $\alpha$  der Auslenkung der Schwingplatte zur Vertikalen.

- 5) Welche Abhängigkeit (mathematische Funktion) besteht zwischen dem Winkel  $\alpha$  der Auslenkung der Platte und ihrer windwirksamen Fläche  $A_w$ ?

## 1.2 Schwingplattenanemometer - Fortsetzung I

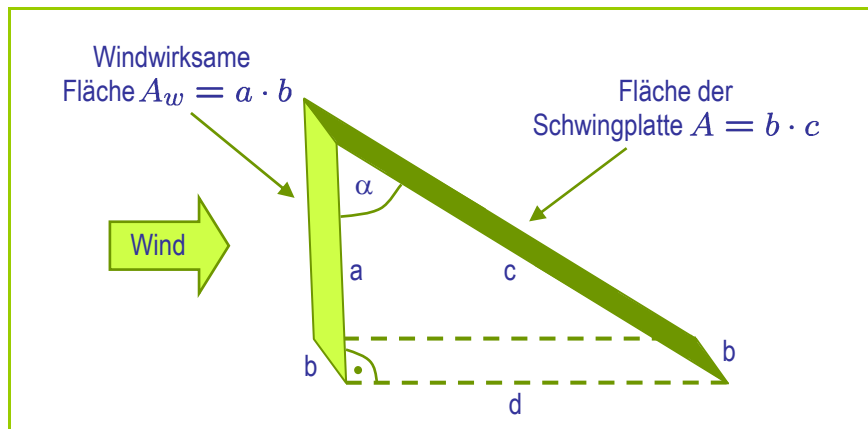


Abbildung 3 Schematische Darstellung des Schwingplattenanemometers

Mit dieser Funktion könnt ihr die windwirksame Fläche in Abhängigkeit des Winkels  $\alpha$  ermitteln, die ihr für die Berechnung der Kraft benötigt, die der Winddruck auf die Schwingplatte ausübt:

$$F = A_w \cdot p_{wind}$$

Die Formel zur Berechnung des Winddrucks  $p_{wind}$  auf einen Körper lautet:

$$p_{wind} = c_w \cdot \frac{\rho}{2} \cdot v_{wind}^2$$

wobei folgende Größen gelten:

- $A_w$  : windwirksame Fläche in  $m^2$
- $c_w$  : dimensionsloser Luftwiderstandsbeiwert bzw. Strömungswiderstandskoeffizient der Schwingplatte
- $v_{wind}$  : Windgeschwindigkeit in m/s
- $\rho$  : Dichte der Luft in  $kg/m^3$  (gesprochen: rho)

Die Dichte der Luft bei mittlerem Druck auf Meereshöhe von 1013,25 hPa (= 1013,25 Millibar = 760 Torr = 760 mmHg) ist  $1,204 \text{ kg/m}^3$  bei  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Wenn die Schwingplatte ausschwingt, wirkt ihre eigene Gewichtskraft nach unten und bewirkt, dass sie sich wieder in die vertikale Ausrichtung begibt (Winkel  $\alpha=0$ ). Die nach unten gerichtete Gewichtskraft  $G$  lässt sich mit der folgenden Formel berechnen:

$$G = m \cdot g$$

Verwendet für eure Schwingplatte ein vereinfachtes Modell, nach dem die nach unten wirkende Gewichtskraft immer konstant ist. Für die Erdbeschleunigung nehmt  $g = 9,81 \text{ m/s}^2$  an. Die Masse der Schwingplatte berechnet sich aus dem spezifischen Gewicht  $\gamma$  des verwendeten Materials, z.B. von schweren Karton (etwa  $300\text{g/m}^2$ ) und seiner Schwingplattenfläche  $A$  (nicht zu verwechseln mit der windwirksamen Fläche!).

Wenn die Schwingplatte durch den Wind ausgelenkt wird, bedeutet dies, dass die Windkraft und die Gewichtskraft gleich groß sind. Dies gilt, da hier ein vereinfachtes Modell verwendet wird. Es gilt:

$$F = G$$

## 1.2 Schwingplattenanemometer - Fortsetzung II

Wenn ihr oben genannte Formeln in diese Gleichung einsetzt, könnt ihr durch Umstellen der Formel die Windgeschwindigkeit  $v_{wind}$  für verschiedene Auslenkungswinkel  $\alpha$  ermitteln.

- 6) Berechnet die Windgeschwindigkeit für folgende Ausschläge eures Plattenanemometers: 30°, 60° und 75°!

Hinweis: Nehmt als Strömungswiderstandskoeffizient  $c_w$  für die Platte einen festen Wert von 1,1 an, der für einen quadratischen Körper gilt.

Als nächstes sollt ihr ein solches Schwingplattenanemometer bauen. Dazu geeignet ist beispielsweise ein Stück fester Karton, an deren oberer Kante ihr eine Achse befestigt (z.B. Holzstab). Die beiden Enden legt ihr auf zwei senkrechte Holz- oder Kartonplatten und fixiert diese, sodass sich die Schwingplatte nicht verschieben und frei schwingen kann. An den senkrechten Platten könnt ihr dann die Skala anbringen, die Empfehlung ist, mehrere Skalenwerte für z.B. 1, 3, und 5 m/s Windgeschwindigkeit anzubringen.

- 7) Baut einen Schwingplattenanemometer und erstellt ein Video bzw. Foto von Eurem Aufbau!
- 8) Führt Messungen unter folgenden Bedingungen: Windstille, leichter Wind, Starker Wind. Gebt den Ausschlagwinkel und die Windgeschwindigkeit an, für die drei Messungen! Verwendet die Tabelle 1 als Vorlage!

Hinweis: Bei der Angabe des Ausschlagwinkels  $\alpha$  ist eine grobe Angabe ausreichend. Zudem ist es möglich einen „künstlichen Wind“ zu verwenden, der durch einen Ventilator erzeugt wird.

Tabelle 1 Vorlage für die Erfassung der Messdaten

Messbedingung	Ausschlagwinkel $\alpha$	Windgeschwindigkeit $v_{wind}$
Windstille		
Leichter Wind		
Starker Wind		

### Form der Lösung für die Unteraufgabe 1.2

- Antworten auf Fragen 1 – 5
- Antwort auf die Frage 6 inkl. Rechenweg
- Bild bzw. Video von eurem Schwingplattenanemometer inkl. der sichtbaren Skala als Antwort auf die Frage 7
- Tabelle mit den Messdaten als Antwort auf die Frage 8

## 1.3 Photovoltaik

Eine weitere Möglichkeit der Nutzung regenerativer Energie ist die direkte Umwandlung des Sonnenlichts in elektrische Energie mittels Photovoltaik. Das zugrundeliegende Prinzip ist der photoelektrische Effekt, bei dem Elektronen durch die Energie eines Photons aus ihrer Atombindung herausgelöst werden. Wir betrachten hier speziell den photovoltaischen Effekt, der in Halbleiterelementen wie zum Beispiel Silizium vorkommt. Dabei findet eine Ladungstrennung statt, dessen elektrischer Spannungsabfall als elektrisches Signal oder zur Erzeugung von elektrischer Energie genutzt werden kann. Voraussetzung für die Ladungstrennung ist, dass das Elektron eine gewisse Mindestenergie aus dem Photon gewinnt, welche die eigene Bindungsenergie des Elektrons übersteigt. Dies erklärt auch, warum Photovoltaikanlagen erst ab einer bestimmten Strahlungsintensität Energie liefern können.

1) Welche weiteren Anwendungen des photovoltaischen Effekts kennt ihr?

Hinweis: Nennt mindestens zwei Anwendungen!

2) Weshalb wird hauptsächlich das Halbleiterelement Silizium in der Photovoltaikanlagen verwendet?

Die Strahlungsleistung, die den Planeten Erde erreicht, ist relativ konstant (entspricht der Solarkonstante  $E_0 = 1367 \text{ W/m}^2$ ). Das auf die Erdoberfläche einfallende Sonnenlicht wird aber durch verschiedene atmosphärische Einflüsse reduziert. So wird schon ein Teil an Wolken und Aerosolen in der Atmosphäre reflektiert bzw. von ihr selbst absorbiert. Diese Menge Energie ist abhängig von der Länge des Weges, den das Sonnenlicht durch die Atmosphäre zurücklegt. Dieser Weg hängt wiederum von dem Einfallswinkel des Lichts ab. So erreicht in Äquatornähe, wenn die Sonne senkrecht steht, etwa 80% des sichtbaren Lichts die Erdoberfläche.

3) Wie groß ist die gesamte prozentuale Menge des durch die Atmosphäre in unseren Breiten ( $51^\circ \text{ N}$ ) einfallenden Sonnenlichts zum Zeitpunkt des Äquinoktiums (Tag-und Nachtgleiche, Sonnenstand senkrecht über dem Äquator)?

Um das einfallende Sonnenlicht in elektrische Energie umzuwandeln, werden die Solarzellen zu Photovoltaikmodulen zusammengeschaltet. Diese sind dann leichter zu handhaben, sind mechanisch vor Witterungseinflüssen geschützt und stellen eine für die Netzeinspeisung brauchbare Spannung zur Verfügung. Ein wichtiger Faktor der Wirtschaftlichkeit der Photovoltaikmodule ist dabei ihr Erntefaktor. Dieser gibt das Verhältnis an, wie viel mehr Energie mit der Technologie erzeugt werden kann als in ihre Herstellung investiert werden muss. So ist der Energieaufwand für die Gewinnung und Verarbeitung des hochreinen Siliziums und den Bau des Moduls erheblich. Bei einem multikristallinen Solarmodul werden in etwa 12000 kWh Primärenergie pro erzeugbarer Leistung von 1kWp (Kilowatt-Peak, Maximalleistung des Moduls) benötigt, für ein Dünnschichtmodul etwa 3000 kWh pro kWp Leistung. Die erreichbare Leistung pro Fläche des Solarmoduls ist dabei relativ gering, sie beträgt bei multikristallinen Photovoltaikmodulen etwa 130 Wp pro  $\text{m}^2$ , bei Dünnschichtmodulen etwa 70 Wp pro  $\text{m}^2$ . Sonnenkollektoren benötigen deshalb eine vergleichsweise große Fläche, um den Energiebedarf eines Haushaltes oder einer ganzen Stadt zu decken. Hinzu kommt, dass die durchschnittliche Sonnenscheindauer in Deutschland nur etwa 1550 Stunden pro Jahr beträgt.

## 1.3 Photovoltaik - Fortsetzung

4. Wie lange müssen Solarmodule der jeweiligen Technologie (multikristalline Module und Dünnschichtmodule) bei maximaler Leistung betrieben werden, um die Energiemenge zu erzeugen, die für deren Herstellung verwendet werden musste?
5. Welchen Wirkungsgrad in Bezug auf die Sonnenstrahlungsleistung pro Fläche (Solarkonstante) haben die Module der jeweiligen Technologie? Beachtet dabei die atmosphärische Dämpfung des Lichtes, die ihr in Aufgabe 1.3.3 berechnet habt!
6. Berechnet die benötigten Modulflächen beider Technologien, um den Jahresbedarf an Elektroenergie eines 4-Personenhaushaltes zu decken (in Durchschnitt 5000 kWh pro Jahr)
7. Wie groß müssen die Flächen sein, um den Bruttoelektroenergieverbrauch von Deutschland zu decken (2009: 597 Milliarden kWh)?

### Form der Lösung für die Unteraufgabe 1.3

- Antworten auf die Fragen 1 und 2
- Antworten auf die Fragen 3 - 7 inkl. Rechenweg

## 1.4 Wirtschaftlichkeit

Möglicherweise habt ihr euch schon die Frage gestellt: Kann ich eine Windkraftanlage für mich zu Hause nutzen? Dazu gehört auch eine Antwort auf die Frage: Rechnet sich der Einsatz einer Windkraftanlage für einen Haushalt?

Um die Frage beantworten zu können müssen zunächst die Energiepreise sowie der Energiebedarf abgeschätzt werden. Zudem ist es sinnvoll zu wissen, zu welchem Zeitpunkt die meiste Energie verbraucht wird. Beispielsweise ist der Energiebedarf eines Haushalts am geringsten, wenn alle Familienmitglieder nicht zuhause sind. Im Gegensatz dazu ist der Energiebedarf am höchsten, wenn alle Familienmitglieder verstärkt die Energie nutzen, weil sie beispielsweise die Wäsche waschen, am PC arbeiten und ihr Essen kochen. Solche Informationen können am besten graphisch in einem Lastprofil zusammengetragen werden.

- 1) Berechnet die jährlichen Stromkosten eines Haushaltes mit drei bis vier Personen! Recherchiert zunächst den Stromverbrauch eines solchen Haushalts!

**Hinweis:** Verwendet für die Berechnung den Preis eines lokalen Anbieters ohne Rabatte und zeitlich begrenzte Sonderregelungen!

- 2) Skizziert die Lastenprofile eines oben beschriebenen Haushalts über folgende Zeiträume:

- ein Tag
- eine Woche
- ein Jahr

**Hinweis:** Verwendet die Vorlage in Abbildung 4 und betrachtet ein Haushalt in Deutschland!

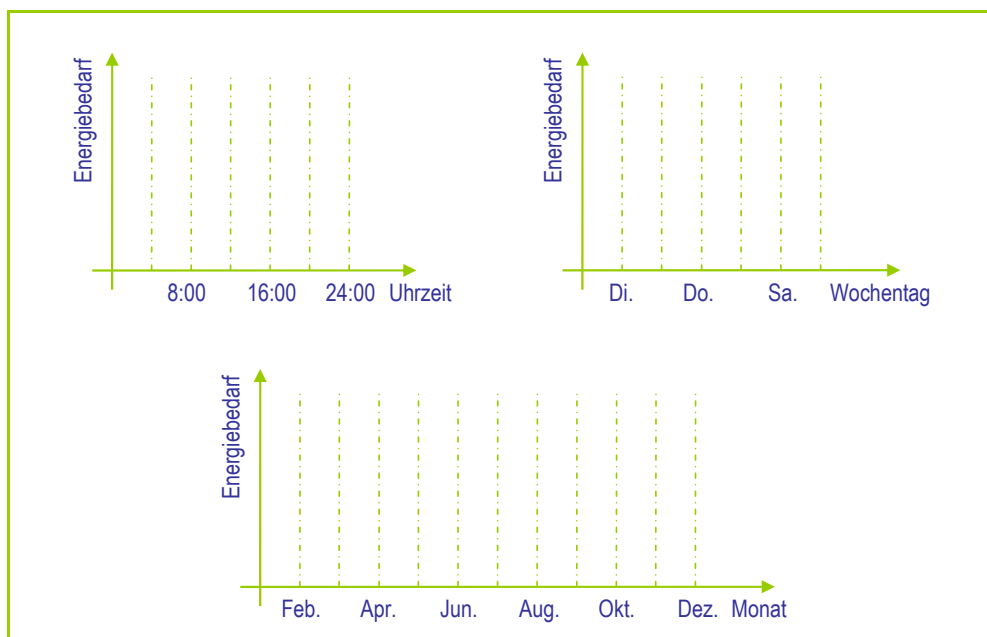


Abbildung 4 Vorlage für die Lastenprofile

## 1.4 Wirtschaftlichkeit - Fortsetzung

Wenn ihr diese Energie durch eine Windkraftanlage bereitstellen wollt, sind verschiedene Faktoren zu berücksichtigen, die einen Einfluss auf die Energiegewinnung haben. Zudem müssen auch störende Einflüsse der Anlagen auf die Umwelt bedacht und durch diverse bautechnische Bestimmungen berücksichtigt werden.

3. Nennt vier Faktoren, die einen Einfluss auf die Energiemenge einer Windkraftanlage haben! Erläutert diese Faktoren mit je einem Satz.
4. Benennt zwei störende Einflüsse und ihre Ursachen, die von einer Windkraftanlage ausgehen können!
5. Entwickelt zu den Lösungen der vorausgegangenen Aufgabe 1.4.4 jeweils eine Methode, den jeweiligen störenden Einfluss der Windkraft zu verringern bzw. zu vermeiden.

Nun wollen wir eine kleine Windkraftanlage mit einem Rotordurchmesser von ca. 1 m betrachten, die ca. 500,- EUR kostet. Die Nennleistung der Anlage liegt bei 0,2 kW, die Jahresvolllaststunden werden für den gewählten Standort mit 2000h angegeben. An dem gewählten Ort verlangt der lokale Anbieter für die elektrische Energie 0,15 EUR pro kWh.

6. Welche Menge an elektrischer Energie kann die Windkraftanlage im Jahr produzieren?
7. Nach wie viel Jahren hat sich die Windkraftanlage (theoretisch) amortisiert?

Aufgrund der Tatsache, dass an keinem Ort der Erde zu jedem Zeitpunkt identische Windverhältnisse herrschen, ist die erzeugte elektrische Energie aus Windkraft nicht kontinuierlich. Ähnlich verhält es sich mit Solarkraft. Die Lastprofile (vgl. Aufgabe 1.4.2) und die Erzeugungsprofile stimmen nicht überein.

8. Erläutert drei Lösungsansätze, wie bzw. womit die Differenzen zwischen Stromerzeugung und -verbrauch ausgeglichen werden können! Erläutert die jeweiligen Lösungsansätze mit maximal zwei Sätzen!

### Form der Lösung für die Unteraufgabe 1.4

- Antwort auf die Frage 1 inkl. Rechenweg
- Drei Lastprofile (Bilder) als Antwort auf die Frage 2
- Antworten auf die Fragen 3 – 5
- Antworten auf die Fragen 6 - 7 inkl. Rechenweg
- Antwort auf Frage 8

## Wichtige Informationen

Falls ihr Fragen zu den Aufgaben habt oder eine Hilfestellung benötigt, so schaut doch einfach in unser Forum:

<http://www.intel-leibniz-challenge.de/forum/>

Abgabe der Lösungen:

**Wo:** [www.intel-leibniz-challenge.de/portal](http://www.intel-leibniz-challenge.de/portal)

**Wie:** Genauigkeit der Lösungen

Falls nicht anders gefordert, gibt bei den Lösungen maximal drei signifikante Stellen an (z. B. 1,52 mA, 42,1 kW, 123 V etc.)!

**Form der Abgabe und Dateibenennung:**

Für jede Unteraufgabe soll nur eine Datei abgegeben werden. Falls mehrere Dateien vorhanden sind, müssen sie in eine zip-Datei gepackt werden. Die Datei muss wie folgt benannt werden:

Gruppenname\_Aufgabe\_Unteraufgabe.zip

Für die Abgabe der Aufgabe 1.1 müsste die „Muster Gruppe“ folgende Datei hochladen:

MusterGruppe\_1\_1.zip

Verwendet bitte keine Leerzeichen und Sonderzeichen in den Dateinamen!

**Zulässige Dateiformate:**

Textformate: PDF mit eingebetteten Bildern, txt

Bildformate: jpg, bmp, png, wmf

Videofomate: flv, avi, mpg

Audioformate: mp3, wma, wav

**Dateigrößen und Dateinhalt**

Die Dateien sollten nicht größer als 7,5 MB sein! Bitte gebt in der Datei (nicht im Dateinamen) auch euren Teamnamen, die Namen der Gruppenmitglieder sowie deren Schulen an. Erzeugt dafür eine zusätzliche Textdatei!

**Wann:** Bis zum 06.03.2011 um 23:59 Uhr

**Hinweis:** Um sicher zu gehen, dass eure Dateien wirklich fehlerfrei und für die Korrektoren zu öffnen sind, solltet ihr eure Zip-Dateien nochmals von eurem Account runterladen und öffnen. Dateien, die sich nicht öffnen lassen, können nicht bewertet werden!

Die AGB und weitere Informationen findet ihr unter: [www.intel-leibniz-challenge.de](http://www.intel-leibniz-challenge.de)  
Der Rechtsweg ist ausgeschlossen!