

ENERGIESPEICHER DER ZUKUNFT – „SAUBERE ENERGIE“ JEDERZEIT VERFÜGBAR MACHEN

In dem Unterrichtsbeispiel werden den Schüler*innen die Hintergründe zur Speicherung von Energie vermittelt. Die Speicherung von Energie stellt eine der größten Schlüsselaufgaben zur optimierten zukünftigen Energieversorgung dar. Die dafür eingesetzten Technologien stellen sowohl Chancen als auch Gefahren für Gesellschaft, Natur und Klimaschutz dar.

ZIELE

Die Schüler*innen gewinnen einen Einblick in die Arten der Energiespeicherung und positionieren sich zu deren Auswirkungen auf Natur und Klima. Sie haben die Fähigkeit, das Chancen- und Gefahrenpotenzial der verschiedenen Energiespeicherarten zu bewerten. Sie können die verschiedenen Einsatzmöglichkeiten einschätzen.

LEHRPLANANBINDUNG

GY 9. Klasse, Physik, Lernbereich 2: Energieversorgung

OS 10. Klasse, Physik, Lernbereich 1: Erzeugung und Umformung elektrischer Energie

ZEITBEDARF

2 UE

MATERIAL UND PRAKTISCHE VORBEREITUNG

Anlage 1: Expert*innenwissen *Speichertypen – Texte für die Recherche im Klassenraum* – kopieren und in einzelne Textstreifen schneiden, die in der Klasse verteilt werden sollen

Anlage 2: Quiz

Anlage 3: Skizze Photosynthese – sie dient als Inspiration für den Einstieg an der Tafel/Flipchart

Filmvorschlag: 5 Energiespeicher für die Zukunft der Energiewende (11 min)

<https://www.youtube.com/watch?v=evjD-h1r7Qk>

INHALTLICHE VORBEREITUNG

Deutschland verbraucht etwa 500 Milliarden kWh Strom im Jahr. In Zukunft kommt noch der Elektroenergiebedarf für die Mobilität hinzu. Energiewandler werden in Zukunft mehr und mehr Primärenergieträger aus Erneuerbaren Energieträgern (EE) einsetzen. Aber womit speichern? Den einzigen idealen Speicher gibt es bekanntlich nicht. Daher werden die aktuell interessantesten Speicher aufgelistet und zum Teil gegenübergestellt. Anhand der Energiedichten (kWh/kg oder kWh/l), den Speichermedien und den Wirkungsgraden kann man die verschiedenen Speichermöglichkeiten miteinander vergleichen.

Akkus (Akkumulatoren) sind wiederaufladbar. Landläufig wird jedoch der Begriff Batterie (nicht wiederaufladbar) auch für Akkus genutzt.

Der Energiespeicher kann Energie aufnehmen und zu einem späteren Zeitpunkt abgeben:

1. Laden
2. Speichern
3. Entladen
4. (Danach kann erneut geladen werden)

Heute schwankt die Distanz zwischen Erzeuger und Verbraucher teilweise zwischen 0 (z.B. PV-Eigenverbrauch) und mehreren 100 km (Windstrom aus N-Deutschland). Das herkömmliche Stromnetz ist nicht immer in der Lage, den Strom jederzeit nach Bedarf zu verteilen. Dann passiert es auch, dass EE-Anlagen abgeschaltet werden müssen oder Großkraftwerke ihre Leistung minimieren müssen, wodurch sich der Nutzungsgrad verringert. Lösungsansätze sind ein zügiger Netzausbau und eine zeitliche Abstimmung von Erzeugung und Verbrauch mit Hilfe von Speichern:

- Batteriespeicher (eigentlich Akkus) – Li-Ionen-Batterie: (relativ) hohe Energiedichte, hohe Lebensdauer, hohe Leistungsfähigkeit, aufwändiges Batteriemangement, Kobalt notwendig
Alternative Batteriespeicher: Nickel-Metallhydrid, Lithium-Schwefel, Zink-Luft
- Redox-Flow-Speicher: Energie wird in der Flüssigkeit gespeichert, hoher Preis, Energiedichte nicht ideal für E-Mobilität, stationäre Speicher möglich
- Power-to-Gas: Elektrolyse, H als Energieträger, Methanisierung: H mit CO₂ zu Methan ins Erdgasnetz mischen – vielseitig einsetzbar, große Energieverluste (Abwärme nutzbar - > saisonale Wärmespeicher)
- Wasserstoff: sehr hohe Energiedichte, Verluste bei der Umwandlung; PKW mit 60 l Hochdruck-H fährt 500 km, stationär in Salzstöcken speicherbar; oder auch: H gebunden mit flüssiger organischer Chemikalie, bestehende Tankinfrastruktur wäre nutzbar.
- Flexibilisierte Biogasanlagen – Grundlast, planbar, unabhängig – mit Gasspeicher, Stromproduktion nach Bedarf
- Saisonale Wärmespeicher: in Dänemark großflächig eingesetzt (großes Volumen, geringe Oberfläche) aus thermischen Solaranlagen oder Überschüssen aus Erneuerbaren.
- Superkondensatoren: fangen hohe Leistungsspitzen im Stromnetz auf und stellen hohe Leistungsdichten in wenigen Sekunden zur Verfügung, bedeutend mehr Schaltzyklen als Akkus, Rückgewinnung von Bremsenergie und Wiedernutzung zum Anfahren in Fahrzeugen, jedoch geringe Energiedichte
- Druckluftspeicherkraftwerk - indirekter Speicher: Überschussstrom treibt einen Kompressor an, Luft wird in ehemalige (Salz)Lagerstätten gepresst (50 bar); zum Entladen werden Turbinen betrieben. Größter Speicher in Alabama kann mit Volumen von 580.000 m³ 3 Millionen kWh Energie einlagern. Schwarzstartfähig (starten auch, wenn Stromversorgung lahm gelegt ist),
- Pumpspeicherkraftwerk – potenzielle Energie des Wassers: Überschussstrom pumpt Wasser in ein hochgelegenes Becken. Bei Bedarf wird Wasser durch Fallrohre auf Turbinen geleitet. Großer Flächenbedarf, Eingriff in Ökosysteme. Geringe Energiedichte, aber lohnenswert im Gebirge, sobald große Höhen überwunden werden.

- Schwungmassenspeicher – mechanische Speicherlösung zum kurzfristigen Ausgleich von Spitzenlasten oder zur unterbrechungsfreien Stromversorgung: kurze Zugriffszeiten mit hoher Zyklenzahl, sehr hohe Leistung abrufbar, aber rasche Selbstentladung.

Stromspeicher ermöglichen bereits heute eine stabile Stromversorgung, d.h. eine stabile Netzfrequenz und machen erneuerbare Energieträger (Sonne, Wind) damit grundlastfähig und schaffen den notwendigen Ausgleich zwischen Stromerzeugung und Verbrauch. (Power-to-power).

Mit Hilfe der sogenannten **Sektorkopplung** können Erzeugung und Bedarf von verschiedenen Energieformen ideal aufeinander abgestimmt werden: Strom-, Wärme- und Mobilitätsnutzung werden immer stärker zusammen spielen. Strom wird hier in Wärme umgewandelt (Power-to-heat), in Gas (Power-to-gas) oder in eine Grundchemikalie (Power-to-chemicals) – allgemein spricht man von Power-to-X.

In der Vielfalt variiert die Lösung entsprechend des Anwendungsfalles:

- Schnelle Be- und Entladezeiten (für Frequenzhaltung im Stromnetz)
- Speicherung größerer Mengen über Tage oder Wochen oder Saison (speziell: Wärmespeicher)
- Eigenstromversorgung durch Photovoltaik(PV)-Speicher oder E-Mobilität

Ergänzend sei hier noch der Begriff **Funktionaler Stromspeicher** erwähnt: hiermit wird eine Lastflexibilisierung in Industrie, Gewerbe, Dienstleistung ermöglicht. Die bereits oben erläuterten Technologien sind funktional einsetzbar. Detailinformationen dazu sind der Literatur aus den unten genannten Quellen zu entnehmen.

- Lastflexibilisierung in privaten Haushalten
- E-Mobilität (Vehicle-to-grid)
- Kraft-Wärme-Kopplung-Wärmespeicher
- Flexibilisierte Biogasanlagen
- Power-to-heat

- Power-to-gas

DURCHFÜHRUNG

1. **Einführung (10 min):** Die Lehrkraft hat vor der Unterrichtseinheit schemenhaft den Prozess der Photosynthese entsprechend Anhang 6 an die Tafel skizziert. Die Schüler*innen sind aufgerufen den Prozess a) zu erkennen und b) zu erklären. Lehrkraft und Klasse wiederholen gemeinsam den soweit bekannten Prozess. Die Schüler*innen finden heraus, wie und in welcher Form hier Energie gespeichert wird.
2. **Ideensammlung (10 min):** Die Lehrkraft erläutert die Hintergründe für den Bedarf an Energiespeichern:
„Die Sonne strahlt in einer Stunde mehr Energie auf die Erde als die gesamte Erdbevölkerung in etwa einem Jahr benötigt. Auch wenn das technische Potenzial nur einen Bruchteil davon darstellt: gemeinsam mit Windkraft, Wasserkraft und der Nutzung von Bioenergie würde einer 100 %-Versorgung mit erneuerbaren Energieträgern (EE) nichts im Wege stehen, wäre da nicht die Sache mit der zeitlichen Verschiebung von Bereitstellung und Bedarf. Die vorher nicht planbaren Schwankungen (Volatilität) der Verfügbarkeit von Strom aus Sonne und Windenergie erfordert die Speicherung von Stromüberschüssen, die zu anderen Zeiten wieder gefragt sind.“ Die Lehrkraft ergänzt diese Einleitung aus den eigenen Erkenntnissen aus der inhaltlichen Vorbereitung auf diese Doppelstunde.
Sie fragt anschließend in die Runde, in welchen Bereichen und in welcher Form Energiespeicher bekannt sind. Die Lehrkraft nimmt die Beispiele auf und sammelt an der Tafel oder einem Flipchart-Bogen. – Welche davon sind mobil?
Die Ideensammlung bleibt vorerst so stehen und wird im Laufe der Doppelstunde vervollständigt.
3. **Film 5 Energiespeicher für die Zukunft der Energiewende (15 min)** – Die Lehrkraft macht die Schüler*innen darauf aufmerksam, die Vor- und Nachteile der fünf erwähnten Energiespeicher zu notieren. Die Schüler*innen erhalten weitere 5 Minuten nach dem Film, um mit den Sitznachbar*innen fehlende Informationen

auszutauschen.

4. Die Lehrkraft verteilt das Expert*innenwissen aus Anhang 1(Textstreifen/Kärtchen) im Klassenraum. Die Schüler*innen sind in 2er-Gruppen beauftragt, das weitere Expert*innenwissen zu den bereits genannten und noch weiteren Energiespeichern aus den ausgelegten Texten zu „recherchieren“. Es gibt Textstreifen mit allgemeinen Informationen sowie mit konkreten Praxisbeispielen. Die Schüler*innen notieren sich die **wichtigsten Fakten, um die Speicher miteinander vergleichen zu können. (30 min)** Die Schüler*innen ermitteln, soweit es die Zeit zulässt, Hintergründe zu allen vorgestellten Technologien. Mindestens zwei oder drei der Fragen sollten die Schüler*innen bei der Speichertypen-Sammlung jeweils beachten:
 - In welcher Form speichert der Speichertyp die Energie?
 - Kann der Speicher im mobilen oder stationären Betrieb eingesetzt werden?
 - Welche besonderen Vorteile hat der Speichertyp?
 - Welche Nachteile kennst Du bei diesem Speichertyp?
 - Kennst Du eine Anlage aus der Praxis?
5. **Zusammentragen der Speichertypen (15 min):** Die Lehrkraft ergänzt an Tafel oder Flipchart. Die Schüler*innen nennen reihum die recherchierten Speichertypen und begründen die Sinnhaftigkeit für die verschiedenen Anwendungsgebiete. Die einzelnen (Vor- und) Nachteile werden – soweit notwendig – durch die Lehrkraft noch einmal hervorgehoben.
6. **Quiz zum Schluss (10 min)** Die Ausführung kann individuell mit Lösungsangabe auf einem Ausdruck des Anhang 2 für jede*n Schüler*in erfolgen und gemeinsam – in der nächsten Unterrichtsstunde - aufgelöst werden.
Variante: Die Lehrkraft liest die Fragen vor, nennt die Antwortmöglichkeiten und die Schüler*innen geben ihre richtige Antwortwahl mit Handzeichen an.

KOMPETENZERWERB

ERKENNEN

Die Schüler*innen kennen verschiedene Energiespeicher, deren bevorzugte Einsatzmöglichkeiten, individuelle Vorteile, aber auch Problematiken und die je mit den einzelnen Speichertechnologien verbundenen Vor- und Nachteile.

BEWERTEN

Die Schüler*innen können die Auswirkungen des Einsatzes bestimmter Energiespeicher auf Ökosysteme und Gesellschaft (Ressourcengerechtigkeit!) sowie deren Chancen- und teilweise auch Problem- und Gefahrenpotenzial einschätzen.

WEITERBEARBEITUNG

Für vertiefende Gruppenarbeiten zu einem ganzen Projekttag empfiehlt sich das *SOL-Arrangement Energiespeicher* von http://www.energie-macht-schule.de/themen/erneuerbare_energien/unterrichtsmaterial

HINTERGRUNDINFORMATIONEN FÜR LEHRKRÄFTE

Bolay, Sebastian, BVES, Faktenpapier Energiespeicher, 2017.

<https://forschung-energiespeicher.info/aktuelles/>

<https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Textsammlungen/Energie/speichertechnologien.html>

<https://www.kopernikus-projekte.de/projekte/power-to-x>

<https://www.zeit.de/zeit-wissen/2018/04/erneuerbare-energien-stromspeicher-technologie-lithium/komplettansicht>

[aufgerufen am 20.06.2019]

QUELLE

Konzipiert von *Dipl.-Ing. Birgit Benesch-Jenkner* als Teil des sächsischen Umsetzungsprojektes zum Orientierungsrahmen für den Lernbereich globale Entwicklung.
Bolay, Sebastian, BVES, Faktenpapier Energiespeicher, 2017

<https://forschung-energiespeicher.info/aktuelles/>

<https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Textsammlungen/Energie/speichertechnologien.html>

<https://www.youtube.com/watch?v=evjD-h1r7Qk>

<https://www.kopernikus-projekte.de/projekte/power-to-x>

<https://www.zeit.de/zeit-wissen/2018/04/erneuerbare-energien-stromspeicher-technologie-lithium/komplettansicht>

<https://biogas.fnr.de/nutzung/strom/flexibilisierung-von-biogasanlagen/>

[aufgerufen am 20.06.2019]

ANLAGE 1: TEXTE FÜR DIE RECHERCHE IM RAUM

Die Schüler*innen sind aufgefordert, aus diesen Kurztexten die wichtigsten Fragen zu den verschiedenen Speichertypen herauszulesen. Sie machen sich kurze Notizen, die anschließend in der Klasse zusammengetragen werden. Praxisbeispiele sollen diese Sammlung ergänzen.

- In welcher Form speichert der Speichertyp die Energie?
- Kann der Speicher im mobilen oder stationären Betrieb eingesetzt werden?
- Welche besonderen Vorteile hat der Speichertyp?
- Welche Nachteile siehst Du bei diesem Speichertyp?
- Kennst Du eine Anlage aus der Praxis?

Akkus (Batteriespeicher)

Batteriespeicher (eigentlich Akkus) – Lithium-Ionen-Batterie: (relativ) hohe Energiedichte, hohe Lebensdauer, hohe Leistungsfähigkeit, aufwändiges Batteriemangement, derzeit hauptsächlich eingesetzte „Batterie“ für E-Autos. Tiefentladung sollte vermieden werden. Kobalt ist notwendig, da es die Energiedichte steigert.

ACHTUNG: Kobalt wird mehrheitlich in der DR Kongo abgebaut. 14 % des weltweiten Kobaltabbaus erfolgt im Kleinbergbau. Dort wird unter menschenwidrigen Bedingungen (z.T. Kinderarbeit) und mit unkontrolliertem Einsatz giftiger Chemikalien abgebaut. Die Verschmutzung von Trinkwasser sowie der Böden und der Luft sind die Folgen.

Alternative Batteriespeicher (mit weniger optimalen technischen Eigenschaften): Nickel-Metallhydrid, Lithium-Schwefel, Zink-Luft

Akkuspeicher

Batteriezellen – sind nicht wieder aufladbar

Akkuzellen – sind wieder aufladbar

Mehrere miteinander verbundene elektrische Zellen nennt man Akkuzelle (bzw. Akku). Sie sind ein Energiespeicher und auch Energiewandler. Bei der Entladung wird die chemische Energie in elektrische Energie umgewandelt.

Wenn kein Stromnetz zur Verfügung steht, kann man mit Hilfe einer Batterie oder eines Akkus elektrische Verbraucher nutzen.

Modellspeicher in Reick

In Reick betreibt die DREWAG Sachsens ersten kommerziellen Akkuspeicher, der als Primärregelanlage für das öffentliche Stromnetz erprobt wird. Das innovative Modell- und Demonstrationsvorhaben legt den Grundstein für den Ausbau praxisgerechter Akkuspeichersysteme.

Bei zunehmendem Ausbau der erneuerbaren Energieträger soll so die notwendige Regelleistung und die Stabilität der Stromnetze sichergestellt werden.

Power-to-Gas

Mit Hilfe von Elektrolyse wird Wasserstoff (H) als Energieträger generiert, in einem weiteren Schritt erfolgt die Methanisierung durch H mit CO₂ zu Methan. Methan wird ins Erdgasnetz beigemischt. Es ist vielseitig einsetzbar, aber durch die lange Umwandlungskette (z.B. auch Umwandlung in der Brennstoffzelle) ergeben sich große Energieverluste.

Wasserstoff oder Methan in das Erdgasnetz

Die Integration des überschüssigen Stroms aus Erneuerbaren Energieträgern als Wasserstoff oder Methan in das Erdgasnetz ist besonders für den Technologiestandort Sachsen eine interessante Option Wertschöpfung nach Sachsen zu holen (Zitat Netzwerk Energy-Saxony).

Hintergrundwissen Biogas

Biogas wird in großen Behältern ohne Sauerstoff mit Hilfe von Bakterien aus Gülle, Mist, Energiepflanzen aber auch Lebensmittelabfällen hergestellt. Biogas entspricht in der chemischen Zusammensetzung dem Erdgas.

In einem Blockheizkraftwerk wird das Gas in Strom und Wärme umgewandelt. Als Nebenprodukt entsteht ein Gärrest, der als Dünger eingesetzt werden kann. Biogas kann aber auch ins Erdgasnetz eingespeist werden.

Flexibilisierte Biogasanlagen

Bestehende Biogasanlagen müssen auf die bedarfsgerechte, flexible Produktion umgerüstet werden, damit sie in Zukunft zur Stromversorgung beitragen können. Zusätzlich ist der Aufbau für eine Wärmenutzung und Vermarktung von Wärme über Nahwärmenetze anzustreben. Ein zusätzlicher Gasspeicher wird notwendig, um das Gas zeitlich flexibel in Strom und Wärme umwandeln zu können.

Pufferspeicher

Wärme aus thermischen Sonnenkollektoren, aber auch aus Kesseln, die Biomasse verbrennen, kann über 2 – 3 Tage gespeichert werden. Somit kann auch an Regentagen warm geduscht werden.

Saisonale Wärmespeicher mit solarer Fernwärme

In einem Saisonalspeicher wird Wärme aus thermischen Solaranlagen über lange Perioden, also mehrere Wochen bis Monate, gespeichert. Von Mai – September wird die überschüssige Solarenergie über mit Wasser befüllte Rohrschlangen in große Behälter oder Erdbecken geladen.

Das süddänische Energieversorgungsunternehmen Marstal Fjernvarme A.m.b.a gilt als Vorreiter bei der Realisierung integrativer Energieversorgungsnetzwerke mit saisonalen Wärmespeichern. Seit 2012 speisen insgesamt 33.365 m² thermische Solarkollektoren gekoppelt an zwei Erdbeckenspeicher mit 10.000 m³ bzw. 75.000 m³ sowie eine 1,5 MW_{thermisch} Kompressionswärmepumpe mit CO₂ als Kältemittel in das Fernwärmenetz der Stadt Marstal Wärme ein. (Quelle: <http://www.saisonalspeicher.de>)

Druckluftspeicher

Überschüssig produzierter Strom wird genutzt, um Luft unter Druck in einen Speicher zu pumpen. Bei Bedarf wird der Druck über eine Gasturbine in elektrische Energie umgewandelt.

Mit Hilfe von Druckluftspeichern lässt sich Stromangebot und –nachfrage besser abstimmen. Er ist spitzenlastfähig, denn seine Leistung kann innerhalb weniger Minuten zur Verfügung stehen. Bei gefülltem Speicher sind Druckluftspeicher außerdem „schwarzstartfähig“ (=zum Hochfahren benötigen sie keine funktionierende Stromversorgung). JEDOCH werden bestimmte geologische Standortfaktoren (z.B. Salzstöcke) benötigt. Druckluftspeicherstrom ist teuer (auch, da er Erdgas für den Betrieb benötigt) und wird nur zu Spitzenlasten eingespeist.

Kraftwerk Huntorf

Das niedersächsische KW ist ein kombiniertes Druckluftspeicher- und Gasturbinenkraftwerk und war das erste (kommerziell genutzte) der Welt (seit 1978). Die Absicht war, Grundlaststrom eines nahegelegenen AKWs aufzunehmen und in Spitzenlastzeiten ins Netz einzuspeisen. Seine Leistung beträgt 321 MW. Diese Leistung kann über 2 Stunden lang abgegeben werden.

Power-to-X

Strategien für die flexiblere Nutzung von Strom aus volatilen (schwankenden) erneuerbaren Energieträgern sind

- Strom in Wasserstoff oder Methan umzuwandeln – Power-to-Gas
- Strom in Wärme umzuwandeln – Power-to-Heat
- Strom in synthetische Kraftstoffe für die Mobilität umzuwandeln (z.B. mit Fischer-Tropsch-Synthese) – Power-to-Liquid

Dadurch wird eine stärkere Vernetzung von Strom-, Wärme- und Mobilitätssektor mittels Sektorkopplung ermöglicht. (mehr dazu auch unter *Kopernikus Projekte P2X*)

Redox-Flow-Speicher: oder VRF Vanadium-Redox-Flow-Speicher

Energie wird in einer Elektrolytflüssigkeit gespeichert, derzeit noch hoher Preis, Energiedichte nicht ideal für E-Mobilität, stationäre Speicher möglich (z.B. Photovoltaikanlage)

Größter „Batteriespeicher“ Europas ist ein VRF-Speicher an einem Forschungsinstitut bei Karlsruhe: überschüssige Energie aus Wind- und Solarparks kann gespeichert werden.

ANLAGE 2: QUIZ ZU SPEICHERTECHNOLOGIEN

1. Welche dieser drei Begriffe zählt nicht zu den Speichertechnologien?
 - A) Power-to-Gas
 - B) Erdgas
 - C) Flexibilisierte Biogasanlage

2. Welcher dieser drei Energieträger ist unabhängig von Wetter und Tageszeit?
 - A) Solarenergie
 - B) Windenergie
 - C) Bioenergie

3. Mit Hilfe welcher Speicherstrategie kann Wasserstoff in einen synthetischen Kraftstoff umgewandelt werden?
 - A) Sonne wird in Öl umgewandelt
 - B) Wasserstoff dient als Speicher von Strom aus der Sonne, dieser kann in Kraftstoff umgewandelt werden
 - C) Wasser wird in einem Pumpspeicherkraftwerk in den Treibstoff umgewandelt

4. In welchem großen Speicher kann Wärme aus solarthermischen Anlagen nicht gespeichert werden?
 - A) in Saisonalen Speichern
 - B) in Pufferspeichern
 - C) in Druckluftspeichern

5. Welche besondere Fähigkeit haben Akkumulatoren, sog. Batteriespeicher, aus Lithium-Ionen?
 - A) sie haben eine hohe Leistungsfähigkeit
 - B) sie sind absolut umweltfreundlich
 - C) sie können chemische Energie in Wasserstoff umwandeln

ANLAGE 3: SCHEMA PHOTOSYNTHESE FÜR TAFELBILD

