

Didaktischer Kommentar SINUS Generatorprinzip mit Basismodellen und BNE 2025

GRUNKURS - UNTERRICHTSVORHABEN

UV Q: Erzeugung von elektrischer Energie mithilfe von Generatoren <i>Sequenz zu der Frage:</i> Wie kann elektrische Energie aus Drehbewegungen gewonnen werden? [UV V: Energieversorgung und Transport mit Generatoren und Transformatoren] Inhaltsfeld: Elektrodynamik und Energieübertragung Zeitbedarf: ca. 8 Unterrichtsstunden à 45 Minuten	Fachschaftsinterne Absprachen: Zum Beispiel ein gemeinsames Projektvorhaben mit der Fachschaft Geographie vor dem Hintergrund nachhaltiger Energieversorgung und Energiewirtschaft.
Inhaltliche Schwerpunkte: - Elektrodynamik: magnetischer Fluss, elektromagnetische Induktion, Induktionsgesetz; Wechselspannung - Energieübertragung: Generator Übergeordnete Kompetenzerwartungen: Eine vollständige Auflistung der übergeordneten Kompetenzerwartungen befindet sich im KLP Physik. - S1, S7 - E6, E10 - K3, K4, K8, K9 - B3, B6	Ausgewählte Beiträge zu den Basiskonzepten: Superposition und Komponenten: Die Komponentenzerlegung erklärt Induktionsphänomene bei einer rotierenden Leiterschleife in einem Magnetfeld. Mathematisieren und Vorhersagen: Das Induktionsgesetz ermöglicht quantitative Vorhersagen von Spannungssignalen.

Voraussetzungen vorangegangener Unterrichtsvorhaben Schülerinnen und Schüler...	Konkretisierte Kompetenzerwartungen Schülerinnen und Schüler...
• erläutern das Auftreten von Induktionsspannungen am Beispiel der <i>Leiterschaukel</i> durch die Wirkung der Lorentzkraft auf bewegte Ladungsträger (S3, S4, K4), • führen Induktionserscheinungen bei einer Leiterschleife auf die zeitliche Änderung der magnetischen Flussdichte oder die zeitliche Änderung der durchsetzten Fläche zurück (S1, S2, K4), • beschreiben das Induktionsgesetz mit der mittleren Änderungsrate und in differentieller Form des magnetischen Flusses (S7), • modellieren mathematisch das Entstehen von Induktionsspannungen für die beiden Spezialfälle einer zeitlich konstanten Fläche und einer zeitlich konstanten magnetischen Flussdichte (E4, E6, K7).	• interpretieren die mit einem <i>Oszilloskop</i> bzw. <i>Messwerterfassungssystem</i> aufgenommenen Daten bei elektromagnetischen Induktions- und Schwingungsversuchen unter Rückbezug auf die experimentellen Parameter (E6, E7, K9), • erklären das Entstehen von sinusförmigen Wechselspannungen in <i>Generatoren</i> mithilfe des Induktionsgesetzes (E6, E10, K3, K4), • beurteilen ausgewählte Beispiele zur Energiebereitstellung und -umwandlung unter technischen und ökologischen Aspekten (B3, B6, K8, K10), • beurteilen das Potential der Energierückgewinnung auf der Basis von Induktionsphänomenen bei elektrischen Antriebssystemen (B7, K2).

Grundlagen zur lernprozessorientierten Unterrichtsplanung und Erstellung von Lernaufgaben unter Berücksichtigung der Basismodelle nach Oser

Als Grundlagenliteratur sei der Leitfaden zur Erstellung von Lernaufgaben von S. Theis und Dr. R. Wackermann aus dem SINUS-Projekt 2020 sehr empfohlen:

<https://www.schulentwicklung.nrw.de/materialdatenbank/material/download/10653>

Hier wird deutlich, wie Lernaufgaben materialgestützt ohne personale Steuerung konzipiert werden können und wie die Basismodelle nach Oser die Planung unterstützen können.

Vertiefende Informationen zu den Basismodellen nach Oser sind hier zu finden:

- Wackermann, Krabbe (2017). Die Basismodelle des Lehrens und Lernens. In: MNUJournal 2017
- Krabbe, Zander, Fischer (2015): Lernprozessorientierte Gestaltung von Physikunterricht. Waxmann, Münster. <http://www.ganzin.de/wp-content/uploads/2015/10/Lernprozessorientierte-Gestaltung-von-Physikunterricht.pdf> (letzter Aufruf am 24.02.24)
- Trendel, Wackermann, Fischer (2007): Lernprozessorientierte Lehrerfortbildung in Physik. ZfDN 13, 9-31. http://archiv.ipn.uni-kiel.de/zfdn/pdf/001_Trendel_13.pdf (letzter Aufruf am 24.02.24)
- https://lehrerfortbildung-bw.de/u_matnatech/bnt/gym/bp2016/fb2/4_energie/1_was/2_plan/ (letzter Aufruf am 24.02.24)

Grobstruktur des Unterrichtsvorhabens

Der vorliegende Unterrichtsgang ist durch die drei aufeinander aufbauenden Lerneinheiten „Lernen durch Eigenerfahrung“, „Konzeptbildung“ und „Problemlösen“ strukturiert. Als Kontext wird zunächst die Idee der dezentralen Energiegewinnung durch die sogenannten Soccets vorgestellt, um bereits frühzeitig Bezüge zu einer Bildung für nachhaltige Entwicklung (BNE) herzustellen. Bildung für nachhaltige Entwicklung meint, eine Haltung zu entwickeln, bei allen Entscheidungen zu prüfen, dass die Bedürfnisse der Gegenwart befriedigt werden, und dass zukünftige Generationen das auch noch tun können. Es ist wichtig, dass Physikunterricht einen Beitrag zu einer BNE leistet. Der vorliegende Unterrichtsgang zeigt gegen Ende exemplarisch, wie fachphysikalische Lösungen in Bezug auf Nachhaltigkeit beurteilt werden können.

Zu Beginn der Reihe wird das Problem der dezentralen Energiegewinnung und Bereitstellung in vielen Teilen Afrikas dargestellt. Jessica O. Matthews hat als Reaktion darauf die sogenannten Soccets entwickelt. Mit dieser Art Fußball ist es möglich, die kinetische Energie im Ball in elektrische Energie umzuwandeln. Zur Energiewandlung wird ein Generator verwendet. Die elektrische Energie wird in einem Akku gespeichert und steht abends für eine Leselampe zur Verfügung.

In den Einheiten „Lernen durch Eigenerfahrungen“ und „Konzeptbildung“ werden die physikalischen Grundlagen gelegt, um die Funktionsweise der Idee und generell Generatoren zu verstehen. In der letzten Einheit, dem „Problemlösen“ werden diese und ähnliche Ideen bewertet.

Ausgehend von dem oben dargestellten Kontext erhalten die Lernenden in der Einheit „Lernen durch Eigenerfahrung“ die Gelegenheit, eigene Erfahrungen mit der Erzeugung von Spannung durch Drehbewegungen zu sammeln. Zur Auswahl stehen zwei Experimente: Ein Realexperiment als Video und eine Simulation. Dabei sei angemerkt, dass es wünschenswert ist, das Realexperiment, sofern es die Möglichkeiten der eigenen Sammlung zulassen, aufzubauen. Das Realexperiment als Primärerfahrung, so scheint uns, ist in der Regel einer sekundären Erfahrung am Bildschirm vorzuziehen. Das aufgebaute Demonstrationsexperiment kann nun um das Video oder die Simulation ergänzt werden.

Je nach zur Verfügung stehender Zeit ist es auch denkbar, beide Experimente durchführen zu lassen oder den Lernenden die Auswahl zu überlassen.

Die Lernenden sammeln durch das direkte Feedback im Experiment zunächst individuelle, episodische Erfahrungen, die im Anschluss verglichen und verallgemeinert werden.

Als Ergebnis können durch die SchülerInnen je-desto-Sätze gebildet werden, die beschreiben, welchen Einfluss die beteiligten physikalischen Größen durchgesetzte Spulenfläche, Windungszahl, magnetische Flussdichte und Drehgeschwindigkeit auf die Induktionsspannung haben. Eine mathematische Beschreibung ist hier bewusst nicht vorgesehen.

Die mathematische Beschreibung erfolgt erst in der nächsten Lerneinheit – der Konzeptbildung. Nachdem die kognitive Lücke aufgezeigt wurde, nämlich eine exakte mathematische Beschreibung der Induktionsspannung, wird das Konzept an einem Prototyp durchgearbeitet. Die Herleitung konstruieren die Lernenden in einem Formelpuzzle auf drei möglichen Niveaustufen mit verschiedenen Darstellungsformen (bildlich, sprachlich, mathematisch) im Sinne eines sprachsensiblen Fachunterrichts.

Das eigentliche Konzept ist dabei die Idee der Komponentenzerlegung und nicht die Formel

$$U_{ind} = n \cdot B \cdot A \cdot \omega \cdot \sin(\omega \cdot t)$$

an sich, auch wenn der Umgang mit der Formel in den nachfolgenden Schritten eingeübt werden soll.

Die Fläche wird dabei in eine zum Magnetfeld parallele und eine orthogonale Komponente zerlegt. Dies stellt ein übergeordnetes Konzept dar, welches sich auf viele Bereiche der Physik übertragen lässt. Beispiele dafür werden im fünften Schritt der Konzeptbildung angeboten. So lässt sich mit der Komponentenzerlegung die Formel für die Wechselspannung über die Lorentzkraft herleiten und die Impulserhaltung beim zweidimensionalen Stoß experimentell nachweisen.

Wichtig erscheint uns bei der Konzeptbildung eine ausreichend lange Übungsphase in den Schritten vier und fünf der Konzeptbildung. Nur so erhalten die SchülerInnen Gelegenheit, aktiv mit dem neuen Konzept umzugehen und in ihr bestehendes Wissensnetz einzuordnen.

Ausgehend von dem bis hier hin erlangten Wissen und Erfahrungen kann in der letzten Lerneinheit des Unterrichtsvorhabens dem folgenden Problem nachgegangen werden: „Kann man mit dem Induktionsprinzip sinnvoll aus Alltagsbewegungen elektrische Energie erzeugen? – Wie könnten solche Lösungen aussehen?“ Sinnvoll bedeutet hier ökonomisch lohnend, Menschen würden es nutzen wollen und es stellt keine nennenswerte Belastung für die Umwelt dar.

Wichtig erscheint uns, dass das Problemlösen fachlich angebunden ist und die SchülerInnen das in vorherigen Stunden erworbene Wissen zur Problemlösung nutzen können. Damit bietet sich eine weitere Gelegenheit für einen Wissenstransfer und Vernetzung von Erfahrungen. Darüber hinaus bietet sich an dieser Stelle die Gelegenheit, Elemente der BNE zu integrieren.

Das oben beschriebene Problem ist so komplex, dass nur eine Annäherung an eine Lösung vollzogen werden kann. Bei der Beurteilung der möglichen Lösungen helfen zuvor festgelegte Kriterien, welche aus anderen Fächern, wie zum Beispiel Geographie, bereits bekannt sein können. Wir schlagen an dieser Stelle die drei Nachhaltigkeitsdimensionen vor:

- Ökonomie: Kosten-Nutzen-Abschätzung (An dieser Stelle kann man Abschätzungen treffen und Energiemengen berechnen), Machbarkeit und Praktikabilität (Ist die Energieerhaltung berücksichtigt?)
- Soziales: Ist die Idee für alle nutzbar? Wird niemand benachteiligt?
- Ökologie: Entsteht eine wesentliche, zusätzliche Umweltbelastung?

Diese Aspekte stehen dabei in enger Beziehung miteinander, denn:

- Ökologie + Soziales = lebenswert
- Ökonomie + Ökologie = lebensfähig
- Soziales + Ökonomie = fair

Indem die Nachhaltigkeitsdimensionen als Bewertungskriterien bei fachlichem Problemlösen verwendet werden, können in einem fachlich ausgerichteten Physikunterricht der Sekundarstufe II Aspekte einer Bildung für Nachhaltige Entwicklung integriert werden. Das Unterrichtsvorhaben schließt mit einer Methodenreflexion.

	Didaktisch-methodische Anmerkungen und Empfehlungen zur Einheit Lernen durch Eigenerfahrung
LdE 0 Ankommen im Kontext: Erzeugung elektrischer Energie am Alltagsbeispiel Windrad	Die SchülerInnen sammeln Assoziationen zur Windkraftanlagen und kommen so im Lernkontext an. Gleichzeitig wird der Kontext „Erneuerbare Energien“ geöffnet, um Bezüge zu BNE herzustellen. Mögliche Assoziationen der SchülerInnen: Elektrische Energie, Strom, erneuerbaren Energien, Lautstärke der Windräder, Sommer, Wind, Energiewende
LdE 1 Planen der Handlung: Experimente zum Generator + Fragen zu Experiment 2	Es gibt eine Auswahl von zwei Experimenten: Das 1. Experiment „Drehende Spule am Messwerterfassungssystem“ besteht aus zwei Videos: dem Aufbau und der Durchführung des Experimentes inklusive Zeitlupe. Das 2. Experiment ist eine Simulation des 2. Experimentes als Web-App. Für den Lernfortschritt genügt die Bearbeitung eines der beiden Experiment. Die SchülerInnen planen ihre Handlungen selbst, indem sie die Beschreibungen lesen und sich mit dem Versuchsaufbau vertraut machen.
LdE 2 Durchführen der Handlungen: Experimente zum Generator + Fragen zu Experiment 2	Die Beobachtungen werden durch Fragen und Zuordnungen von Bildern sowie Grafiken fixiert. Die beiden Experimente teilen sich einen Fragekatalog, da die Bearbeitung eines der beiden Experimente ausreicht. Es kann hilfreich sein, die 4. Kachel "Fragen zu den Experimenten (LdE 2)" in einem anderen Fenster oder Tab zu öffnen, um konkretere Fragen während des Experimentierens vor Augen zu haben.
LdE 3 Konstruieren von Bedeutung: Zusammenfassung der Beobachtungen	Die Beobachtungen werden in diesem Schritt in Worte gefasst und verschriftlicht. Dadurch konstruieren die SchülerInnen zu ihren gemachten Erfahrungen Bedeutungen. Diese sind zunächst noch individuell und episodisch. Jede Gruppe erstellt dazu einen Forumsbeitrag.

	Didaktisch-methodische Anmerkungen und Empfehlungen zur Einheit Lernen durch Eigenerfahrung
LdE 4 Verallgemeinern der Erfahrung: Ergebnisse vergleichen und sichern	Das Forum ermöglicht es, die Ergebnisse aller anderen Gruppen direkt einzusehen. So können nach Gemeinsamkeiten und Unterschieden zu den eigenen Ergebnissen geschaut werden. Dieser Schritt bereitet eine Diskussion im Plenum vor und die SchülerInnen gewinnen an Sicherheit für eigene Wortbeiträge. Nach der Formulierung der Ergebnisse im Plenum bietet sich eine erneute Sicherung in Form eines Quiz an. Nach dieser Reflexion haben die Beobachtungen einen allgemeineren, entpersonalisierten Charakter. Es können Regeln und Gesetzmäßigkeiten formuliert werden.
LdE 5 Dekontextualisieren durch Reflexion ähnlicher Erfahrungen: Übungen und andere Kontexte	Im letzten Schritt werden die Ergebnisse dekontextualisiert. Dazu wird ein Wissensnetz zum Themenfeld Erzeugung von Spannung durch Induktion erstellt. Drei weitere Anwendungen/Fragen dienen der Übung: 1. Wie sollte der Generator bei einer Windkraftanlage aussehen? 2. Wie lässt sich ein Generator dazu verwenden, einen Handyakku aufzuladen? 3. Wie lassen sich zwei Generatoren oder Windräder zusammenschalten? Die Lösungen werden in Form eines Freitextes formuliert und anhand von Schlüsselwörtern „korrigiert“. Diese Form der Kontrolle kann nicht perfekt gelingen. Eine Unterstützung durch die Lehrkraft erscheint hier notwendig. Die Texte der SchülerInnen können in der Rolle als Lehrkraft ganz oben im Kurs unter dem Reiter „Bewertungen“ eingesehen werden.

	Didaktisch-methodische Anmerkungen und Empfehlungen zur Einheit Konzeptbildung
KB 0 Ankommen im Kontext: Rotierendes Kabel im Erdmagnetfeld	Ein Experiment in mehreren Videos demonstriert, dass es möglich ist, nur mit einem rotierenden Kabel eine Spannung zu erzeugen. An dieser Stelle bleibt unaufgelöst, dass das Erdmagnetfeld in Verbindung mit der Drehbewegung für die Induktionsspannung ursächlich ist. Erste qualitative Vermutungen können an dieser Stelle dennoch gesammelt werden. Das Experiment wird in KB4 wieder aufgegriffen und quantitativ untersucht. Diese Phase dient der Motivation durch ein auf den ersten Blick erstaunliches Phänomen.
KB 1 Aktivieren des Vorwissens: Wissen bewusst machen	Anschließend machen sich die SchülerInnen ihr Vorwissen bewusst und erkennen an welcher Stelle die kognitive Lücke besteht. Dazu sortieren sie in einem Puzzle, welche Fragen schon beantwortet werden können und welche nicht. Damit wird deutlich, dass nun eine mathematische Beschreibung der Induktionsspannung durch Drehbewegungen erforderlich ist.
KB 2 Durcharbeiten eines Prototyps: Herleitung des Wechselspannungssignals	Die kognitive Lücke wird geschlossen, indem die Formel für die Induktionsspannung am Generator in einem Formelpuzzle hergeleitet wird. Die SchülerInnen haben die Wahl zwischen drei Schwierigkeitsstufen. Diese unterscheiden sich in der Anzahl der bereits richtig zugeordneten Puzzleteile. Im Sinne eines sprachsensiblen Fachunterrichts wird in der Herleitung eine bildliche, eine sprachliche und eine mathematischen Darstellungsebene verwendet. Falls die Aktivitäten auf dem Endgerät nicht gut bearbeitet werden können, stehen die Puzzle unter den oben beschreiben Varianten auch als „klassische“ Arbeitsblätter zur Verfügung.
KB 3 Abstrahieren der wichtigen Merkmale des neuen Konzepts: Herleitung des Wechselspannungssignals	Die wichtigsten Merkmale werden durch die Teilüberschriften in der Tabelle herausgestellt und verschiedene Darstellungsebenen miteinander verknüpft. Anzumerken ist, dass das eigentliche Konzept hierbei weniger die Formel an sich, sondern eher der Weg dorthin, also die Komponentenzerlegung darstellt.

	Didaktisch-methodische Anmerkungen und Empfehlungen zur Einheit Konzeptbildung
KB 4 Üben und Anwenden des neuen Konzepts: Übungen	Eine Sammlung von Aufgaben bietet vielfältige Möglichkeiten für das Üben und Anwenden des neuen Konzeptes. Fahrraddynamo: Rechenaufgaben zur Übung des Umgangs mit der Formel. Effektive Flächeninhalte berechnen: Die neuen Werkzeuge werden genutzt, um das erstaunliche Ergebnis, dass die Induktionsspannung gerade dann maximal wird, wenn die vom Magnetfeld effektiv durchsetzte Fläche minimal wird, zu verstehen. Springseil als Generator: Das Experiment aus KB0 wird aufgegriffen und quantitativ untersucht, Die SchülerInnen berechnen, ob es möglich ist, mit einem Springseil aus einem Kabel im Erdmagnetfeld genügend elektrische Energie zu „gewinnen“, um eine Glühlampe zum Leuchten zu bringen.
KB 5 Vernetzen zu anderen Inhaltsbereichen, Transferieren in andere Kontexte: Neue Sichtweisen auf das Konzept	Das Konzept der Komponentenzerlegung wird in diesem Schritt auf zwei andere Kontexte transferiert und so mit dem Inhaltsbereich „Lorentzkraft“ und „Impulserhaltung“ vernetzt. Mit einem Formelpuzzle kann dazu die Entstehung der Wechselspannung im Generator mit der Lorentzkraft hergeleitet werden. In einem Experiment kann mit der Komponentenzerlegung die Impulserhaltung bei einem zweidimensionalen Stoß nachgewiesen werden.

	Didaktisch-methodische Anmerkungen und Empfehlungen zur Einheit Problemlösen
PL 0 Ankommen im Kontext: Socckets von Jessica O. Matthews	Um in den Kontext anzukommen wird die Idee der Socckets von Jessica O. Matthews präsentiert: Durch die Drehbewegung des Fußballs beim Spielen, kann ein Generator im Inneren des Balls angetrieben werden und einen Akku laden. Abends kann die elektrische Energie zum Betreiben von LEDs als Leselampe verwendet werden. https://www.faz.net/aktuell/stil/mode-design/dieser-leuchtende-fussball-erzeugt-strom-15281454.html (letzter Aufruf am 15.02.24)
PL 1 Erkennen und Verstehen des Problems: Worum geht es? Was ist das Problemfeld?	PL1a Erkennen eines Problems: Die SchülerInnen erkennen das Problem der dezentralen Energiegewinnung und Bereitstellung am konkreten Beispiel Afrika. PL1b Verstehen des Problems: Danach erfolgt eine Präzisierung des Problems zur Fragestellung: „Wie können wir im Alltag Energie gewinnen?“. Die Bedingung, dass die möglichen Lösungen mit Induktion durch Bewegung bzw. Drehbewegung funktionieren sollen, präzisiert die Problemstellung weiter. Gleichzeitig wird der Bezug zur vorherigen Unterrichtsinhalten sichergestellt. Es erscheint uns sinnvoll, dass in der Problemlösung die neuen Erkenntnisse zur Induktion berücksichtigt und angewendet werden. An dieser Stelle werden erste Schwierigkeiten benannt, wie zum Beispiel die Energiespeicherung. Außerdem werden die Kriterien vorgestellt, mit denen die Lösungswege bewertet werden sollen. Als Bewertungskriterien bieten sich die drei Dimensionen Ökologie, Soziales, Wirtschaft an (siehe oben). Diese sind aus dem Fach Erdkunde entlehnt.
PL 2 Entwickeln von Lösungswegen: Entwicklung von Lösungsstrategien	In einem Brainstorming finden die SchülerInnen Ideen aus ihrem Alltag. Die Bewertung der Ideen erfolgt erst in einem nächsten Schritt. Daher empfiehlt es sich, in dieser Phase bei den Formulierungen in Diskussionen auf das ausschließende Wort „aber“ zu verzichten und es durch ein einschließendes „und“ zu ersetzen.
PL 3 Testen von Lösungswegen: Testen der Ideen und Lösungswege	Die SchülerInnen bewerten nun mit den in PL1b benannten Kriterien ihre eigenen Ideen innerhalb der Gruppe und legen sich auf eine Lösung fest. Diese wird weiterausgearbeitet und zur Präsentation vorbereitet.

	Didaktisch-methodische Anmerkungen und Empfehlungen zur Einheit Problemlösen
PL 4 Evaluieren der Lösungen und der Lösungswege: Evaluation	Zunächst bewerten und evaluieren die SchülerInnen im letzten Schritt die Ideen der anderen Gruppen zum Beispiel in Form eines Museumsgangs. Ein anschließendes Unterrichtsgespräch zu den folgenden Fragen bietet sich an: • Gibt es Ähnlichkeiten zwischen Gruppen? Siehst du Kombinationsmöglichkeiten der Ideen? • Wie plausibel ist die Bewertung und Einordnung des Entscheidungsprozessen der Gruppe? Wo liegt der Schwerpunkt in den Kriterien? Teilst du die Einschätzung und ist diese nachvollziehbar und überzeugend? Anschließend erfolgt eine Methodenreflexion bzw. -kritik zum Beispiel im Think-Pair-Share mit den Fragen: • Ist das, was du jetzt gerade gemacht hast wirklich zielführend/gewinnbringend gewesen? • Ist das für dich eine Handlungsmaxime bzw. eine sinnvolle, plausible Entscheidungshilfe? Abschließend werden weitere Beispiele für die Energiegewinnung vorgeschlagen, die anhand der nun erprobten Kriterien beurteilt werden können.

Abschließende Bemerkungen + Hinweise zur Einbindung des Kurses auf logineo-LMS

Dieser Teil wird noch ausgearbeitet und bei der Veröffentlichung des Materials bereitgestellt.

- *Siehe Videos zur Einbettung.*
- *Anleitung in Sichtpunkten*

Arbeitsgruppe:

Christopher Wahrburg – Theodor-Heuss-Gymnasium; Essen

Maresa Robens – Röntgen-Gymnasium; Remscheid

Florian Spickermann – Theodor-Heuss-Gymnasium; Essen

Rainer Wackermann – Ruhr-Universität Bochum

Marco Janßen – Humboldt-Gymnasium; Düsseldorf