

Fachdidaktik Physik: 2.1.3. Energie in 7 und 8

Hans-Otto Carmesin

Gymnasium Athenaeum Stade, Studienseminar Stade

Hans-Otto.Carmesin@t-online.de

16. März 2021

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	2
1.1	Vernetzung	2
1.2	Didaktisches Potenzial	2
1.3	Gliederung	3
1.4	Zur Bildung des Energiebegriffs	4
1.4.1	Konzept	4
1.4.2	Kontexte und epochaltypisches Problem	5
1.4.3	Entwicklung des Prinzips der Energieerhaltung	5
1.4.4	Entdeckung verschiedener Formen der Energie	5
1.4.5	Entdeckung, dass die innere Energie eigentlich nicht neu ist	5
1.4.6	Entdeckungen, die auf den zweiten Hauptsatz der Thermodynamik deuten	6
2	Energiebegriff	7
2.1	Die Alltagsvorstellung des Konsumenten	7
2.2	Entdeckung des modernen Energiebegriffs	7
2.3	Einführung des modernen Energiebegriffs mit Beispielen	7
2.4	Prinzip der Energieerhaltung	14
3	Thermodynamik	17
4	Aufgaben	22
5	Zusammenfassung	22



Abbildung 1: Die Sonne bestimmt die Klimazonen sowie die grundlegenden Lebensbedingungen für Pflanzen, Tiere und Menschen. Denn die Sonne liefert direkt oder indirekt die **Energie zum Leben**. Entsprechend können die SuS viele physikalische Zusammenhänge erkennen, indem sie die dabei stattfindenden Energieumwandlungen analysieren. Daher ist die **Energie ein umfassendes Konzept**, das die SuS immer wieder erfolgreich in naturwissenschaftlichen und technischen Kontexten anwenden können.

1 Einleitung

1.1 Vernetzung

Die Energie ist eng mit der Thermodynamik verknüpft (s. Abb. 2). Entsprechend werden diese beiden Themenbereiche auch im Kerncurriculum gemeinsam dargestellt (s. Beime u. a. (2012); Brüning u. a. (2010); Frenzel (2017); Gehmann (2015)). Das Thema Energie wird vertikal nach unten mit vorhandenen Alltagserfahrungen vernetzt und nach oben in Klasse 11 mit den Unterrichtseinheiten Newtonsche Mechanik und Thermodynamik ¹ Frenzel (2017); Gehmann (2015). Auch in den Klassenstufen 11 und 12 gibt es viele interessante Gelegenheiten zur weiteren Kompetenzentwicklung zum Thema Energie; das zeigt beispielsweise eine Hausarbeit zur Behandlung von Solarzellen der dritten Generation im Unterricht (Martens (2010)). Da sich ohne Energie in der Welt nichts bewegt, gibt es vielfältige Möglichkeiten für horizontale Vernetzung und lebensweltliche sowie lebenswichtige Kontexte².

1.2 Didaktisches Potenzial

Wissenschaftler haben untersucht, welche Voraussetzungen alle auf der Erde bekannten Lebewesen benötigen. Unbedingt **notwendig zum Leben** sind demnach Wasser und Energie. Diese Grundtatsache macht das Thema für die SuS bedeutsam, siehe auch Abb. 1.

Schon in **Urzeiten** begannen die Menschen Energie mithilfe von Werkzeugen zu kontrollieren. So bündelten sie mit der Steinaxt mechanische Energie räumlich auf einen Punkt. Oder

¹Hierzu gibt es eine interessante Hausarbeit (Fiegler (2010)).

²Die Energie lässt sich auch mithilfe der menschlichen Sinne gut einführen (Carmesin (2001)). Dieser Zugang entspricht sehr den in Interessenstudien belegten Interessen der SuS (Muckenfuß (1995)).

sie entfesselten die langsam angesammelte mechanische Energie eines Bogens zeitlich in einem Augenblick.

Unser ehemaliger Bundespräsident Köhler sagte, wir leben in einem **Zeitalter der energetischen Revolution Köhler (2008)**. Die bisherige Energieversorgung fußt hauptsächlich auf fossilen Brennstoffen, belastet daher das Klima und hat eine begrenzte Basis. Die Welt ist dabei sich auf nachhaltige Energiequellen umzustellen. Diese politische Aktualität dürfte über Jahrzehnte anhalten und erzeugt eine große Zukunftsbedeutsamkeit³ des Themas für die SuS (Carmesin u. a. (2015)).

Ohne Energie bewegt sich in der Natur und in der Technik gar nichts. Entsprechend ist die Energie in vielen Gebieten der Naturwissenschaft wesentlich. Es gibt entsprechende Energieformen und Energieumwandlungen. Indem die SuS diese erkennen lernen, können sie viele physikalische Zusammenhänge entdecken. So können die SuS die Physik erkunden, indem sie immer wieder nach den energetischen Prozessen fragen, die hinter einem Phänomen stecken. Auf diese Weise ist die Energie ein **ordnendes und exploratives Basiskonzept** für den Physikunterricht in Niedersachsen.

1.3 Gliederung

Die UE beginnt mit der Bildung des Energiebegriffs. Entsprechend schlage ich hierfür eine grundlegende Unterrichtssequenz vor, siehe Kapitel 2. Die Energie ist fachlich ein besonders leistungsfähiges Konzept, weil sie eine Invariante darstellt. Hierzu bietet sich eine zentrale Unterrichtssequenz an, siehe Kapitel 2.4. Für unser Leben besonders wichtig ist die innere Energie. Diese wird in der Thermodynamik behandelt. In diesem Fachgebiet ist die Energieinvarianz der erste Hauptsatz und die Entropiezunahme der zweite. Die Entropiezunahme wird hier propädeutisch durch die Untersuchung von Energieströmen in die Umgebung, die Unumkehrbarkeit entsprechender Prozesse und die Energieentwertung bearbeitet. Das Thema ergibt somit eine dritte abrundende Unterrichtssequenz, siehe Kapitel 3.

³Die grundlegende Funktion der Zukunfts-, Gegenwarts- und exemplarischen Bedeutung des Themas für den Unterricht wird von der kritisch-konstruktiven Didaktik nach Wolfgang Klafki betont und ausgeschärft (s. Gudjons (1997)).

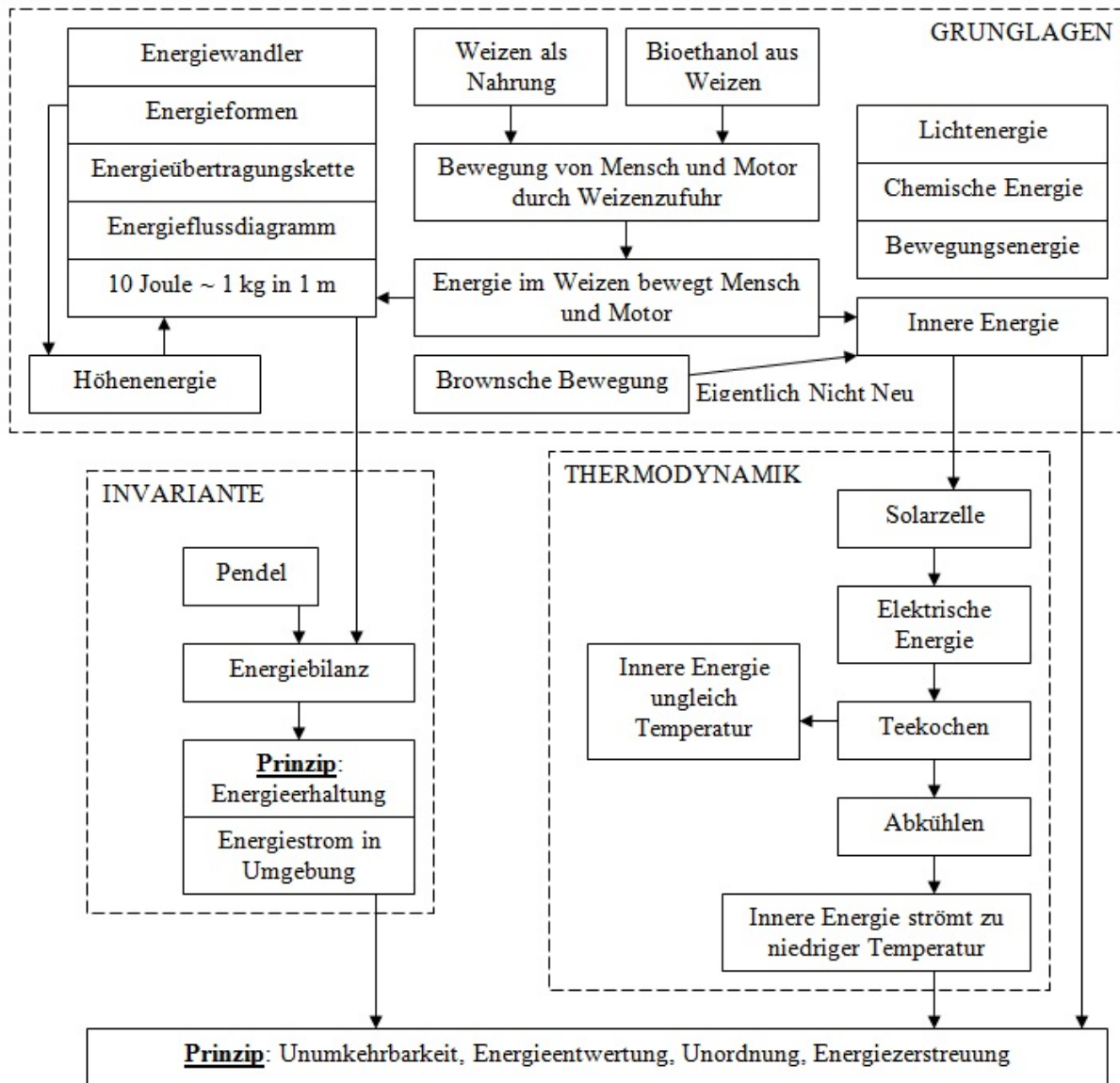


Abbildung 2: Lernstruktur zur Unterrichtseinheit. Die SuS entwickeln die Grundlagen an dem aktuellen Beispiel der Ernährung. Sie entdecken das Prinzip der Energieerhaltung an Pendelversuchen und das Prinzip der Energieentwertung am Teekochen. Viele weitere Beispiele bereichern die UE an.

1.4 Zur Bildung des Energiebegriffs

1.4.1 Konzept

Der Energiebegriff kann in dieser Altersstufe kaum aus vorgeordneten Begriffen⁴ hergeleitet werden, wie das etwa in der Theoretischen Mechanik möglich wäre (Landau u. Lifschitz (1981)). Ebenso kann der Begriff hier kaum aus einem Oberbegriff durch ein kennzeichnendes Merk-

⁴Ausführliche und transferierbare Darstellungen zum Begriffslernen geben Zech (1996) und Aebli (1997).

mal verständlich gebildet werden. Denn das würde beispielsweise ein umfassendes Wissen über Invarianten der Physik voraussetzen. Die Alltagsvorstellungen der SuS zur Energie sind sehr einseitig und bieten daher kaum eine tragfähige Basis zur Bildung eines angemessenen Energiebegriffes, siehe Abschnitt 2.1. Daher entscheide ich mich dafür, den Begriff **aus Beispielen aufbauend** zu entwickeln⁵. Hierfür bietet sich das Konzept des exemplarischen Lernens an (s. Wagenschein (1999)).

1.4.2 Kontexte und epochaltypisches Problem

Konkret können die SuS einen modernen Energiebegriff wirkungsvoll bilden, indem sie spannende Beispiele bearbeiten (s. Kurzentwurf zur Analyse von Weizen und Bioethanol), durch Energieflussdiagramm strukturieren und das Wesentliche in einem Merksatz **zusammenfassen** (s. Kurzentwurf zur Untersuchung der Energieumwandlungen bei Bioethanol). Die SuS können die Energieeinheit Joule in guter Näherung als die Höhenenergie von 100 g in 1 m Höhe verstehen (s. Kurzentwurf zur Odertalsperre), siehe Kapitel 2. Die Energiewende ist ein epochaltypisches Problem, das im Unterricht genutzt werden kann.

1.4.3 Entwicklung des Prinzips der Energieerhaltung

Die SuS können ihr Verständnis des Energiebegriffs durch das Prinzip der Energieerhaltung **weiterentwickeln**. Die SuS können das Prinzip im Schülerexperiment in relativ überzeugender Weise am Beispiel des Pendels selbstständig erkennen (s. Kurzentwurf zu Tarzans Liane). Die SuS können ihren Energiebegriff relativ umfassend erweitern, indem sie das Prinzip der irreversiblen und somit entwerteten Energieströme in die Umgebung entdecken. Somit ergibt sich insgesamt eine gut gegliederte und progressive Lernstruktur, siehe Abb. 2.

1.4.4 Entdeckung verschiedener Formen der Energie

Die Schülerinnen und Schüler entdecken mithilfe von Energieübertragungsketten und Energieflussdiagrammen, dass Energie in verschiedenen Formen vorkommt. Dabei erkennen die SuS die vielfältige Nutzbarkeit des Energiebegriffs. Zur Bewusstmachung dieser Vielfalt die Energieformen benannt werden. Hierbei werden gemäß dem Kerncurriculum mindestens die Energieformen Höhenenergie, Bewegungsenergie, Spannenergie, elektrische Energie, innere Energie und Lichtenergie unterschieden (s. Beime u. a. (2012); Brüning u. a. (2010); Frenzel (2017); Gehmann (2015)).

1.4.5 Entdeckung, dass die innere Energie eigentlich nicht neu ist

Anhand von Energieflussdiagrammen erkennen die SuS leicht, dass beispielsweise beim Kochen von Teewasser Energie in das Wasser fließt und dabei das Wasser erwärmt (s. Kurzentwurf unten). Die *neue* Energieform wird *thermische Energie* genannt.

Später entdecken die SuS, dass es eine mikroskopische Bewegung, die sogenannte Brownsche Bewegung gibt (s. Abb. 3). Auch erfahren sie, dass die Brownsche Bewegung um so schneller ist,

⁵Grundsätzliche Vorteile des Lernens an Beispielen analysiert Wittgenstein (1990). Aus neurowissenschaftlicher Sicht ist das Lernen aus Beispielen fundamental (s. beispielsweise Carmesin (1996) und Arnold (2009)).

je höher die Temperatur ist. Sie folgern, dass die thermische Energie gar keine neue Energieform ist, sondern dass die Bewegungsenergie mikroskopisch kleiner Teilchen zur thermischen Energie gehört.

Im Gegensatz zu der gewöhnlichen Bewegungsenergie ist die in der thermischen Energie enthaltene Bewegungsenergie ungeordneter und verstreuter. So entdecken die SuS das Wesen der Entropie, ohne dass sie den Entropiebegriff explizit lernen müssen, wie es auch vorgeschlagen wurde (s. [Pongs \(2007\)](#)).

Einer Untergeneralisierung wird beispielsweise mit der Nichtfokussierbarkeit von diffusem (ungeordnetem) Licht entgegengewirkt.

Anhand von Phasenübergängen erkennen die SuS, dass es auch eine Zunahme der mikroskopischen Bewegung geben kann, ohne dass dabei die Temperatur steigt. So wird der Begriff innere Energie als Oberbegriff zur thermischen Energie motiviert.

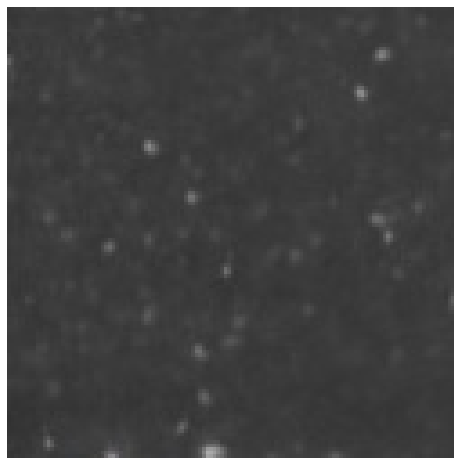


Abbildung 3: Brownsche Molekularbewegung: Latexkügelchen mit einem Durchmesser von etwa 20 nm wurden in Wasser mit einem Single-Plane-Illumination-Mikroskop beobachtet (s. [Wikipedia \(2012\)](#), hier kann ein Video heruntergeladen werden).

1.4.6 Entdeckungen, die auf den zweiten Hauptsatz der Thermodynamik deuten

Die SuS entdecken, dass die innere Energie von in der Regel zum kalten Stoff hin wandert und sich somit zerstreut. Dies wird als Beispiel für eine Vergrößerung der Unordnung der Energie gedeutet.

Die SuS entdecken, dass die Verstreuung von Energie in die Umgebung sich nicht von alleine umkehrt. Die wird als weiteres Beispiel für eine Vergrößerung der Unordnung der Energie gedeutet.

Um einer Untergeneralisierung entgegen zu wirken, kann der Trinkvogel behandelt werden. Dieser nutzt thermische Energie der Umgebung zu für eine andauernde Bewegung. Der Trinkvogel vergrößert der Unordnung der Wassermoleküle und verkleinert dabei die Unordnung der Energie, indem er thermische Energie der Umgebung in Bewegungsenergie umwandelt.

Die SuS entdecken, dass die Verstreuung von Energie in die Umgebung technisch umkehrbar ist, beispielsweise mit einem Peltierelement oder mit einer Wärmepumpe. Sie lernen, dass

solche Prozesse die Unordnung der thermischen Energie der Umgebung verringern, indem sie an anderer Stelle Unordnung vergrößern.

Die Schüler lernen dabei, dass eine Vergrößerung der Unordnung der Energie meist den Nutzwert der Energie verringert.

2 Energiebegriff

2.1 Die Alltagsvorstellung des Konsumenten

Von welchen Alltagsvorstellungen können wir bei den SuS ausgehen? Zum einen haben die SuS verschiedene Worte aufgeschnappt, ohne über eigene verlässliche Kenntnisse oder Erfahrungen zu verfügen. Zum anderen haben die SuS eine gesicherte Erfahrung durch ihre Rolle als Konsument: Sie wissen, dass Elektrogeräte, Motoren, Feuer, Menschen, Tiere und Pflanzen **irgendwie „gefüttert“** werden, damit sie funktionieren oder leben können. Sie haben davon gehört, dass dieses Futter unter anderem einen gemeinsamen Bestandteil hat, die sogenannte Energie. Sie wissen nicht, ob die Energie wie ein Kirschkern in der Kirsche steckt, ob sie wie das Salz im Meerwasser gelöst ist, ob sie überhaupt irgendwie von allen Stoffen getrennt werden kann, ob sie eine sichtbare Messgröße ist wie die Länge, ob sie ein unsichtbares gedankliches Gebilde ist wie die Zeit und dergleichen mehr.

Zusammenfassend stellen wir fest: In der Regel wissen die SuS, dass aktive Geräte und Lebewesen irgendwie „gefüttert“ werden müssen. Darauf soll die UE anknüpfen. Die SuS können jedoch nicht sinnvoll erklären, wie man darauf kommt, dass dieses sehr unterschiedliche Futter einen gemeinsamen Bestandteil haben soll. Das soll die UE möglichst früh erklären. Hierzu machen wir einen Ausflug in die Geschichte der Naturwissenschaft.

2.2 Entdeckung des modernen Energiebegriffs

Der moderne Energiebegriff wurde erst im Jahr 1842 von dem Heilbronner Arzt Robert Mayer entdeckt (s. [Boysen u. a. \(1991\)](#)). Der Begriff war damals so umwälzend, dass Mayer zunächst belächelt wurde. Erst im Jahr 1862 stellte die Royal Institution of Britain fest: „No greater genius than Robert Mayer has approached in our century.“ Mayer hatte erkannt, dass die Energie eine **weitreichende Invariante** ist, welche auch mechanische und thermodynamische Erscheinungen umfasst.

Der Grundgedanke diese Eigenschaft der Invarianz soll in der UE durch die Bestimmung des Energiebetrags für unterschiedliches „Futter“ erkennbar werden. Entsprechend werden das Futter und ihre Einheit Joule zu Beginn der UE behandelt.

2.3 Einführung des modernen Energiebegriffs mit Beispielen

Die SuS werden vor das Problem gestellt zu entscheiden, inwieweit es sinnvoll ist, Lebensmittel in elektrische Energie umzuwandeln. Die SuS entwickeln den modernen Energiebegriff nach Robert Mayer im Sinne des exemplarischen Lernens an einem für das Leben bedeutsamen und aktuellen Beispiel (s. [Wagenschein \(1999\)](#), [Carmesin \(2009\)](#)).

Inhaltsbezogene Kompetenzen: SuS ...	Prozessbezogene Kompetenzen: SuS ...
... verfügen über einen altersgemäß aus- geschärften Energiebegriff.	... beschreiben bekannte Situationen unter Verwen- dung der erlernten Fachsprache.
... beschreiben verschiedene geeig- nete Vorgänge mithilfe von Ener- gieübertragungsketten. ... ordnen der Energie die Einheit 1 J zu und geben einige typische Größenordnungen an.	... stellen diese in Energieflussdiagrammen dar (E). ... erläutern vorgegebene Energieflussbilder für die häusliche Energieversorgung (E). ... geben ihre erworbenen Kenntnisse wieder und benutzen das erlernte Vokabular (K). ... präsentieren die Ergebnisse ihrer Arbeit (K). ... recherchieren dazu in unterschiedlichen Quellen (K). ... vergleichen Nahrungsmittel im Hinblick auf ih- ren Energiegehalt (B). ... schätzen den häuslichen Energiebedarf und des- sen Verteilung realistisch ein (B).
... stellen qualitative Energiebilanzen für einfache Übertragungs- bzw. Wand- lungsvorgänge auf. ... erläutern das Prinzip der Energie- erhaltung unter Berücksichtigung des Energiestroms in die Umgebung.	... veranschaulichen die Bilanzen grafisch mit dem Kontomodell.

Tabelle 1: KC zur Unterrichtssequenz Energiebegriff (s. [Beime u. a. \(2012\)](#); [Brüning u. a. \(2010\)](#); [Frenzel \(2017\)](#); [Gehmann \(2015\)](#)).

Entsprechend dem oben skizzierten Konzept zur Bildung des Energiebegriffs schlage ich die folgende Stundensequenz vor.

Nr.	Stundenthema	Stundenlernziel
1	Energetische Analyse von Weizen und Bioethanol	Die SuS sollen Weizen und Bioethanol energetisch analysieren können.
2	Untersuchung der Energieumwandlungen bei Bioethanol	Die SuS sollen die Energieumwandlungen bei Bioethanol erläutern können.
3	Experimentieren mit Solarenergie	Die SuS sollen Versuche zur Solarenergie planen und durchführen können.
4	Experimentieren mit Windenergie	Die SuS sollen Versuche zur Windenergie planen und durchführen können.
5	Untersuchung des häuslichen Energiebedarfs	Die SuS sollen den häuslichen Energiebedarf durch Messungen und Recherchen bestimmen können.
6	Berechnung einer Höhenenergie bei der Odertalsperre	Die SuS sollen eine Höhenenergie berechnen können.
7	Messung der menschlichen Leistung beim Treppensteigen	Die SuS sollen die Leistung eines Menschen beim Treppensteigen bestimmen können.

Tabelle 2: Mögliche Stundenabfolge zur Unterrichtssequenz Energiebegriff.

In der ersten Stunde der Sequenz entwickeln die SuS die Kompetenz, Energiebeträge zielführend zur Analyse aktueller Probleme anzuwenden.

In der Folgestunde analysieren sie am bekannten Beispiel Energieumwandlungen und Energieformen. Für die SuS ist dabei eine grobe Veranschaulichung der Umwandlungen, der Speicherung und des Transports von Energie durch Energieflussdiagramme besonders hilfreich (s. [Boysen u. a. \(2007\)](#)). Die SuS bündeln ihre Kenntnisse in einem Merksatz zum Energiebegriff.

Die SuS vernetzen die Energieeinheit Joule mit der Höhenenergie in Stunde fünf. Für diese drei grundlegenden Stunden der Sequenz präsentiere ich hier Kurzentwürfe. Damit zeige ich konkrete Möglichkeiten zur Bildung des Energiebegriffs.

Kurzentwurf für eine Physikstunde

Athenaeum

PH8f3

Thema der Unterrichtssequenz: Energiebegriff**Energetische Analyse von Weizen und Bioethanol****Didaktik:** SLZ: Die SuS sollen Weizen und Bioethanol energetisch analysieren können.

Inhaltliche Aspekte	Verhaltensaspekte dazu
LV: Energiebedarf Körper	Erläutern
LV: Biosprit, Bioethanol	Erläutern
LV: Jahresverbrauch, Jahresertrag	Berechnen
TLZ: Energieeinheit	Nennen, Anwenden
TLZ: Energiebedarf des Körpers	Nennen, Anwenden
TLZ: Weizenbedarf des Autos	„
TLZ: Versorgbare Menschen und Autos	Berechnen

Methodik: Dominantes Lehrverfahren: Problemlösend

Zeit	Didaktische Erläuterungen	Methodische Erläuterungen	Sozialform
5	<u>Hinführung</u> : Einstiegsfolie	Beschreiben	LSG
9	<u>Problemstellung</u> : Leitfrage	Entwickeln	LSG
15	<u>Analyse</u> : Ideen	Entwickeln	MuG
35	<u>Lösung</u> : Verbrauch	Analysieren	GA
42	<u>Sicherung</u> : s.u.	Reflexion, Rückbezug, Bewertung	SV
45	<u>Festigung</u> : Übung	AB, HA	EA

Geplanter TA

Wie viele Menschen oder Autos kann er mit 50 ha versorgen?Ideen: Jahresertrag in kg und J, Jahresverbrauch in JBezeichnungen: Die Einheit der Energie ist 1 Joule, kurz 1 J.

1000 J = 1 kJ; 1000 kJ = 1 MJ; 1000 MJ = 1 GJ

Ergebnis: Er kann 1189 Menschen oder 85 Autos versorgen.Bewertung: Ein Auto benötigt viel mehr Energie als ein Mensch. Wird für das Auto Weizen angebaut, so benötigt es viel mehr Fläche als ein Mensch.

Geplante Schülerfolien

Jahresertrag: $M = 50 \cdot 6350 \text{ kg} = 317500 \text{ kg}$ \rightarrow $E = 317500 \cdot 13,1 \text{ MJ} = 4160 \text{ GJ}$ Jahresverbrauch des Menschen: $E = 9,6 \text{ MJ} \cdot 365 = 3,5 \text{ GJ}$ Anzahl der Ernährten: $4160 \text{ GJ} / 3,5 \text{ GJ} = 1189$ Anzahl der Autos: $4160 \text{ GJ} / 49 \text{ GJ} = 85$



Der Bauer Schulze baut auf seinen 50 Hektar Land Weizen an und kann Menschen oder Bioethanol-Autos versorgen.

- Bei Weizen liegt der Ertrag bei 6350 kg pro Hektar¹.
- 1 Gramm Weizen beinhaltet die Energie 13100 Joule².
- Der Mensch muss täglich eine Energie von 9600 000 Joule oder 9,6 MJ aufnehmen³.
- In Stade wird Weizen in Bioethanol umgewandelt. Ein Auto, das im Jahr 20 000 km mit Bioethanol zurücklegt, benötigt dazu eine Energie von 49000 MJ oder 49 GJ⁴.

¹ Statistisches Landesamt Mecklenburg-Vorpommern: Ernteberichterstattung über Feldfrüchte und Grünland in Mecklenburg-Vorpommern, August 2003, S. 2.

² Quelle: <http://gesuender-abnehmen.com/abnehmen/naehrwerte-kalorien-weizen-vollkorn.html>; gespeichert am 8.5.2008.

³ Quelle: http://www.fulbright-alumni.de/national/events/2001-09_PowWow/extra/Kochtopf.pdf, gespeichert am 8.5.2008.

⁴ Quellen: <http://de.wikipedia.org/wiki/Bioethanol>; gespeichert am 10.5.2011. http://www.carmen-ev.de/dt/energie/beispielprojekte/biotreibstoffe/netzwerk/downloads/fox_erfahrungsbericht.pdf; gespeichert am 10.5.2011.

Kurzentwurf für eine Physikstunde

Athenaeum

PH8f3

Thema der Unterrichtssequenz: Energiebegriff

Energetische Analyse von Weizen und Bioethanol

Untersuchung der Energieumwandlungen bei Bioethanol

Didaktik: SLZ: Die SuS sollen die Energieumwandlungen bei Bioethanol erläutern können.

Inhaltliche Aspekte	Verhaltensaspekte dazu
LV: Weizenwachstum durch Sonnenlicht	Erläutern
LV: Erzeugung von Bioethanol aus Weizen	Nennen
LV: Verbrennung von Bioethanol im Motor	Nennen
LV: Antrieb des Autos durch Motor	Erläutern
TLZ: Lichtenergie	Erläutern
TLZ: Chemische Energie	Erläutern
TLZ: Innere Energie	Erläutern
TLZ: Bewegungsenergie	Erläutern
TLZ: Energieübertragungskette	Erläutern, Darstellen
TLZ: Energieflussdiagramm	Erläutern, Darstellen

Methodik: Dominantes Lehrverfahren: Fragend Erarbeitend

Zeit	Didaktische Erläuterungen	Methodische Erläuterungen	Sozialform
5	<u>Einstieg:</u> Einstiegsfolie Vorstunde	Erläutern	LSG
9	<u>Stundenfrage:</u> Leitfrage	Entwickeln	LSG
15	<u>Erarbeitung:</u> Umwandlungen	Entwickeln	MuG, LSG
20	Bezeichnungen, Darstellungen	Nennen	LV
25	<u>Sicherung:</u> s.u.	Reflexion, Rückbezug	SV
45	<u>Festigung:</u> Energieübertragungskette und Energieflussdiagramm für Bioethanolverbrauch	Erstellen, Präsentieren, Aushandeln	EA, SV, SSG

Geplanter TA

Wie wird die Energie bei der Erzeugung und beim Verbrauch Bioethanol umgewandelt?

Ideen: Weizenwachstum durch Sonnenlicht

Erzeugung von Bioethanol aus Weizen

Verbrennung von Bioethanol im Motor

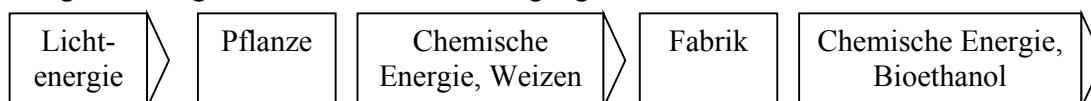
Antrieb des Autos durch Motor

Bezeichnungen: Die entsprechenden Energieformen heißen wie folgt: Licht hat Lichtenergie. Stoffe können chemische Energie haben. Warme Gegenstände haben innere Energie. Bewegte Gegenstände haben Bewegungsenergie. Körper, die bewegen, erwärmen, schmelzen, verdampfen, hochheben, erleuchten oder ertönen können, besitzen Energie.

Darstellungen: Energieübertragungskette für Bioethanolerzeugung:

Lichtenergie $\xrightarrow{\text{Umwandlung}}$ Chemische Energie, Weizen $\xrightarrow{\text{Umwandlung}}$ Chemische Energie, Bioethanol

Energieflussdiagramm für Bioethanolerzeugung:



Kurzentwurf für eine Physikstunde

Athenaeum

PH8f3

Thema der Unterrichtssequenz: Energiebegriff

...

Berechnung einer Lageenergie bei der Odertalsperre**Didaktik:** SLZ: Die SuS sollen eine Lageenergie berechnen können.

Inhaltliche Aspekte	Verhaltensaspekte dazu
LV: Joule	Erläutern
LV: Energieflussdiagramm	Anwenden
LV: Generator, Turbine	Erläutern
LV: Energie	Erkennen, Begründen
TLZ: Lageenergie	Erkennen, Begründen
TLZ: Lageenergie von 1 kg bei 1m	Nennen
TLZ: Berechnung der Lageenergie	Durchführen, Begründen

Methodik: Dominantes Lehrverfahren: Problemlösend

Zeit	Didaktische Erläuterungen	Methodische Erläuterungen	Sozialform
5	<u>Hinführung:</u> Einstiegsfolie	Beschreiben	LSG
8	<u>Problemstellung:</u> Leitfrage	Entwickeln	LSG
14	<u>Analyse:</u> Ideen	Entwickeln	MuG, LSG
33	<u>Lösung:</u> Energieabgabe	Berechnen	GA
42	<u>Sicherung:</u> s.u.	Reflexion, Rückbezug, Bezeichnung	SV
45	<u>Festigung:</u> Übung	AB, HA	EA

Geplanter TA

Kann das Kraftwerk 4 MJ je Sekunde liefern?Bezeichnung: Eine hoch liegende Masse hat Lageenergie.Festlegung: Zehn Joule ist die Lageenergie von 1kg in 1m Höhe.Ideen: 10 Joule je kg und je m. Wasser treibt eine Turbine an, diese bewegt den Generator.Ergebnis: Das Kraftwerk gibt 4,588 MJ in der Sekunde ab.Bezeichnung: Gibt ein Gerät in einer Zeit t eine Energie E ab, so sagt man, es gibt dieLeistung $P = E/t$ ab.

Das Kraftwerk gibt die Leistung 4,588 MW ab.

Geplante Schülerfolie

Energieflussdiagramm für eine Wasserkraftwerk:

$$E = 62 \cdot 4700 \cdot 10J = 4,588 \text{ MJ}$$



Bei der Odertalsperre im Harz fließen in einer Sekunde
7400 kg Wasser aus 62 m Höhe durch die Turbine.
Die Schaltzentrale fordert vom Kraftwerk eine elektrische
Energie von 4 MJ je Sekunde an.

Hinweis: Ein Kilogramm hat in einer Höhe von einem Meter
die Lageenergie zehn Joule.

Abbildung 4: Einstiegsfolie zur Stunde zur Höhenenergie.

2.4 Prinzip der Energieerhaltung

Im Alltag ist das Prinzip der Energieerhaltung nicht offensichtlich, weil immer Energie in die Umgebung strömt und aus der Perspektive des Nutzers verloren gegangen ist. Daher sollen die SuS zunächst das Prinzip anhand eines Versuchs mit geringen Energieflüssen in die Umgebung entdecken. Anschließend sollen sie an einem Beispiel mit großen Energieflüssen in die Umgebung erkennen, dass dem begrenzten System Energie verloren gehen kann, ohne dass der Welt insgesamt Energie abhanden kommen muss.

Die SuS sollen so in die Lage versetzt werden, die aus dem Alltag gewohnten Verluste der beachteten Energie **neu zu deuten** als Energien, die lokal verloren gehen aber global erhalten sind.

Inhaltsbezogene Kompetenzen: SuS ...	Prozessbezogene Kompetenzen: SuS ...
... stellen qualitative Energiebilanzen für einfache Übertragungs- bzw. Wandlungsvorgänge auf. ... erläutern das Prinzip der Energieerhaltung unter Berücksichtigung des Energiestroms in die Umgebung.	... veranschaulichen die Bilanzen grafisch.

Tabelle 3: Curriculum zur Unterrichtssequenz Energieerhaltung (s. [Beime u. a. \(2012\)](#); [Brüning u. a. \(2010\)](#); [Frenzel \(2017\)](#); [Gehmann \(2015\)](#)).

Zur Vermittlung der kompetent begründeten Einsicht in dieses Umdenken schlage ich für diese Sequenz die folgenden Stunden vor. In der dritten Stunde wird darüber hinaus die Kompetenz zur Problemlösung mithilfe des Prinzips der Energieerhaltung entwickelt.

Nr.	Stundenthema	Stundenlernziel
1	Entdeckung des Prinzips der Energieerhaltung	Die SuS sollen das Prinzip der Energieerhaltung begründen können.
2	Entdeckung von Energieströmen in die Umgebung	Die SuS sollen das Auftreten von Energieströmen in die Umwelt begründen können.
3	Bestimmung der Energie eines geschossenen Fußballs	Die SuS sollen die Abschussenergie eines Fußballs anhand der Flughöhe bestimmen können.

Tabelle 4: Mögliche Stundenabfolge zur Unterrichtssequenz Energieerhaltung.

Hier stelle ich einen Kurzentwurf für die zentrale Stunde zur Entdeckung der Energieerhaltung vor.



Abbildung 5: Problemlösen mithilfe der Energieerhaltung: Die SuS können die Abschussenergie eines Balls bestimmen, indem sie zunächst die Flughöhe beispielsweise mithilfe einer Digitalkamera bestimmen. Die Abschussenergie ist beim senkrecht abgeschossenen Ball nahezu gleich der Höhenenergie am Hochpunkt der Flugbahn.

Kurzentwurf für eine Physikstunde

Athenaeum

PH8f3

Thema der Unterrichtssequenz: Energieerhaltung

Entdeckung des Prinzips der Energieerhaltung

Didaktik: SLZ: Die SuS sollen das Prinzip der Energieerhaltung begründen können.

Inhaltliche Aspekte	Verhaltensaspekte dazu
LV: Schaukel, Liane, Pendel	Erläutern
LV: Energieflussdiagramm	Anwenden
TLZ: Lageenergie	Erkennen, Begründen
TLZ: Lageenergie von 1 kg bei 1m	Nennen
TLZ: Berechnung der Lageenergie	Durchführen, Begründen

Methodik: Dominantes Lehrverfahren: Problemlösend

Zeit	Didaktische Erläuterungen	Methodische Erläuterungen	Sozialform
5	<u>Hinführung:</u> Einstiegsfolie	Beschreiben	LSG
9	<u>Problemstellung:</u> Leitfrage	Entwickeln	LSG
19	<u>Analyse:</u> Vermutungen, Kontrollversuch	Entwickeln, Planen	MuG, LSG
33	<u>Lösung:</u> Durchführung	Schülerexperiment	GA
40	<u>Sicherung:</u> s.u.	Reflexion, Rückbezug	SV
45	<u>Festigung:</u> Übung	AB, HA	EA

Geplanter TA

Worauf muss Tarzan achten, wenn er mit der Liane von Ast zu Ast schwingt?

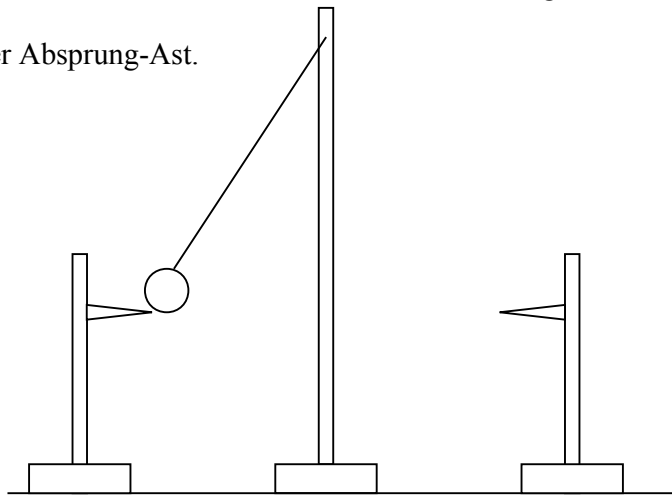
Vermutungen:

Der Ziel-Ast muss so hoch sein wie der Absprung-Ast.

Modellversuch zur Kontrolle:

Ergebnis: Das Pendel kommt auf der anderen Seite auf der Höhe an, bei der es losgelassen wurde.

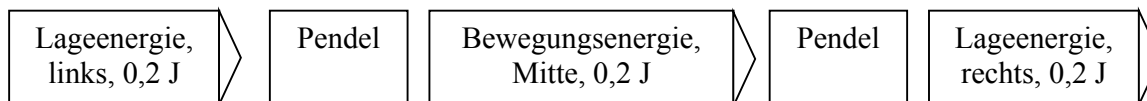
Deutung: Bei Energieumwandlungen geht keine Energie verloren und es kommt keine Energie hinzu.



Bezeichnung: Das ist das Prinzip der Energieerhaltung.

Geplante Schülerfolie

Energieflussdiagramm für das Pendel:



Die Höhe links ist gleich der Höhe rechts.

Also ist die Lageenergie links gleich der Lageenergie rechts.

Der Energiebetrag bleibt gleich, obwohl die Energie zweimal umgewandelt wurde.

Berechnung: $H_{\text{links}} = 0,1 \text{ m} = H_{\text{rechts}}$; $M = 0,2 \text{ kg}$; $E_{\text{links}} = 0,2 * 0,1 * 10 \text{ J} = 0,2 \text{ J} = E_{\text{rechts}}$



Tarzan schwingt sich mit der Liane von Ast zu Ast.

Abbildung 6: Einstiegsfolie zur Stunde zur Energieerhaltung.

3 Thermodynamik

Die innere Energie ist im Leben sehr bedeutsam. So brauchen wir zum Leben die Körpertemperatur 37°C und benötigen zum Heizen pro Person jährlich 10000 kWh (Buchal (2007)). Daher passt es sehr gut, wenn wir zusammen mit dem Thema Energie die Thermodynamik behandeln, so wie es im Kerncurriculum vorgeschlagen wird (s. Beime u. a. (2012); Brüning u. a. (2010); Frenzel (2017); Gehmann (2015)).

Inhaltsbezogene Kompetenzen: SuS ...	Prozessbezogene Kompetenzen: SuS ...
... unterscheiden Temperatur und innere Energie eines Körpers. Bezüge zu Chemie	... erläutern am Beispiel, dass zwei Gegenstände trotz gleicher Temperatur unterschiedliche innere Energie besitzen können.
... erläutern anhand von Beispielen, dass Energie von allein nur vom Gegenstand höherer Temperatur zum Gegenstand niedrigerer Temperatur übertragen wird. ... erläutern, dass Vorgänge in der Regel nicht umkehrbar sind, weil ein Energiestrom in die Umgebung auftritt. ... verwenden in diesem Zusammenhang den Begriff Energieentwertung benutzen ihre Kenntnisse zur Beurteilung von Energiesparmaßnahmen .

Tabelle 5: Curriculum zur Unterrichtssequenz Thermodynamik (s. Beime u. a. (2012); Brüning u. a. (2010); Frenzel (2017); Gehmann (2015)).

Das Kerncurriculum fordert die Behandlung vieler allgemeiner Prinzipien. Dazu müssen im Unterricht unbedingt Beispiele eingesetzt werden, die für die SuS interessant und relevant sind. Hierfür wähle ich verschiedene Beispiele, die mit Wasser zu tun haben; denn Wasser ist der wohl wichtigste Stoff des Lebens, siehe Abschnitt 1.2. Gemäß dem oben dargestellten Konzept schlage ich die folgende Stundensequenz vor:

Nr.	Stundenthema	Stundenlernziel
1	Entdeckung der Wärmekapazität von 10 Liter Wasser	Die SuS sollen die Wärmekapazität von 10 Liter Wasser bestimmen können.
2	Entdeckung der Energie der mikroskopischen ungeordneten Bewegung in einer inneren Energie	Die SuS sollen die begründen können, dass innere Energie die Energie der mikroskopischen ungeordneten Bewegung beinhaltet kann.
3	Entdeckung der spezifischen Wärmekapazität von Wasser	Die SuS sollen die spezifische Wärmekapazität von Wasser bestimmen und auf den Energiebedarf von Waschprogrammen anwenden können.
4	Untersuchung von Warmhalteboxen	Die SuS sollen die Wirkung von Warmhalteboxen experimentell untersuchen und die Richtung des dabei auftretenden Energieflusses nennen können.
5	Energetischer Vergleich von Akkumulatoren, Pumpspeicherkraftwerken und Wärmespeichern	Die SuS sollen bei Energiespeichersystemen die Energieflüsse in die Umgebung analysieren und die Unumkehrbarkeit folgern können.
6	Analyse optimaler Energienutzung bei Geräten zum Wasserkochen	Die SuS sollen experimentell feststellen können, ob der Wasserkocher, die Herdplatte oder die Mikrowelle die Energie optimal nutzt.

Tabelle 6: Mögliche Stundenabfolge zur Unterrichtssequenz Thermodynamik.

Hier stelle ich zunächst einen Kurzentwurf zur grundlegenden Einführung einer Wärmekapazität von Wasser vor. Zur Abrundung der Sequenz präsentiere ich einen Kurzentwurf, durch den die SuS für den Alltag und das Fach relevante Kompetenzen zur vergleichenden energetischen Diagnose von Haushaltsgeräten besonders wirksam entwickeln können.

Kurzentwurf für eine Physikstunde

Athenaeum

PH8f3

Thema der Unterrichtssequenz: Thermodynamik

Entdeckung der Wärmekapazität von 10 L Wasser

Didaktik: SLZ: Die SuS sollen die Wärmekapazität von 10 L Wasser bestimmen können.

Inhaltliche Aspekte	Verhaltensaspekte dazu
LV: Leistung, Energiestromdichte, Energie	Erläutern, Bestimmen
LV: $1W = 1J/s$	Nennen, Anwenden
LV: Masse und Volumen von Wasser	Erläutern, Umrechnen, Bestimmen
LV: Temperatur	Erläutern, Messen
TLZ: Wasserkochen mit Energiemessung	Planen, Durchführen
TLZ: Benötigte Energie	Berechnen
TLZ: Benötigte Zeit	Berechnen

Methodik: Dominantes Lehrverfahren: Problemlösend

Zeit	Didaktische Erläuterungen	Methodische Erläuterungen	Sozialform
5	<u>Hinführung:</u> Einstiegsfolie	Beschreiben	LSG
9	<u>Problemstellung:</u> Leitfrage	Entwickeln	LSG
19	<u>Analyse:</u> Schätzungen, Versuch	Aufstellen, Planen	MuG, LSG
33	<u>Lösung:</u> Durchführung	Schülerexperiment	GA
40	<u>Sicherung:</u> s.u.	Reflexion, Rückbezug, Deutung	SV
45	<u>Festigung:</u> Übung	AB, HA	EA

Geplanter TA

Wie lange dauert es 10 L Wasser mit einem 800W-Kocher von 20°C auf 100°C zu erhitzen?

Schätzungen: 20 min; 5 min; 60 min

Material: kleine Wasserkocher, kleine Töpfe, Energiemessgeräte, Thermometer

Ideen: Bestimmung der Energie für 200g Wasser, mal 50, Modellversuch, $P=E/t$

Ergebnisse: Es dauert 2h28min.

Die benötigte Energie ist proportional zur erhitzten Masse. Denn für je 200g wird die gleiche Energie von 88,9 kJ benötigt.

Deutungen: 200 g Wasser nimmt bei einer Temperaturerhöhung um 80°C etwas weniger als die Energie $\Delta E = 88,9kJ$ auf. Literaturwert: 200 g Wasser nimmt bei einer

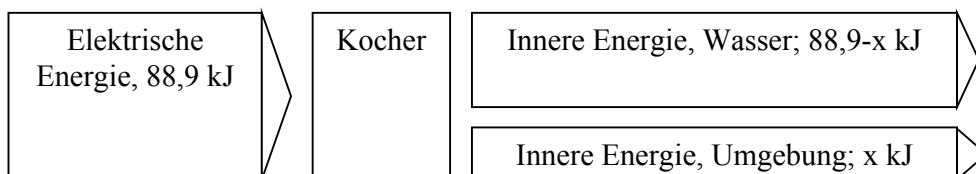
Temperaturerhöhung um 80°C die Energie $\Delta E = 66,88$ kJ auf.

200g und 10 L Wasser haben die gleiche Temperatur, aber unterschiedliche innere Energie.

Geplante Schülerfolie

$$\begin{array}{rcl}
 200 \text{ g} & \rightarrow & 88,9 \text{ kJ} \\
 \downarrow \cdot 50 & & \downarrow \cdot 50 \\
 10000 \text{ g} & \rightarrow & 4445 \text{ kJ}
 \end{array}$$

$$P = E/t \quad \rightarrow \quad t = E/P = 4445000J/500W = 8890s = 148 \text{ min} = 2h28min$$





Die Klasse 8f möchte auf einer Klassenfeier 10 L Wasser kochen. Sie hat eine Herdplatte mit der Leistung 800 W. Das Wasser kommt mit 20°C aus der Leitung.

Modellversuch



Kurzentwurf für eine Physikstunde

Athenaeum

PH8f3

Thema der Unterrichtssequenz: Thermodynamik

Analyse optimaler Energienutzung bei Geräten zum Wasserkochen

Didaktik: SLZ: Die SuS sollen experimentell feststellen können, ob der Wasserkocher, die Herdplatte oder die Mikrowelle die Energie optimal nutzt.

Inhaltliche Aspekte	Verhaltensaspekte dazu
LV: Energiemessgerät	Anwenden
LV: Spezifische Wärmekapazität von Wasser	Anwenden
LV: Genutzte Energie	Bestimmen
TLZ: Wasserkochen mit Energiemessung	Planen, Durchführen, Auswerten, Vergleichen
TLZ: Entwertete Energie	Bestimmen
TLZ: Wirkungsgrad	Bestimmen

Methodik: Dominantes Lehrverfahren: Problemlösend

Zeit	Didaktische Erläuterungen	Methodische Erläuterungen	Sozialform
3	<u>Hinführung:</u> Einstiegsfolie	Beschreiben	LSG
8	<u>Problemstellung:</u> Leitfrage	Entwickeln	LSG
15	<u>Analyse:</u> Schätzungen, Versuch	Aufstellen, Planen	MuG, LSG
35	<u>Lösung:</u> Durchführung, Auswertung	SE themendifferenziert	GA
40	<u>Sicherung:</u> s.u.	Reflexion, Rückbezug, Deutung	SV
45	<u>Festigung:</u> Übung	AB, HA	EA

Geplanter TA

Wie viel Energie benötigt ein Elektrogerät zum Kochen von 200 g Wasser?

Schätzungen: Herd: 88,9 kJ; Wasserkocher: 85 kJ; Mikrowelle: 72 kJ; Minimum: 66,88 kJ

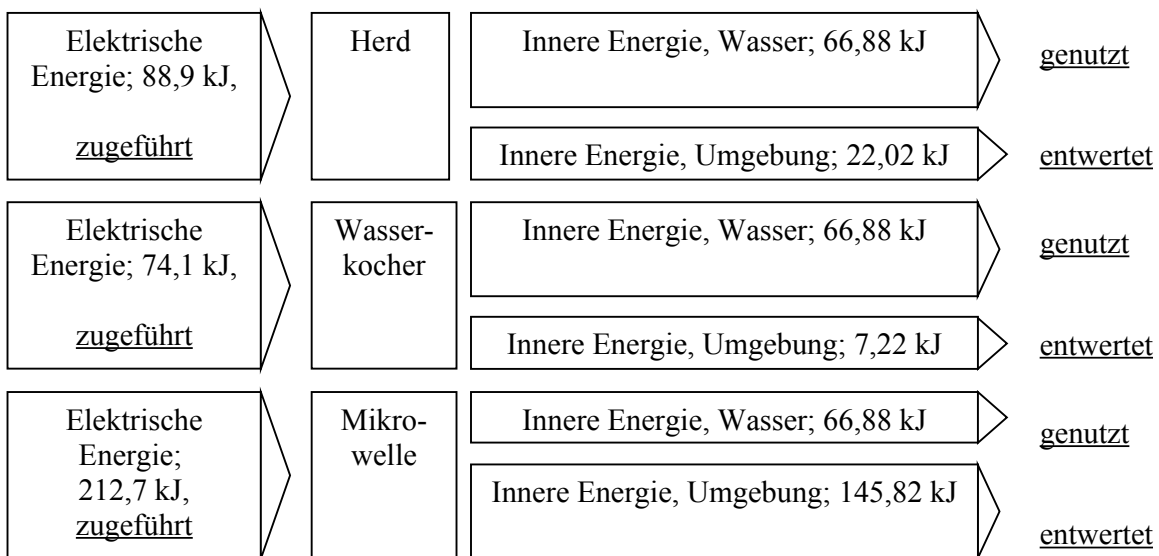
Versuche: Bestimmung der benötigten Energien mit dem Energiemessgerät.

Bezeichnung: Der Quotient aus zugeführter und genutzter Energie heißt Wirkungsgrad η .

Ergebnisse: Herd: 88,9 kJ; $\eta = 75\%$

Wasserkocher: 74,1 kJ; $\eta = 90\%$;

Mikrowelle: 212,7 kJ; $\eta = 31\%$





Laura möchte 200g Wasser kochen und dabei die Energie möglichst gut nutzen.

Abbildung 7: Einstiegsfolie zur Stunde zur optimalen Energienutzung.

4 Aufgaben

1. Erläutern Sie, wie der Energiebegriff in diesem Entwurf der UE durch Kontexte und Versuche entwickelt wird.
2. Nennen Sie Beispiele dafür, wie im Folgeunterricht das Basiskonzept Energie unterstützend wirken kann.
3. Analysieren Sie die Funktion des Energieflussdiagramms in dieser UE.
4. Erörtern Sie die Vor- und Nachteile des folgenden Merksatzes: *Energie ist die Fähigkeit Arbeit zu verrichten.*
5. Erörtern Sie die Vor- und Nachteile des folgenden Merksatzes: *Körper, die bewegen, erwärmen, schmelzen, verdampfen, hochheben, erleuchten oder ertönen können, besitzen Energie.*
6. Analysieren Sie die Funktion der Energie für andere Naturwissenschaften sowie das Fach Sport.

5 Zusammenfassung

Diese UE führt das Basiskonzept und die Leitidee Energie ein und hat daher eine ordnende und erkundende Aufgabe für viele Lernprozesse im gesamten Physikunterricht. In den Klassenstufen 7 und 8 wird ein tragfähiger Energiebegriff gebildet. Hierfür bietet sich das Lernen aus gehaltvollen, interessanten und relevanten Beispielen an. Auch wird dieser Energiebegriff im Hinblick auf die beiden ersten Hauptsätze der Thermodynamik anspruchsvoll und kompetenzfördernd erweitert.

Ich wünsche Ihnen, dass Sie mit Ihren SuS die Bedeutung der Energie für das Leben, die Zukunft und das Erkunden physikalischer Zusammenhänge in der Welt entdecken.

Literatur

- [Aebli 1997] AEBLI, Hans: *Zwölf Grundformen des Lehrens*. 9. Stuttgart : Klett-Cotta, 1997
- [Arnold 2009] ARNOLD, Margret: Brain-based Learning and Teaching - Prinzipien und Elemente. In: HERRMANN, Ulrich (Hrsg.): *Neurodidaktik*. 2. Weinheim : Beltz Verlag, 2009
- [Beime u. a. 2012] BEIME, Christa ; HOPPE, Petra ; HUMMES, Klaus-Peter ; VÖPEL, Karl-Heinz ; VOSS, Christine ; ZEMANN, Winfried: *Kerncurriculum für die Integrierte Gesamtschule, Schuljahrgänge 5 - 10, Naturwissenschaften, Niedersachsen*. Hannover : Niedersächsisches Kultusministerium, 2012
- [Boysen u. a. 2007] BOYSEN, Gerd ; FÖSEL, Angela ; HEISE, Harri ; SCHEPERS, Harald ; SCHLICHTING, Hans J.: *Fokus Physik Gymnasium 7/8*. Ausgabe N. Berlin : Cornelsen, 2007
- [Boysen u. a. 1991] BOYSEN, Gerd ; GLUNDE, Hansgeorg ; HEISE, Harri ; MUCKENFUSS, Heinz ; SCHEPERS, Harald ; WIESMANN, Hans-Jürgen: *Physik für Gymnasium*. Ausgabe N. Berlin : Cornelsen, 1991
- [Brüning u. a. 2010] BRÜNING, Thomas ; DÖTZER, Susanne ; ELSASSER, Wolfgang ; HEIKE, Christina ; JÜTTNER, Horst ; MICHALSKI, Regina ; MOORKAMP, Michael ; SUTTMAYER, Beate: *Rahmenrichtlinien für das Fach Naturwissenschaft in der Klasse 12 der Fachoberschule, Niedersachsen*. Hannover : Niedersächsisches Kultusministerium, 2010
- [Buchal 2007] BUCHAL, Christoph: *Energie*. Jülich : Forschungszentrum Jülich, 2007
- [Carmesin 1996] CARMESIN, Hans-Otto: *Neuronal Adaptation Theory*. Frankfurt : Peter Lang Verlag, 1996
- [Carmesin 2001] CARMESIN, Hans-Otto: Einführung des Energiebegriffs mit Hilfe menschlicher Sinnesorgane. In: NORDMEIER, Volker (Hrsg.) ; Deutsche Physikalische Gesellschaft (Veranst.): *Tagungs-CD Fachdidaktik Physik*. Berlin : DPG, 2001
- [Carmesin 2009] CARMESIN, Hans-Otto: Projekttag Energie in Klasse 7: Von Fotovoltaik bis Biodiesel. In: NORDMEIER, Volker (Hrsg.) ; GRÖTZEBAUCH, Helmuth (Hrsg.) ; Deutsche Physikalische Gesellschaft, ISBN: 978-3-86541-371-0 (Veranst.): *Tagungs-CD Fachdidaktik Physik*. Berlin, 2009
- [Carmesin u. a. 2015] CARMESIN, Hans-Otto ; KAHLE, Jens ; KONRAD, Ulf ; TRUMME, Torsten ; WITTE, Lutz ; HAGEDORN, Andreas: *Universum Physik 7 und 8*. Berlin : Cornelsen, 2015
- [Fiegler 2010] FIEGLER, Tobias: *Ein Low-Cost-Schülerversuch zur exemplarischen Einführung von Stirlingmotoren. Ein Unterrichtsversuch in einer 10. Klasse im Fach Physik des Gymnasiums*. Stade : Studienseminar Stade, 2010
- [Frenzel 2017] FRENZEL, Michael u. a.: *Kerncurriculum für das Gymnasium - gymnasiale Oberstufe, die Gesamtschule - gymnasiale Oberstufe, das Fachgymnasium, das Abendgymnasium, das Kolleg, Physik, Niedersachsen*. Hannover : Niedersächsisches Kultusministerium, 2017

-
- [Gehmann 2015] GEHMANN, Kurt u. a.: *Kerncurriculum für das Gymnasium, Schuljahrgänge 5 - 10, Naturwissenschaften, Niedersachsen*. Hannover : Niedersächsisches Kultusministerium, 2015
- [Gudjons 1997] GUDJONS, Herbert: *Pädagogisches Grundwissen*. 5. Bad Heilbrunn : Klinkhardt Verlag, 1997
- [Köhler 2008] KÖHLER, Horst: Köhler fordert Revolution bei Energietechnik. In: *Welt* (2008), 27. Oktober
- [Landau u. Lifschitz 1981] LANDAU, Lew ; LIFSCHITZ, Jewgeni: *Lehrbuch der theoretischen Physik - Mechanik*. Berlin : Akademie-Verlag, 1981
- [Martens 2010] MARTENS, Klaus: *Kontexte zur Einführung von Photonen im Physikunterricht eines Kurses auf erhöhtem Niveau. Ein Unterrichtsversuch im Doppeljahrgang eines Gymnasiums für das Abitur 2011*. Stade : Studienseminar Stade, 2010
- [Muckenfuß 1995] MUCKENFUSS, Heinz: *Lernen im sinnstiftenden Kontext*. Berlin : Cornelsen, 1995
- [Pongs 2007] PONGS, Dennis: *Ein neues Konzept für den Physikunterricht der Einstiegsklassen an Gymnasien - Qualitative Einführung der Energie und Entropie als Grundgrößen einer Unterrichtsreihe zu einer prozessorientierten Wärmelehre*. Hausarbeit zum zweiten Staatsexamen am Studienseminar Bocholt, Mai 2007
- [Wagenschein 1999] WAGENSCHN, Martin: *Verstehen lehren*. Weinheim : Beltz Verlag, 1999
- [Wikipedia 2012] WIKIPEDIA: *Brownsche Bewegung*. Download 2012. http://de.wikipedia.org/wiki/Brownsche_Bewegung. Version: April 2012
- [Wittgenstein 1990] WITTEGENSTEIN, Ludwig: *Über Gewißheit*. 7. Frankfurt : Suhrkamp Verlag, 1990
- [Zech 1996] ZECH, Friedrich: *Grundkurs Mathematikdidaktik*. 8. Weinheim : Beltz Verlag, 1996