

## Stationenlernen zur Einführung in das Thema Smart Grid

### Fragestellung

Welches Wissen ist notwendig, um Auswirkungen der Energiewende zu beurteilen? Wie bedingen sich Erzeugung und Verbrauch im Energieverteilungsnetz? Welche Einzelthematiken verbergen sich hinter dem Smart Grid? Welche sozialen Auswirkungen könnte das Smart Grid mit sich bringen?

### Material

- Laptops und Kopfhörer
- Arbeitsbögen
- Magnetstreifen
- Experimente
- Schere

### Durchführung

Die Lernenden sollen sich in diesem Modul notwendiges Grundwissen zum Thema Smart Grid und den Zusammenhang mit erneuerbaren Energien erarbeiten. Zu diesem Zweck stehen fünf Stationen zur Verfügung, die einen Überblick über zentrale Aspekte geben:

1. Energieverteilungsnetz (Aufbau und Wirkungsweise)
2. Umwelt (Auswirkungen der erneuerbaren Energien)
3. Smart-Meter (Auswirkungen auf die Gesellschaft)
4. Experimente (Verständnis Netzfrequenz und Einfluss von erneuerbaren Energien)
5. Energiespeicher (Problemabriss der Frage Energiespeicherung)

### Auswertung

Die Auswertung erfolgt mittels eines zentralen Laufzettels, den die Schülerinnen und Schüler während des Durchlaufens der Stationen ausfüllen. Anschließend werden die Lösungen im Plenum für alle gesichert. Die Lernenden haben dadurch Voraussetzungen geschaffen, im weiteren Verlauf der Unterrichtsreihe über Gestaltungsmöglichkeiten des Smart Grid zu diskutieren und urteilen.

### Wozu das Ganze?

Die Idee hinter dem Smart-Grid ist, dass dieses Erzeuger und Verbraucher im Netz effizient regelt und somit (auch) für Versorgungssicherheit sorgt. Weiterhin werden aktuelle Themen des Diskurses aufgezeigt (z.B. Netzausbau und Smart-Meter). Auf Grundlage dieses Moduls können weitere Module angeknüpft werden, die sich thematisch tiefer mit dem Smart-Grid oder erneuerbaren Energien befassen.

### Dauer

Ca. 90 Minuten

### Anhang

- Stationenbeschreibung
- Arbeitsblätter

ACHTUNG! Bei einem Experiment sind rotierende Teile zugänglich!

# Station 1: Das Energieverteilungsnetz

## Ziel dieser Station:

- Aufbau des klassischen Energieverteilungsnetz beschreiben können
- Probleme des klassischen Energieverteilungsnetz erklären können
- sich daraus ergebenden Aufbau des intelligenten Energieverteilungsnetz erklären können
- Unterschiede zwischen Smart-Grid und klassischem Energieverteilungsnetz benennen können

Aufgabe 1) Lies die Beschreibungen für das klassische und das intelligente Energieverteilungsnetz!

Aufgabe 2) Fertige mit dem Puzzle ein Modell an, welches die Struktur des Energieverteilungsnetzes darstellt!

Aufgabe 3) Fertige eine Tabelle an: Worin liegen Unterschiede bzw. Gemeinsamkeiten zwischen dem aktuellen Energieverteilungsnetz und dem Smart Grid?

## Das klassische Energieverteilungsnetz

### 1. Das Energieverteilungsnetz ist zentralisiert

Wenige Großkraftwerke (z.B. Kohle und Atomkraftwerke) produzieren Strom für sehr viele Verbraucher. Der erzeugte Strom wird über vier verschiedene Netzebenen zu den Verbrauchern geleitet. In den unterschiedlichen Ebenen wird der Strom mit verschiedenen Spannungen verteilt und es gibt Verbraucher auf diesen unterschiedlichen Ebenen.

Im Höchstspannungsnetz beträgt die Spannung zwischen 220 und 380 kV. Im Hochspannungsnetz sind es 60 kV bis 220 kV, im Mittelspannungsnetz, 6 kV bis 60 kV und im Niederspannungsnetz 230 V oder 380 V.

### 2. Strom fließt immer vom Erzeuger (Kraftwerk) zum Verbraucher (Industrie und Haushalte)

Der Strom wird nur in großen Kraftwerken erzeugt und zu den Verbrauchern auf den unterschiedlichen Netzebenen transportiert.

Das Energieverteilungsnetz ist wie ein Straßennetz aufgebaut: Das Verteilernetz kann man sich wie das Straßennetz vorstellen: Autobahnen überbrücken große Strecken und transportieren mehrspurig viele Fahrzeuge mit hoher Geschwindigkeit (analog: Höchstspannungsnetz). Von der Autobahn gehen Bundes- und Landstraßen ab, die von der Autobahn in verschiedene Gebiete der Region führen (analog: Hochspannungsnetz). Hauptstraßen führen zu verschiedenen Ortsteilen (analog: Mittelspannungsnetz) und von dort führen Seitenstraßen zu den Häusern (analog: Niederspannungsnetz).

### 3. Strom kann nicht in ausreichender Menge gespeichert werden (Erklärung: siehe Station „Energiespeicher“)

Strom kann zwar in begrenzten Mengen gespeichert werden, aber diese Mengen reichen bei weitem nicht aus, Strom auf Vorrat zu speichern oder größere Versorgungslücken zu decken. Dies würde entweder zu teuer sein, oder zu viel Raum benötigen. Speicher sind nur geeignet, um Schwankungen bei der Stromerzeugung zu regeln, die durch Änderungen im Verbrauch entstehen.

## Intelligentes Energieverteilungsnetz "Smart Grid"

### 1. Dezentraler Aufbau

Strom wird in Großkraftwerken (Offshore Windparks, Solarparks, etc.) produziert und im Netz bereitgestellt. Zusätzlich gibt es aber auch kleine Kraftwerke im ganzen Land: Biogasanlagen, Solarparks, Windparks, Wasserkraftanlagen, Geothermie, etc.

Auch Haushalte und Betriebe mit Solaranlagen oder anderen Technologien erneuerbarer Energien speisen in das Netz ein.

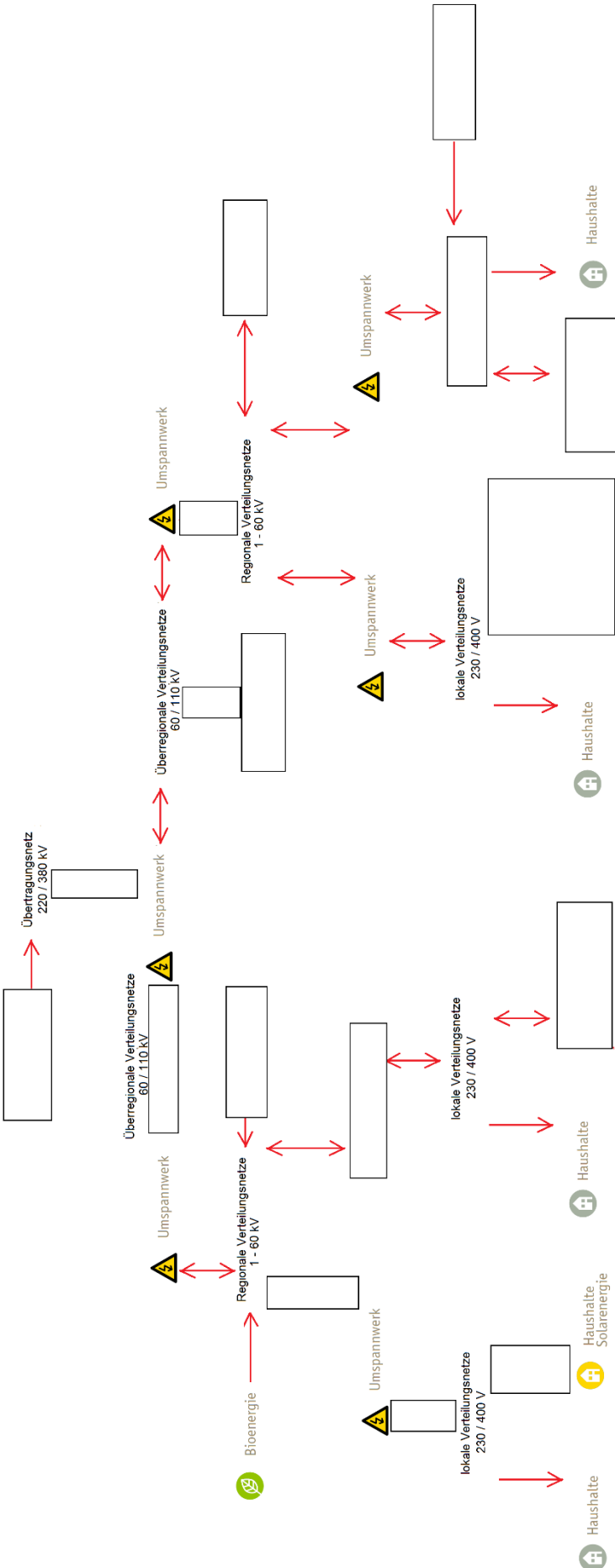
### 2. Strom fließt nicht nur vom Erzeuger (Kraftwerk) zum Verbraucher (Industrie und Haushalte), sondern auch umgekehrt

Das Stromnetz ist wie ein Straßennetz aufgebaut, wie beim klassischen Energieverteilungsnetz. Die Straßen sind jedoch keine Einbahnstraßen, sondern mehrspurig in beide Richtungen. Erzeuger und Verbraucher verschmelzen teilweise miteinander.

### 3. Strom kann nicht in ausreichender Menge gespeichert werden (Erklärung: siehe Station „Energiespeicher“)

Strom kann nach wie vor nicht in ausreichender Menge gespeichert werden, aber intelligent verteilt und genutzt werden. Stromverbrauchende Prozesse werden möglichst dann durchgeführt, wenn viel Strom zur Verfügung steht. Die vorhandenen Speicher werden vor allem zu dieser Zeit aufgeladen. Auch Prozesse, die auf Vorrat mehr Strom nutzen können, tun dies. Damit sind zum Beispiel Kühlhäuser gemeint, die ihre Temperatur weiter senken können, als nötig.

Bei weniger verfügbarer Leistung werden die Speicher genutzt, um Differenzen auszugleichen. Die Kühlhäuser können zum Beispiel die Kühlung solange abschalten, bis die Temperatur wieder soweit angestiegen ist, dass wieder gekühlt werden muss. Nur solche Prozesse werden durchgeführt, die nicht auf später verschoben werden können (wenn wieder mehr Strom zur Verfügung steht).



## Station 2: Umwelt

### Ziel dieser Station:

- Überblick über Umweltaspekte der erneuerbaren Energien gewinnen.
- Probleme mit Energiesparlampen benennen können.

Aufgabe 1) Schaut euch gemeinsam den Ausschnitt aus dem Panorama-Beitrag: „Das schmutzige Geheimnis sauberer Windräder an“!

Aufgabe 2) Es gibt drei verschiedene Texte. Jeder von euch liest genau einen dieser Texte! Die fettgedruckten Wörter sollt ihr später zusammen in einem Mindmap anordnen. Dabei ist besonders die Kommunikation wichtig, denn die anderen haben euren Text nicht gelesen!



Aufgabe 3) Erstellt nun ein Mindmap an der Tafel! Benutzt dafür die vorgefertigten Wörter!

Aufgabe 4) Auf der Tafel befinden sich einige Merksätze. Übertrage einen für dich passenden Merksatz in deinen Laufzettel!

## Energiesparlampen

### Das optimale Vorgehen beim Lampenbruch

Das Umweltbundesamt (UBA) rät bei Zerschlagen einer Energiesparlampe folgendermaßen vorzugehen:



Quelle: Wikimedia,, [Armin Kübelbeck, CC BY-SA 3.0](#)

- Zerbricht eine Energiesparlampe, sollten sofort die Fenster zum Lüften weit geöffnet werden. Direkt nach dem Lampenbruch ist der Quecksilbergehalt in der Raumluft am höchsten.
- Personen und Haustiere sollten den Raum für etwa 15 Minuten verlassen!
- Heizungen oder Klimaanlage sollten abgeschaltet werden!
- Anschließend sollte man alle weiteren Reinigungs- und Aufräumarbeiten mit geöffnetem Fenster durchführen.
- Lampenreste kehrt man am besten mit einem Pappkarton zusammen. Bruchstücke lassen sich mit Hilfe von Klebebändern aus dem Teppich holen. Alle Reste sollten dann in ein Schraubglas und auf schnellstem Wege zum Sondermüll gebracht werden. Energiesparlampen dürfen nicht über den Hausmüll entsorgt werden!

Energiesparlampen haben einen gravierenden Nachteil: Gehen die Öko-Leuchten zu Bruch, ist äußerste Vorsicht geboten. Denn in den neuen Lichtquellen steckt Quecksilber. Das giftige Schwermetall ist deshalb so unberechenbar, weil es schon bei Raumtemperatur verdampfen kann und somit die Raumluft belastet.

"Das Quecksilber ist die Achillesferse der Energiesparlampen. Daher brauchen wir mittelfristig eine Lampentechnik, von der keine Quecksilberbelastung ausgeht", sagte UBA-Präsident Jochen Flasbarth. Die richtige und notwendige Energieeinsparung von bis zu 80 Prozent gegenüber Glühlampen müsse einhergehen mit sicheren Produkten, von denen keine vermeidbaren Gesundheitsrisiken ausgehen.

Wenn bei einem Wert von etwa 10 Prozent (genauer: Daten vom Statistisches Bundesamt von 2013 Anteil von Beleuchtung 13%) des Stromverbrauchs für die Beleuchtung bei einem durchschnittlichen Haushalt alle Glühbirnen durch Kompaktstoffleuchtstofflampen ersetzt werden, die 80 % Stromersparnis gegenüber Glühlampen aufweisen, reduziert das den Gesamtverbrauch des Haushalts um acht Prozent.

## Photovoltaik (PV)

### Waferbasierte Module:

Waferbasierte Module (90% Marktanteil) benötigen vor allem Silizium. Der Halbleiter wird mithilfe von Schmelz-, Reinigungs- und Destillationsprozessen bei hohen Temperaturen aus Quarzsand hergestellt. Die hierfür nötige Energie spiele eine Solaranlage erst nach einem dreiviertel Jahr wieder ein.



Quelle: [Wikimedia, CC BY-SA 3.0](#)

Die Photovoltaik wird hierzulande durch das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) gefördert. Das Problem dabei: Die Förderung unterscheidet dabei nicht, ob die Solaranlagen in Deutschland hergestellt wurden oder anderswo. So verlagerte sich die Produktion dorthin, wo es billiger ist: nach China. Zwei Drittel der Weltproduktion entfällt auf China. Der ökologische Fußabdruck von in China gefertigten Solaranlagen ist doppelt so groß wie von in Europa hergestellten Solarpanels.

Das liegt an den geringen Umwelt- und Effizienzstandards und der überwiegenden Erzeugung des Stroms aus Kohle (Energienmix). Es braucht eine Menge Energie, um Silizium zu gewinnen. Und China nutzt Energie aus schmutzigen und weniger effektiven Energiequellen, als das in Europa der Fall ist (siehe CO<sub>2</sub> Ausstoß von COAL bzw. Kohle auf der extra Karte).

### Dünnschicht-Module:

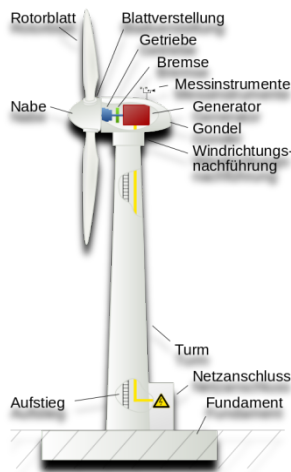
Einige Dünnschicht-Modelle (10 % Marktanteil, davon 50%) bestehen aus Cadmiumtellurid (CdTe), einer Verbindung aus zwei Elementen, die umwelt- und gesundheitsschädlich sind, wenn sie freigesetzt werden.



## Windkraft und Neodym

Videobeitrag vom 28.04.2011 (Panorama): Das schmutzige Geheimnis sauberer Windräder

Herkömmliche Windräder bestehen aus drei Komponenten:



Getriebe:  
Fällt bei Windrädern mit Direktantrieb weg (getriebeles).  
+ kaum Wartungskosten  
- Neodym (seltene Erden)

Quelle: [Arne Nordmann](#), Wikimedia,, [CC BY-SA 3.0](#)

Getriebeleser Windräder verursachen katastrophale Umweltzerstörungen in China. Denn für diese Windräder setzen die Hersteller ein wertvolles Metall ein: Neodym, eine sogenannte "seltene Erden". Neodym-Windräder verzichten meist auf ein Getriebe. Dafür brauchen sie effizientere Generatoren, die sich besonders gut aus diesem Rohstoff herstellen lassen.

Neodym wird nahezu ausschließlich in chinesischen Minen abgebaut. Bei der Trennung des Neodyms vom gefördertem Gestein entstehen giftige Abfallprodukte, außerdem wird radioaktives Uran und Thorium beim Abbauprozess freigesetzt. Diese Stoffe gelangen zumindest teilweise ins Grundwasser, kontaminieren so Fauna und Flora erheblich und werden für den Menschen als gesundheitsschädlich eingestuft.

Drei der weltweit größten Hersteller für Windkraftanlagen GE Wind Energy, Vestas und Siemens Wind Power haben getriebeleser Windräder (unter Verwendung von Neodym) in ihrem Angebot.

# Materialbogen, Aufbau und Medienquellen

## Magnetstreifen

|   |  |  |
|---|--|--|
| <b>Umweltbundesamt (UBA)</b>                    | <b>Energiesparlampe</b>                  | <b>Vorgehen beim Lampenbruch</b>                             |
| <b>Quecksilber</b>                              | <b>giftiges Schwermetall</b>             | <b>Energieeinsparung von 80 Prozent gegenüber Glühlampen</b> |
| <b>Photovoltaik</b>                             | <b>Waferbasierte Module</b>              | <b>Silizium</b>  |
| <b>hoher Energieaufwand bei der Herstellung</b> | <b>Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG)</b> | <b>ökologischer Fußabdruck</b>                               |
| <b>China</b>                                    | <b>CO<sub>2</sub> Ausstoß sehr hoch</b>  | <b>geringe Umwelt- u. Effizienzstandards</b>                 |
| <b>Energiemix</b>                               | <b>Cadmium</b>                           | <b>Umweltzerstörung</b>                                      |
| <b>Dünnschicht-Modelle</b>                      | <b>Neodym (seltene Erden)</b>            | <b>Windräder</b>   |
| <b>Getriebelos</b>                              | <b>herkömmlich</b>                       | <b>Gesundheitsgefahr</b>                                     |
| <b>schwerer ökologischer Fußabdruck</b>         | <b>Arbeitsbedingungen</b>                | <b>Sondermüll</b>  |

### Merksätze

1. Die Betrachtung der Produktionskette ist wichtig, um Nachhaltigkeit zu gewährleisten.
2. Die Politik sollte Maßnahmen (z.B. Subventionen, Verbote) ergreifen, um Arbeitsbedingungen und Umwelteinflüsse zu lenken.
3. Es kann nicht von Nachhaltigkeit gesprochen werden, wenn die Produktionen von den Erzeugern der Erneuerbaren Energien (z.B. Wind, Solar) sich zu negativ auf die Umwelt auswirkt.
4. Die Kosten für die Umwelt werden nicht von den Herstellern getragen, sondern von der Gesellschaft.

### Video ARD:


<http://daserste.ndr.de/panorama/archiv/2011/windkraft189.html>

## Station 3: Smart-Meter

### Ziel dieser Station:

- Funktionsweise des Smart-Meter beschreiben können.
- Aktuelle Situation in Deutschland beschreiben können.
- Nutzen für Verbraucher und Erzeuger erklären können.
- Gefahren eines Smart Meter benennen können.

Aufgabe 1) Jeder von euch sucht sich nun eine der folgenden Quellen aus! Euer Ziel ist es, danach über folgende Fragen diskutieren zu können:



Höre dir den Beitrag des WDR am dem MP3-Player an!



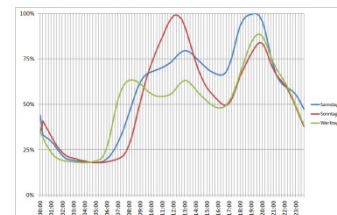
Schau dir den Ausschnitt aus der Sendung „Quer“ an“



Schau dir die entsprechende Seite eines Energiedienstblogs an!

Aufgabe 2) Tragt nun eure Ergebnisse zu den oben genannten Fragen zusammen und notiert die wichtigsten Punkte zu jeder Frage auf der Rückseite. Machen alle drei Quellen die selben Aussagen oder widersprechen sie sich gar?

Aufgabe 3) An eurer Station findet ihr ein Lastprofil eines Haushaltes. Analysiert den Verbrauchsverlauf indem ihr Stellen markiert an denen ihr Rückschlüsse über das Verhalten des Verbrauchers machen könnt. Wem könnten diese Daten außer dem Netzbetreiber noch interessieren? Würdet ihr euer Stromprofil veröffentlichen?



1. Beschreibe die Funktionsweise eines Smart-Meter!
2. Wird es in Deutschland in Zukunft eingebaut?
3. Erkläre, welchen Nutzen ein Smart-Meter für den Verbraucher hat!
4. Erkläre, welchen Nutzen ein Smart-Meter für die Erzeuger hat!
5. Nenne Gefahren bei der Nutzung von Smart-Metern!

# Materialbogen, Aufbau und Medienquellen

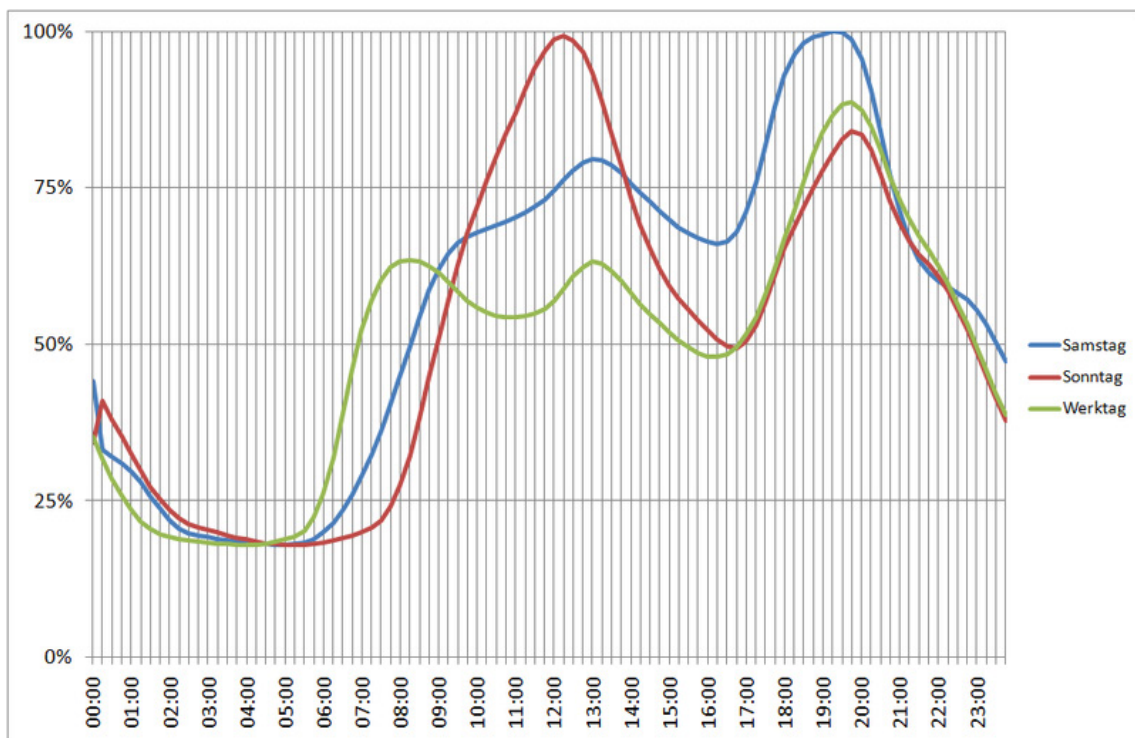
## Materialien:

- Drei Laptops
- Mindestens drei Stromprofile (Smart-Meter-Auszüge, siehe nächste Seiten)

## Medienquellen:

- TV (SWR):  
<https://www.swr.de/landesschau-rp/gut-zu-wissen/transparenter-energieverbrauch-intelligente-stromzaehler-ziehen-ab-jetzt-ein/-/id=233210/did=17854758/nid=233210/xf0z68/index.html>
- Strom Blog: <https://blog.energiesdienst.de/intelligente-stromzaehler/>

Abbildung:



Quelle: [Wikimedia, VDEW, ohne Einschränkung](#)

## Station 4: Experimente

### Ziel dieser Station:

- Bedeutung der Netzfrequenz kennen

### Einführung

Im Verteilernetz fließt Wechselstrom. Das heißt die Polarität des Stromes kehrt sich mehrere Male in der Sekunde um. Das geschieht im Durchschnitt 50-mal pro Sekunde – der Strom hat also eine Frequenz von 50 Hz. In Deutschland und der EU wird die Frequenz des Stromes im Stromnetz immer so nahe wie möglich an diesen 50 Hz gehalten.

Warum ist es wichtig die Frequenz stabil zu halten? Das ist wichtig, weil die Kraftwerke sonst nicht richtig „zusammenarbeiten“ können. Außerdem kann es sonst zu Stromausfällen kommen, oder zu Schäden an Geräten, die am Stromnetz angeschlossen sind, bzw. Teilen des Stromnetzes selbst. In den folgenden zwei Experimenten bekommt ihr eine Vorstellung davon, was mit der Netzfrequenz passiert, wenn sich der Verbrauch im Netz ändert.

Das heißt, wenn der Stromverbrauch sinkt, wird weniger Leistung benötigt. Wenn der Verbrauch hingegen steigt, ist mehr Leistung nötig. Die Leistung muss in den Kraftwerken entsprechend nachgeregelt werden. Wie das die Netzfrequenz beeinflusst, probiert ihr im Experiment aus.

#### **TIPP: elektrische Leistung**

Oft ist es praktischer, statt der elektrischen Energie von der elektrischen **Leistung P** zu reden. Diese beschreibt einfach, wie viel **Energie E** pro **Zeit t** umgewandelt wird. Das ist praktisch, weil diese Werte sich gut eignen, um elektrische Bauteile und Maschinen zu vergleichen!

Formelzeichen: Leistung P (**Power**)

Einheit: W „Watt“

Formel:

$$P = \frac{E}{t}$$

$$P = U \cdot I$$

## Experiment: Gekoppelte Generatoren

Aufgabe 1) Führe die Handlungen aus, die in der ersten Spalte der Tabelle aufgeführt sind und notiere dann stichpunktartig deine Beobachtungen zu den verschiedenen Teilen des Stromkreises in der Tabelle!

| Handlung  | Kurbel 1                          | Glühlampe                     | Kurbel 2                          |
|---|-----------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|
| <i>Drehen an einer Kurbel</i>                                 | Dreht sich ...<br><i>normal</i>   | Leuchtet ...<br><i>normal</i> | Dreht sich ...                    |
| <i>Drehen an einer Kurbel, festhalten der anderen</i>         | Dreht sich ...<br><i>schwerer</i> | Leuchtet ...                  | Dreht sich ...<br><i>nicht</i>    |
| <i>Drehen an beiden Kurbeln in die gleiche Richtung</i>       | Dreht sich ...                    | Leuchtet ...                  | Dreht sich ...                    |
| <i>Drehen an beiden Kurbeln in entgegengesetzter Richtung</i> | Dreht sich ...                    | Leuchtet ...                  | Dreht sich ...<br><i>schwerer</i> |

Aufgabe 2) Fülle die Lücken in den Wenn-Dann-Aussagen aus. Nutzte dazu deine Beobachtungen!

Wenn **nur an einer Kurbel** gedreht wird, dann...

... \_\_\_\_\_ die andere Kurbel ebenfalls.

... \_\_\_\_\_ die Lampe.

Wenn **an einer Kurbel gedreht wird und die andere festgehalten wird**, dann...

... \_\_\_\_\_ die Lampe.

Wenn **beide Kurbeln in die gleiche Richtung drehen**, dann...

... lassen sich beide Kurbeln \_\_\_\_\_ drehen.

... leuchtet die Lampe \_\_\_\_\_.

Wenn **die Kurbeln in entgegengesetzte Richtung drehen**, dann...

... lassen sich beide Kurbeln \_\_\_\_\_ drehen.

... leuchtet die Lampe \_\_\_\_\_.



## Experiment: Netzfrequenz und Netzlast

Aufgabe 1) Führe die Handlungen aus, die in der ersten Spalte der Tabelle aufgeführt sind und notiere dann stichpunktartig deine Beobachtungen zu den verschiedenen Teilen des Stromkreises in der Tabelle!

| Handlung  | Verbraucher | Windkraftanlage | Frequenz<br>- zu klein<br>- zu groß<br>- richtig | Strom I | Spannung<br>U | Leistung<br>P |
|---|-------------|-----------------|--|---------|---------------|---------------|
| Durch erhöhen der Spannung am Kraftwerk Netzfrequenz auf ca. 50Hz stellen | aus         | aus             |  |         |               |               |
| Verbraucher zuschalten  | an          | aus             |  |         |               |               |
| 1) Frequenz wieder auf ca. 50 Hz stellen<br>2) Windkraftanlage zuschalten | an          | an              |  |         |               |               |
| 1) Frequenz wieder auf ca. 50 Hz stellen<br>2) Verbraucher abschalten     | aus         | an              |  |         |               |               |

Aufgabe 2) Fülle die Lücken in den Wenn-Dann-Aussagen aus. Nutzte dazu deine Beobachtungen!

Wenn die Netzlast steigt (also mehr Stromverbrauch), dann \_\_\_\_\_ die Netzfrequenz.

Wenn die Netzlast sinkt (also weniger Stromverbrauch), dann \_\_\_\_\_ die Netzfrequenz.

Wenn die Kraftwerksleistung steigt, dann \_\_\_\_\_ die Netzfrequenz.

Wenn die Kraftwerksleistung sinkt, dann \_\_\_\_\_ die Netzfrequenz.

## Materialbogen, Aufbau und Medienquellen

### Materialien:

- Hinweis für die Lehrkraft: Die beiden zugrundeliegenden Experimente sind im Modul „Experimente für Smart Grid“ beschrieben.

### Zusätzliche Aufbauhinweise:

- Experiment 1: gekoppelte Generatoren  
Der Aufbau erfolgt analog der Beschreibung für Experiment SG2! Anstatt des Multimeters wird eine Glühlampe eingesetzt.
- Experiment 2: Netzfrequenz und Netzlast  
Dieses Experiment ist eine Abwandlung des bestehenden Experiments zur Netzlast und soll die Auswirkungen der Einspeisung von erneuerbaren Energien auf die Netzfrequenz verdeutlichen. Der Aufbau lehnt sich an Experiment SG4 an und wird um folgende Komponenten erweitert:
  - Zweites Netzteil (Windkraftanlage, Einspeisung nahe der Verbraucher).
  - Einfache Si-Diode

Das zweite Netzteil wird an der Verbraucherseite angeschlossen, die Diode wird derart eingebaut, dass kein Stromfluss von den Verbrauchern in Richtung Netzteil erfolgen kann.

### Anmerkungen:

Den Schülerinnen und Schülern ist bei Experiment 2 zu erklären, wie sie die Netzfrequenz an der Welle ablesen:

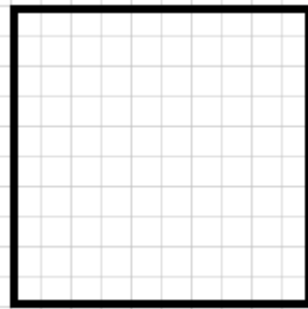
- Punkt steht nahezu still: Netzfrequenz liegt bei ca. 50 Hz
- Punkt bewegt sich auf SuS zu: Netzfrequenz ist kleiner 50 Hz
- Punkt bewegt sich weg: Netzfrequenz ist größer 50 Hz

## Station 5: Energiespeicherung

Ziel dieser Station:

- Vorhandene Energiespeichermöglichkeiten kennen

Aufgabe 1) Nachfolgend abgebildet ist die Fläche eines Einfamilienhauses mit  $100\text{ m}^2$ . Schätzt, wie groß die benötigte Fläche eines Batteriespeichers sein müsste, um dieses Einfamilienhaus für ein Jahr mit Strom zu versorgen und umrandet die Quadrate darunter. Dabei steht ein Quadrat für  $1\text{ m}^2$ . **Bearbeitet diese Aufgabe zuerst ohne den weiteren Text zu lesen!**



Fläche eines Einfamilienhauses mit  $100\text{ m}^2$



Umrandete Fläche entspricht der nötigen Fläche der Batterien

Aufgabe 2) Lest nun den nachfolgenden Text aufmerksam durch und beantwortet die folgenden Fragen!

- Welche Möglichkeiten Strom zu speichern gibt es?

---

- Warum ist es notwendig, Strom zu speichern?

---

- Warum sind Batterien momentan keine gute Idee zur Speicherung von Strom?

---

Aufgabe 3) Vergleicht eure Schätzung aus Aufgabe 1 mit dem Fallbeispiel im Text! Hättet ihr mit diesem Ergebnis gerechnet?

Für eine stabile Stromversorgung muss jederzeit genauso viel Strom erzeugt wie verbraucht werden. Diese Stabilität zu erhalten ist relativ schwierig, wenn vorrangig erneuerbare Energiequellen wie Wind- und Sonnenenergie genutzt werden. Das Problem hierbei ist, dass diese erneuerbaren Energien nicht immer verfügbar sind: In der Nacht kann kein Strom aus Photovoltaikanlagen gewonnen werden, bei schönem Wetter kein Strom aus der Windenergie. Um dieses Problem zu lösen, muss versucht werden, frei verfügbaren Strom zu speichern und bei Bedarf wieder abzugeben. Die Speicherung von Strom ist dabei jedoch immer mit Verlusten verbunden! Langfristig muss also eine Lösung gefunden werden, die den Anforderungen des Smart-Grid entspricht. Dies heißt, werden Kurzzeit- und Langzeitspeicher benötigt.

Kurzzeitspeicher werden benötigt, um Schwankungen im Verbrauch und Erzeugung flexibel ausgleichen zu können oder um die Spitzenlast abdecken zu können. Diese Kurzzeitspeicher können mittels Pumpspeicherkraftwerken, Druckluftspeicherkraftwerken oder durch die Verwendung von Batterien realisiert werden. Viel wichtiger als die Kurzzeitspeicher sind jedoch effiziente Langzeitspeicher, die die Stromversorgung beispielsweise während der Nacht sicherstellen, oder um z.B. bei langen Windflauten genügend Strom liefern zu können bzw. in den Wintermonaten genügend Energiereserven zu besitzen. Interessante Ansätze für eine Langzeitspeicherung stellen die Elektrolyse von Wasser in Wasserstoff und Sauerstoff dar. Der Wasserstoff kann gut gespeichert werden und anschließend mit Hilfe von Brennstoffzellen wieder in Strom umgewandelt werden. Ein weiterer Vorteil ist, dass überschüssiger Wasserstoff für alternative Fortbewegungskonzepte genutzt werden können (Brennstoffzellenauto). Momentan ist der Wirkungsgrad der Elektrolyse jedoch noch sehr schlecht.

Pumpspeicherkraftwerke pumpen Wasser, wenn genügend Strom vorhanden ist, in ein höher gelegenes Becken. Wenn der Strom wieder benötigt wird, fließt das Wasser hinab und treibt einen Generator an. Diese Pumpspeicherkraftwerke benötigen jedoch viel Platz und können nur in Gegenden errichtet werden, die bergig sind. Zudem ergibt sich daraus ein erheblicher Eingriff in die Umwelt. Dies ist auf dem nachfolgenden Bild sehr gut zu erkennen.



Abbildung 1 - Pumpspeicherkraftwerk Rönkhausen  
Quelle: Wikimedia, [G.Schmitz](#), [CC BY-SA 3.0](#)

Die Speicherung von Strom mit Hilfe von Druckluftkraftwerken wird so realisiert, dass Luft unter hohem Druck in unterirdische Salzkavernen, das sind Hohlräume in Salzstöcken, gepresst werden und bei Bedarf mit dieser Pressluft ein Generator angetrieben wird. Es gibt zurzeit zwei solcher Kraftwerke weltweit, die jedoch auch noch Erdgas zum Betrieb benötigen.

Die Speicherung von Strom in Batterien ist momentan noch nicht praktikabel. Dies liegt daran, dass Batterien noch zu teuer sind und zu viel Platz benötigen. Batterien können auch nur relativ langsam geladen werden, was eine effiziente Nutzung in einem Stromnetz fast unmöglich macht. Die Auswirkungen auf die Umwelt bei der Batterieherstellung sind zudem sehr groß. Dazu kommt, dass die Haltbarkeit von Batterien noch nicht ausreichend groß genug ist.

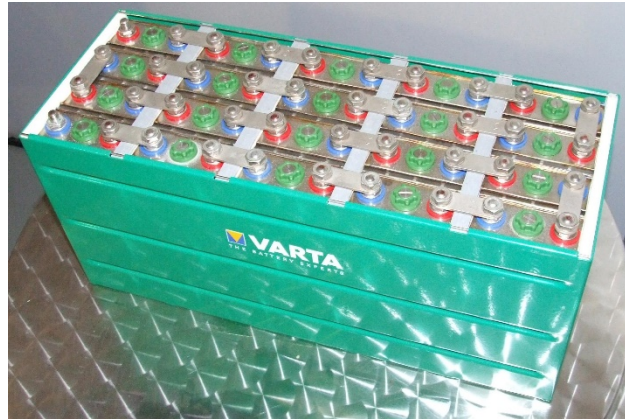


Abbildung 2 – Batterieblock  
Quelle: Wikimedia, [Claus Ableiter](#), CC BY-SA 3.0

Fallbeispiel: Benötigte Fläche für Batterien zur Versorgung eines Einfamilienhaushalts für ein Jahr:

Ein durchschnittlicher Einfamilienhaushalt mit vier Personen verbraucht  $5200 \text{ kWh}$  Strom pro Jahr, dies sind ca.  $14 \text{ kWh}$  pro Tag. Eine normale Batterie kann ungefähr  $2 \text{ Wh}$  Strom speichern. Dies heißt, man bräuchte fast 7000 Akkus um den Strombedarf von nur einem Haus zu decken. Würde wir diese Batterien nebeneinander zu einem Quadrat aufstellen, würden wir eine Fläche von  $0,7 \text{ m}^2$  benötigen. Wenn wir dies nun auf ein Jahr ausweiten, steigt die Anzahl der Akkus auf 2,6 Millionen und die benötigte Fläche auf  $260 \text{ m}^2$ .



Aus diesem Fallbeispiel ergibt sich, dass Batterien für die Kurzzeitspeicherung denkbar schlecht geeignet sind, solange die erwähnten Nachteile nicht beseitigt sind. Wenn diese Nachteile beseitigt sind, könnte mit Hilfe von Elektroautos oder dezentralen Batterieblöcken ein großer Energiespeicher realisiert werden.

|              |               |               |
|--------------|---------------|---------------|
| <b>Name:</b> | <b>Rolle:</b> | <b>Datum:</b> |
|--------------|---------------|---------------|

## Laufzettel Stationenlernen

Erkläre, warum das neue Energieverteilungsnetz „Smart Grid“ heißt!

---

---

Erkläre, welche Bestandteile man für das Smart-Grid benötigt!

---

---

Erkläre, wie sich das Transportnetz beim Netzausbau ändern muss!

---

---

### Stationen:

1) Notiere die Unterschiede und Gemeinsamkeiten des Stromnetzes und des Smart Grid!

---

---

2) Notiere den „Merksatz Umweltaspekte“:

---

---

3) Nenne jeweils zwei Gründe, die für bzw. gegen den Einbau von Smart-Metern in privaten Haushalten sprechen!

---

---

4) Was bedeutet die Netzfrequenz für das Smart Grid?

---

---

4) Was passiert mit dem Strom, wenn die Leistung bei konstanter Spannung steigt?

---

---

4) Wie beeinflusst die Netzlast (also der Energieverbrauch) die Netzfrequenz?

---

---

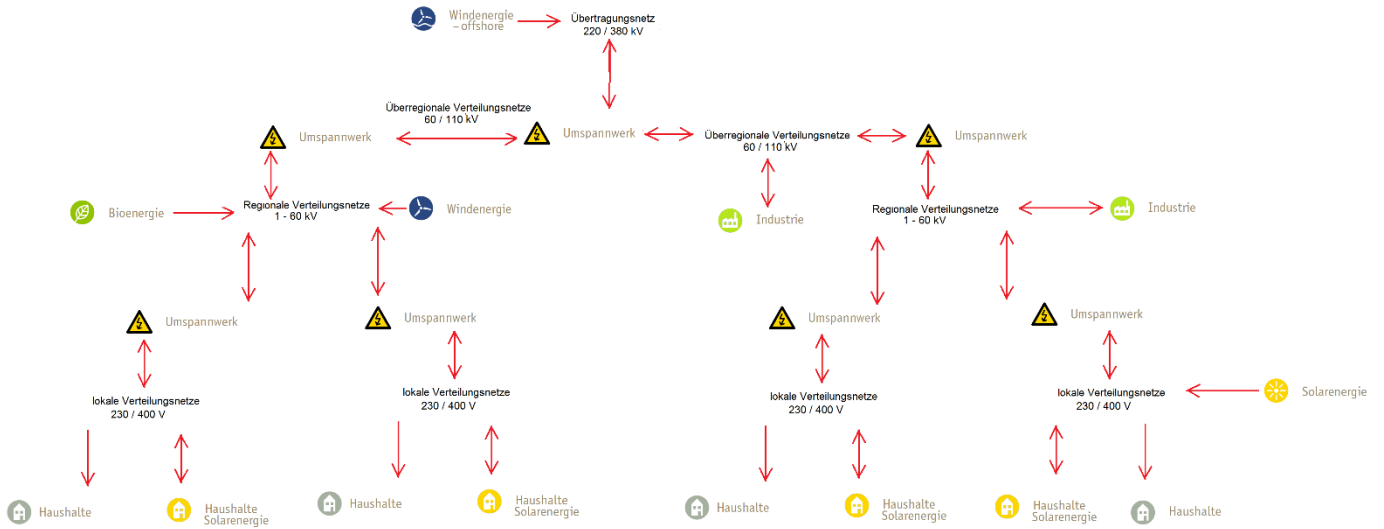
5) Wie kann man Energie speichern?

---

---

# Musterlösungen

## Puzzle (Station 1)



## Zusätzliche Vergleichsdarstellung herkömmliches Energieverteilungsnetz

