

Zukunftstag 2024
Erneuerbare Energien und Energiespeicherung

Autor

Dr. D. Adams
Institut für Mathematik und Naturwissenschaften (IMN)
donat.adams@fhnw.ch
Büro: 5.1C01

Datum

26. November 2024

Inhaltsverzeichnis

1	Energieerzeugung	2
2	Energiespeicherung	5
3	Erneuerbare Energiequellen	9
4	Energieerzeugung	12

Infobox 1.1 Erneuerbare Energien vs. nicht erneuerbare Energien

Erneuerbare Energien stammen unter anderem aus

- a) Photovoltaik,
- b) Windenergie,
- c) Wasserkraft,
- d) Gezeitenkraftwerken,
- e) Wellen-Kraftwerken,
- f) Geothermie,
- g) Biomasse: Holz und Biogas.

Zu den **nicht erneuerbaren** Energien gehört Strom aus

- h) Atomkraftwerken,
- i) Gaskraftwerken,
- j) Kohlekraftwerken.

Beispiel 1.1 Experiment: Tretvelo

ICWGGN

- a) Versuche mit dem Tretvelo möglichst viele Lampen anzuzünden.
- b) Das Experiment besteht aus einer Energiequelle, einer Turbine, ei-

nem Generator, einer Stromverteilung und einem Verbraucher. Ordne diese Teile zu: z.B. entsprechen die Pedalen der Turbine.

- c) Was passiert mit den Lampen, wenn du keine Lust mehr zum Treten hast?
- d) Welche der Kraftwerke oben sind wohl den 'Launen der Natur', d.h. von den Schwankungen der Energieressourcen betroffen?
Übertrage jetzt deine Beobachtungen auf das Stromnetz:
- e) Was passiert wohl mit der Waschmaschine, die Strom aus einem Windrad bezieht, aber es gibt gerade keinen Wind?
- f) Was passiert wohl mit einem Windrad, an das (zu) viele Waschmaschinen angehängt sind?

Lösung:

a) Versuch

b) Zuordnung:

- Energiequelle: Der Mensch, der in die Pedalen tritt, stellt die Energiequelle dar.
- Turbine: Die Pedalen des Tretvelos fungieren wie eine Turbine, die die mechanische Energie erzeugt.
- Generator: Der Generator wandelt die mechanische Energie der Pedalen in elektrische Energie um.
- Stromverteilung: Die Leitungen, die den Strom zu den Lampen führen, stellen die Stromverteilung dar.
- Verbraucher: Die Lampen, die den Strom nutzen und leuchten, sind die Verbraucher.

c) Wenn man aufhört zu treten, wird keine Energie mehr erzeugt. Dadurch erlischt die Beleuchtung, da kein Strom mehr zu den Lampen fließt.

d) Kraftwerke, die auf natürliche Energiequellen wie Wind, Sonne oder Wasser angewiesen sind, können von den Launen der Natur betroffen sein.

- e) Wenn kein Wind weht, kann das Windrad keinen Strom erzeugen. Die Waschmaschine würde daher stillstehen, da keine Energie zur Verfügung steht, um sie zu betreiben.
- f) Wenn an ein Windrad zu viele Waschmaschinen angeschlossen sind, reicht die erzeugte Energie nicht aus, um alle Maschinen gleichzeitig zu betreiben. Dies führt dazu führen, dass die Waschmaschinen nicht richtig funktionieren.

Energiespeicherung

Strom aus Photovoltaik, Windkraftwerken und Gezeitenkraftwerken wird produziert, wenn die Sonne scheint, wenn der Wind weht oder wenn es Wellen hat, sonst nicht. Es wäre mühsam, wenn wir z.B. nur dann Fernseh schauen könnten, wenn die Sonne scheint.

Infobox 2.1 Energiespeicher gleichen zwischen Verbrauch und Produktion aus

Ändern sich Verbrauch und Produktion über die Zeit, muss Energie gespeichert werden. Technologien:

- Batterien: Sie können schnell Energie aufnehmen oder abgeben, das Ein- und Ausschalten dauert 0.001-1 Sekunde. Leider können sie nur wenig Energie aufnehmen im Vergleich mit anderen Technologien.
- Pumpspeicherkraftwerken: Wasser wird in einen Stausee gepumpt, wenn zu 'viel Strom' vorhanden ist. Das Wasser wird wieder in Elektrizität umgewandelt, sobald im Stromnetz 'Strommangel' herrscht. Das Ein- und Ausschalten der Pumpen und Generatoren dauert 1-5 Minuten.

Ohne Speicherung kann zwischen Verbrauch und Produktion ausgeglichen werden durch

- Geplante Produktion von Strom (Primärregelung): Kraftwerke werden eingeschaltet, wenn der Verbrauch hoch ist.
- Ein smart-grid: Geräte schalten sich ein, wenn die Produktion hoch

ist (z.B. die Waschmaschine verteilt den Waschgang über 12h hinweg und bezieht nur 'überflüssigen Strom'; oder das Elektroauto wird nur geladen, wenn es eine Überproduktion gibt, z.B. in der Nacht).

Beispiel 2.1 Experiment: Energie geht nicht verloren. DW1XEU

Lasse verschiedene Fahrzeuge auf der Bahn hinunterrollen.

- a) Wie lange benötigt das Auto für die Fahrt?
- b) An welcher Stelle der Bahn erreicht das Auto seine maximale Geschwindigkeit?
- c) Sind schwere Autos schneller als leichte?
- d) In welcher Form ist die Energie im Auto gespeichert, bevor es losfährt?
- e) Welche Form hat die Energie, wenn das Auto am Ende der Bahn ankommt?
- f) Wie kann man hier "Strom speichern", wenn anderswo gerade ein Überschuss an Strom entsteht?

Lösung:

- a) Experiment
- b) Es ist am schnellsten, wo es tief steht, also am unten im Looping.
- c) Schwere und leichte Autos sind gleich schnell.
- d) Bevor es oben losfährt: Potentielle Energie.
- e) Am Ende der Bahn: Kinetische Energie.
- f) Strom speichern können wir, indem wir mit dem 'überflüssigen Strom' und einem Lift das Auto nach oben transportieren.

Beispiel 2.2 Pumpspeicherkraftwerk A8MG38

Oben siehst du ein Bild von einem Pumpspeicherkraftwerk.

- a) Beschreibe die Elemente 1, 3 und 11 in der Legende. Was ist ihre Funktion?

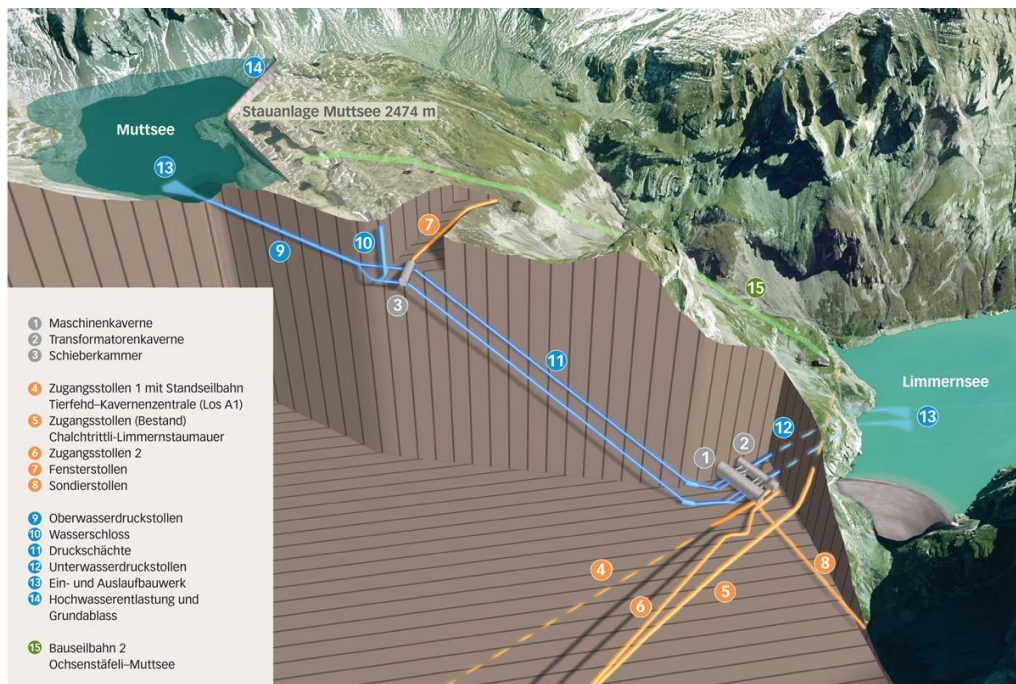


Abbildung 2.1: Visualisierung des Pumpspeicherkraftwerk Limmern. Quelle: Axpo.

- b) Stell dir vor, die Wassertropfen seien Autos. Wo sind sie in der Anlage schnell, wo sind sie langsam?
- c) Wie wird aus den Wassertropfen Strom erzeugt?

Lösung:

- a) Funktionen der Elemente

- **Element 1:** Oberer Speichersee – Speicherung von Wasser auf einer höheren potenziellen Energieebene.
- **Element 3:** Druckstollen – leitet Wasser unter hohem Druck vom Speichersee zur Turbine.
- **Element 11:** Turbine/Generator – wandelt die Bewegungsenergie des Wassers in elektrische Energie um.

- b) **Langsam:** Im oberen Speichersee, wo das Wasser still steht oder sich nur langsam bewegt. **Schnell:** Im Druckstollen und bei der Turbine, wo das Wasser beschleunigt wird.

c) Das Wasser fließt aus dem oberen Speichersee durch den Druckstollen und treibt die Turbine an. Die Turbine ist mit einem Generator verbunden, der die Bewegungsenergie in elektrische Energie umwandelt.

Beispiel 2.3 Energiespeicherung: Alternativen

6FFMDH

Überlege dir weitere Möglichkeiten für die Energiespeicherung.

- a) Wie kann man die Energie speichern?
- b) Wie würde dein Speicher aussehen? Mache eine Zeichnung.

Lösung:

- Power-to-Gas
- Pumpspeicherkraftwerk
- Schwungräder
- Superleitende Spulen
- Batterien
- Elektrolyse von Wasserstoff
- Speicherung des warmen Wassers

Erneuerbare Energiequellen

Infobox 3.1 Erneuerbare Energiequellen

Eine Menge der Energie, die wir verbrauchen entsteht ursprünglich aus der Sonnenstrahlung. Bei der Photovoltaik ist das selbstredend. Aber auch Holz wächst nur mit Sonnenstrahlung d.h. die Energie kommt aus der Sonne. Eine weitere Idee zur Energiegewinnung besteht darin, dass man Dinge kompostiert und die entstehenden Biogas (z.B. Methan) benutzt um Kraftwerke zu betreiben. So würde man die Sonnenstrahlung indirekt benutzen. Übrigens, die Sonne bleibt uns noch lange erhalten, noch ca. 7 000 000 000 Jahre.

Eine andere Energiequelle ist die Erdwärme. Pro 100 m, die wir tief in den Boden graben, wird die Erde um 3 °C wärmer. So können wir aus der Erde warmes Wasser abpumpen und damit Häuser heizen oder sogar ein Kraftwerk betreiben.

Schliesslich gibt es noch den Mond als Energiequelle. Er zieht das Wasser auf der Erde an. Das Wasser das zum Mond fliesst, fehlt an einer anderen Stelle. Wir nennen das Ebbe und Flut, und beides zusammen die Gezeiten. Bei Flut können wir z.B Wasser in einen Stausee füllen, den wir bei Ebbe wieder über eine Turbine ablassen.

Erdwärme ist in grossen Mengen vorhanden, doch ist das Wasser meist nicht warm genug um ein Haus damit zu heizen. Um das warme Wasser noch wärmer zu machen setzt man Wärmepumpen ein. Sie verbrauchen Strom und 'stellen damit Wärme her'.

Wärmekraftmaschinen (Stirlingmotor, Dampfmaschine) machen das um-

gekehrte: Sie benutzen Wärme und wandeln diese in mechanische Bewegung um.

Beispiel 3.1 Stirlingmotor / Wärmepumpe

DRA1BJ

a) Pumpe den Velopneu auf 5 bar auf. Berühre danach Pneu, Pumpe und die Ventile. Was beobachtest du?

Warte 5-10 Minuten

b) Lass die Luft aus dem Pneu auf deinen Finger strömen. Was beobachtest du?

c) Starte jetzt den Stirling-Motor. Wo wird die Luft zusammengedrückt^a, wo kann sie sich wieder entspannen^b? Welcher Teil der Maschine ist warm, welcher ist kalt?

Übertrage nun die Beobachtungen auf die Wärme und Stromproduktion?

d) Wie kann man mit einem Stirling-Motor Strom herstellen?

e) Wie kann man mit dem Stirling-Motor ein Haus heizen?

f) Wie kann man mit dem Stirling-Motor ein Haus kühlen?

g) Wo würdest du also den Stirling-Motor einsetzen? Vorschläge: Kühl-schrank, Klimaanlage, Blockheizkraftwerk, Warmwasser-Aufbereitung.

Lösung:

a) Die Teile erwärmen sich.

b) Die Luft fühlt sich kalt an.

c) Im Stirling-Motor wird die Luft komprimiert, bevor sie aufgeheizt wird und sie entspannt nachdem Sie aufgeheizt wurde.

d) Der Stirling-Motor in unserem Versuch könnte auch Strom herstellen, indem ein Generator an die Achse angeschlossen wird.

e) Ein Stirling-Motor heizt ein Haus, indem er mit einem Elektromotor angetrieben wird, und die Wärme auf der warmen Seite des Motors das Heizungswasser des Hauses heizt.

- f) Ein Stirling-Motor kühlt ein Haus, indem er mit einem Elektromotor angetrieben wird, und die kalten Seite des Motors das Kühlwasser des Hauses kühlt.
- g) In allen genannten Geräten (Kühlschrank, Klimaanlage, Blockheizkraftwerk, Warmwasser-Aufbereitung) kann eine der Funktionen oben verwendet werden.

^akomprimiert

^bwo expandiert sie

Beispiel 3.2 Energiequellen

J7F429

Überlege dir weitere Möglichkeiten für die Energiegewinnung.

- a) Welche Energiequelle würdest du anzapfen?
- b) Wie würde das Kraftwerk aussehen? Mache dir Notizen oder zeichne ein Bild.

Lösung:

- a) Eine weitere mögliche Energiequelle ist **geothermische Energie**, welche die Wärme aus dem Erdinneren zur Energiegewinnung nutzt.
- b) Ein geothermisches Kraftwerk könnte wie folgt aufgebaut sein:
- **Bohrungen:** Fördern heisses Wasser oder Dampf aus der Tiefe.
 - **Wärmetauscher:** Übertragen die Wärmeenergie auf ein Arbeitsmedium.
 - **Turbine und Generator:** Wandeln die Wärmeenergie in elektrische Energie um.
 - **Reinjektionsbohrung:** Leiten das abgekühlte Wasser zurück in die Tiefe.

Beispiel 4.1 Solar-Zellen (Photovoltaik)

PAWS8I

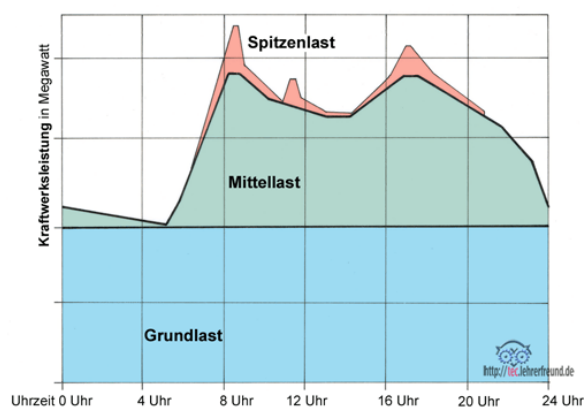
- a) Schliesse an die Solarzellen einen Verbraucher an, z. B. eine Lampe oder einen Elektromotor.
- b) Was passiert, wenn die Lichtstrahlen nicht senkrecht auf die Solarzellen treffen? Welcher Winkel liefert am meisten Strom?
Übertrage nun die Beobachtungen auf die Produktion von Solarstrom:
- d) Wo sollten Solarzellen aufgestellt werden?
- e) In welche Richtung sollten sie ausgerichtet werden?
- f) Wann produzieren die Solarzellen viel Strom, und wann weniger?

Lösung:

- a) Die Solarzellen beginnen Strom zu liefern, und der Elektromotor beginnt zu drehen. Das Strommessgerät zeigt einen Strom an.
- b) Die Stromerzeugung nimmt ab, wenn der Einfallswinkel flacher wird. Der optimale Winkel liegt bei 90° (senkrecht).
- c) Solarzellen sollten an Orten mit möglichst viel Sonnenlicht und wenig Schatten aufgestellt werden. Z.B. sind hohe Bergregionen sonniger als das schweizer Mittelland. Ausserdem hat es im Süden (als

in Äquatornähe) typischerweise mehr und intensivere Sonnenstrahlung.

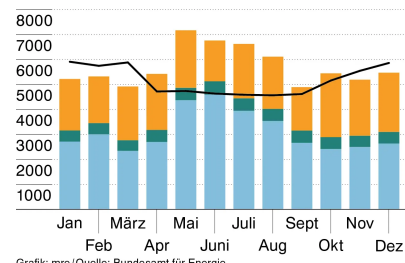
- d) In Europa sollten sie nach Süden ausgerichtet werden, um die maximale Sonneneinstrahlung zu nutzen.
- e) • **Viel Strom:** Im Sommer, bei direkter Sonneneinstrahlung und klarem Himmel, vor allem mittags.
- **Weniger Strom:** Im Winter, bei bewölktem Wetter, tiefem Sonnenstand oder schrägem Einfallswinkel der Sonnenstrahlen.



Inländische Stromproduktion – mit Kernkraft

im Jahr 2018, in Gigawattstunden

■ Wasserkraft ■ Kernkraft
■ Neue erneuerbare/fossile Energie
— Stromverbrauch



Beispiel 4.2 Tagesspeicher und saisonale Speicher

GPRCDF

Der Stromverbrauch hat einen typischen Verlauf über einen Tag hinweg und auch übers Jahr.

- a) Wann wird während eines Tages am meisten Strom verbraucht? Warum wird dann am meisten Strom verbraucht?
- b) Warum wird im Winter mehr Strom verbraucht als im Sommer?
- c) Wie könnte man den Strom, der in der Nacht produziert wird, am Mittag nutzen?
- d) Wie könnte man den Strom, der im Sommer erzeugt wird, im Winter nutzen?

Lösung:

- a) Am meisten Strom wird in den Morgen- und Abendstunden verbraucht.

- **Morgens:** Haushalte nutzen Strom für Beleuchtung, Kochen und andere Aktivitäten vor der Arbeit oder Schule.
 - **Abends:** Strom wird für Kochen, Heizung, Unterhaltungselektronik und Beleuchtung benötigt.
- b) Winter vs. Sommer: Im Winter wird mehr Strom für Heizung, Beleuchtung und elektrische Geräte benötigt, da die Tage kürzer und kälter sind. Im Sommer sind die Tageslichtstunden länger, und Heizungen werden nicht benötigt.
- c) Nacht zu Mittag: Der Strom kann in **Batteriespeichern** gespeichert werden, um ihn tagsüber zu nutzen. Eine weitere Möglichkeit ist die Nutzung von **Pumpspeicherkraftwerken**, um nachts Wasser hochzupumpen, das am Tag zur Stromerzeugung genutzt wird.
- d) Sommer zu Winter: A) **Pumpspeicherkraftwerke** sind leider meist unrentabel bei dieser Nutzung. B) Überschüssiger Strom kann in **Langzeitbatterien**. Das sind meist Flüssigmetallbatterie, deren Bestandteile (Anode, Kathode) flüssig sind. Der Elektrolyt ist fest. Es gibt sie (2024) erst als Pilotprojekte. C) Ausserdem könnte man **Wasserstoff** herstellen und speichern, der im Winter zur Energiegewinnung verwendet wird. Dabei entstehen aber leider hohe Verluste. D) Eine weitere Möglichkeit ist die Speicherung von Wärme in **Wärmespeichern** in Form von Wasser unter der Erdoberfläche. Auch da gibt es Pilotprojekte.

Beispiel 4.3 Photovoltaik und Speicher

THJTI4

- a) Du hast oben gesehen, wie sich der Stromverbrauch über einen Tag ändert. Überlege dir, welche Schwierigkeiten entstehen würden, wenn der gesamte Strom nur mit Photovoltaik erzeugt würde.
- b) Wie könnte man die Versorgungslücken stopfen? Mache 2–3 Vorschläge.

Lösung:

- a) Schwierigkeiten, wenn Strom nur mit Photovoltaik erzeugt wird:
- Die Stromproduktion hängt von Wetter und Tageszeit ab. Nachts und bei bewölktem Himmel wird kein oder nur wenig Strom erzeugt. Versorgungslücken können entstehen, besonders in Zei-

ten mit hohem Strombedarf (morgens, abends, im Winter).

- Überschüsse am Mittag könnten ungenutzt bleiben, wenn keine Speicher vorhanden sind.

b) Lösungen

- i) **Batteriespeicher:** Überschüssiger Strom kann tagsüber gespeichert und abends oder nachts genutzt werden.
- ii) **Pumpspeicherkraftwerke:** Wasser wird mit überschüssigem Strom in einen höher gelegenen Speichersee gepumpt und kann bei Bedarf zur Stromerzeugung genutzt werden.
- iii) **Kombination mit anderen Energiequellen:** Ergänzung durch Windkraft oder Biomassekraftwerke, die unabhängig von Sonnenlicht arbeiten.