

Handout Zugänge zu Energie und Entropie

Vortrag im Seminar Didaktische Rekonstruktion, Wintersemester 2023/2024

Von Valerie Vogel und Jerome Brücker

Inhalt

1. Bezüge zum KLP
2. Fachliche Einordnung
3. Schüler*Innenvorstellungen
4. Unterrichtskonzeptionen
5. Gegenüberstellung von traditionellem Unterricht und Energie vor Arbeit
6. Schulbuchanalyse: Metzler Energie ohne den Begriff *Arbeit*
7. Diskussion
8. Quellen

1. Bezüge zum KLP

Energie ist eines der Basiskonzepte und daher in allen Inhaltsfeldern relevant

Inhaltsfelder mit direktem Bezug zu Energie sind

- Energie, Leistung, Wirkungsgrad (9)
 - Beispielhafte Kompetenzerwartung: Die Begriffe Kraft, Arbeit, Energie, Leistung und Wirkungsgrad erläutern, in Beziehung stellen und abgrenzen; Energieumwandlung erläutern und in Umwandlungsketten darstellen
- Elektrische Energieversorgung (10)
- Radioaktivität und Kernenergie (11)

2. Fachliche Einordnung

Energieerhaltung ist eines der fundamentalen physikalischen Gesetze.

Energieerhaltung: Es gibt eine Größe, die sich trotz ablaufender Prozesse nicht ändert (Vgl. Feynman, Leighton & Sands, 2015)

Jedoch ist nicht bekannt, was Energie ist oder welcher Mechanismus Energieerhaltung bewirkt.

3. Schüler*Innenvorstellungen zu Energie, Arbeit und Wärme

Energie

- Energie ist gleich dem Energieträger. Energie ist somit stofflich.
- Energie wird verbraucht. („Der Energieverbrauch steigt“)
- Energieerhaltung entspricht nicht der Alltagsvorstellung, die nur unter idealen Bedingungen erhalten bleibt. SuS denken nicht idealisiert.
- → Es entstehen zwei getrennte Energiebegriffe, der physikalische und der alltagsweltliche, wobei der alltagsweltliche dominiert
- Thermische Energie wird als Verlust gedeutet, weil das globale System nicht betrachtet wird.

Arbeit

- assoziiert mit körperlicher Anstrengung, negativ konnotiert

- grundlegend verschiedene Begriffe in Alltagssprache und Fachsprache

Wärme

- Wärme ist ein Stoff und macht Gegenstände leicht
 - Wärme wird als extensive Größe betrachtet („Ein großer Raum enthält mehr Wärme als ein kleiner“)
 - Wärmetransport durch „Wärmestoff“
- Wolle macht warm => bestimmte Materialien besitzen die Eigenschaft „warm“
- Die Temperatur zeigt die Wärme an, die sich in einem Stoff befindet
 - Wärme wird mit warm gleichgesetzt
 - Temperatur/Wärme bilden Begriffscluster wie bei Kraft/Energie/Impuls

Teilchenvorstellung

- Teilchen haben Form und Farbe, kommen zur Ruhe, zwischen Ihnen ist Luft und sie dehnen sich bei Erwärmung aus

4. Unterrichtskonzeptionen

4.1 Traditioneller Unterricht

Die Konzeption geht davon aus, dass der Kraftbegriff einfacher zu erlernen sei als der Energiebegriff. Arbeit ist ein zentraler Begriff und die Energieerhaltung eher ein Anhängsel.

Kritik von Duit:

- Arbeit fokussiert auf mechanische Phänomene
- Arbeit wird mit körperlicher Anstrengung assoziiert, anstatt mit Energietransfer

Struktur

- Dreischritt Kraft – Arbeit – Energie (Wärme als Energieform) über mehrere Klassenstufen
 1. Kraftbegriff wird für Arbeit und Energie Vorausgesetzt
 2. Arbeit wird über über die goldene Regel der Mechanik als Kraft mal Weg definiert
 3. Energie ist definiert als die gespeicherte Arbeit
 4. Energieformen
 - Werden benannt, Klärung von „form“ entfällt
 5. Energieumwandlungen
 - mit Energieflussketten
 6. Energieerhaltungssatz
 - Dissipation von Energie meist nur „unerwünschter Nebeneffekt“ => Wird vernachlässigt und erst in der Oberstufe durch Entropie betrachtet
 - „Energieverluste“ prinzipiell von zentraler Bedeutung im Kontext Energieversorgung
 7. Wärme
 - Temperatur (Temperaturmessung)
 - Ideales Gas (Volumenausdehnung verschiedener Körper => Gesetz des idealen Gases)
 - Innere Energie, Wärme (Reibungsarbeit bewirkt Änderung der inneren Energie, Wärme als $Q := \Delta E_i$ definiert)
 - Aggregatzustände
 - Wärmekraftmaschinen (reversible/irreversible, Energieentwertung)

4.2 Energie und Entropie als mengenartige Größe (Karlsruher Physikkurs „KPK“)

Verspricht lernpsychologische und lernökonomische Vorteile und ist ein ersetzend-disruptiver Unterrichtsgang. Der KPK ist eher für den gymnasialen Physikunterricht geeignet. Wesentlicher Bestandteil ist das Strom-Antriebs-Konzept mit intensiven und extensiven Größen. Konsequenz: Der KPK ermöglicht eine eigenständige (energieunabhängige) Wärmelehre mit einem entropischen Ansatz!

Unterschiede zum traditionellen Unterricht:

- Statt Energieformen => Energieträgern
- Statt Energieumwandlung => Energieträgerwechsel
- Statt Energieentwertung => Erzeugung von Entropie

Struktur

Wärmelehre:

1. Anknüpfung an Schülervorstellungen in Verbindung mit einer Umdeutung
 - a. Intensive Aspekte werden zur physikalischen Größe T umgedeutet, mengenartiger Charakter der Alltagswärme zur Entropie
2. Trennung zwischen intensiven und extensiven Größen eingeführt durch Umgießversuche
 - a. Temperatur in °C wird vorausgesetzt, genauso negative Werte
3. Sprachliche Einführung der Entropie:
 - a. „Wärmemenge“ (Umgangssprachlich) heißt Entropie S in Carnot (physikalisch)
4. Erwärmen/Abkühlen mit Hilfe des Strom-Antriebs-Konzept
 - a. Temperaturdifferenz = Antrieb für Entropiestrom
5. Entropieleitfähigkeit statt Wärmeleitfähigkeit
6. Entropiepumpe am Beispiel Wärmepumpe
 - a. Kälte erst umgangssprachlich aufgegriffen, dann als Abwesenheit von Entropie erklärt
 - b. Einführung der Kelvinskala mit dem absoluten Nullpunkt
7. Einführung des 2. Hauptsatzes durch Anknüpfen an Alltagserfahrungen
 - a. Entropie kann erzeugt, nicht jedoch vernichtet werden
 - b. Entropieerzeugende Vorgänge sind irreversibel
 - c. Entropieleitung abhängig von Leitereigenschaften (Material, Querschnittsfläche und Leiterlänge)
8. Verbindung zur Energielehre über Entropie
9. Statt Wirkungsgrad:
 - a. Verlust an Energie durch Erzeugung von Entropie/Verlustgrad

Energielehre:

1. Energie ist universeller Treibstoff, der von Energieträgern transportiert wird
 - a. Entropiestrom fließt immer mit Trägerstrom!
 - b. Trägerstrom kann mit Energie beladen werden
2. Energie kann in bestimmten Systemen gespeichert werden
3. Es gibt Energiequellen und -empfänger
4. Energieumlader sind extra gebaute Systeme und Energieträger zu wechseln
5. Energie wird als mengenartige physikalische Erhaltungsgröße auf der sprachlichen Ebene eingeführt
6. Über Tabellenwerte & Nahrungsmittel wird die Einheit der Energie eingeführt
7. Energieverbrauch mittels Analogie zum Wasserverbrauch thematisiert
8. Energieträger werden mit mengenartigen Größen in Verbindung gebracht

9. Wege der Energie
 - a. Einweg- und Mehrwegflaschen- Energieträger
10. Einführung von Energieumlader

Empirische Evaluation

- Systematische Untersuchung liegt nicht vor, jedoch Erhebungen:
 - + Grundlegende Konzepte der Wärmelehre werden im KPK scheinbar besser vermittelt
 - + Temperatenausgleichsvorgänge können nach dem KPK besser beschrieben werden.
 - + Einführung der Entropie für die Wärmelehre ist bereits in Schule möglich.
 - Keine Unterschiede bei Phasenübergängen und Ausdehnung von Körpern
 - weitere Begriffsentwicklung ausgehend von Energie als universeller Treibstoff eher schwierig
 (Erkenntnisse aus den Erhebungen beziehen sich auf eine ältere Version des KPK!
Mittlerweile gibt es auch ein Kapitel „Phasenübergänge“ im KPK der Thermodynamik)

4.3 Energie vor Arbeit

Die Konzeption ist inhaltlich am klassischen Unterricht orientiert, ändert jedoch die Sachstruktur. Außerdem wird die Wärmelehre betont.

Gründe: Kraftkonzept ist häufig nicht tragfähig. Energie, Arbeit und Wärmelehre sind häufig unzureichend verkettet.

SuS-Vorstellungen werden explizit berücksichtigt.

Struktur

1. Reibung
2. Mechanische Energie, Energieerhaltung und Arbeit
 - a. Ausgangspunkt ist die Energieerhaltung, die an diversen Beispielen erläutert wird.
 - b. Energiearten werden eingeführt.
 - c. Es folgt Energieumwandlung
 - d. Arbeit und Kraftwandler definiert als "Änderung eines Energiewertes ΔE eines Körpers kann durch Arbeit zustande kommen" (Bader, 2001, S. 18)
 - e. Kraftwandler, Wirkungsgrad und Leistung
3. Wärmelehre

Für die Wärmelehre wurden neuartige Versuche entwickelt, die die Bestimmung der Erhöhung der inneren Energie durch Reibung erlauben

- a. Innere Energie wird definiert über die Temperatur; Zugang erfolgt über Reibung
- b. Hauptsätze der Thermodynamik
- c. Brown'sche Molekularbewegung
- d. Wärme Q , definiert als Energie, die zwischen Körper ausgetauscht wird
- e. ideales Gas, Aggregatzustände, technische Nutzung in Turbine oder Motor



Abb. 26.1: Umwandlung von mechanischer Energie in Innere Energie

(Bader, 2001, S. 26)

Empirische Evaluation

- Empirisch Evaluert
 - SuS lösen doppelt so viele Aufgaben zu Energie und Wärme richtig, wie Vergleichsgruppe, die nach traditionellem Unterricht unterrichtet wird
 - V.a. Aufgaben zur Arbeit werden erfolgreicher bearbeitet

- Mädchen haben Lernvorteil
- Vorteil: Kraft wird nicht als Konzept benötigt

4.4 Energieentwertung

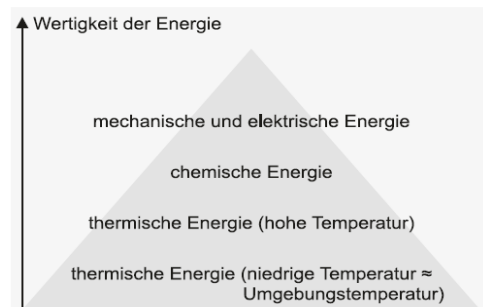
Energie, -arten, -umwandlung, -vorkommen, -speicher stehen im Fokus und werden ausführlich qualitativ und quantitativ behandelt.

Wertigkeit der Energieformen ist zentral.

Arbeit wird nicht explizit behandelt, jedoch implizit als Energieaufwertung.

Struktur

1. Energie wird an vielen Beispielen eingeführt und die Relevanz für den Alltag erläutert
„Energie erfüllt Hilfsfunktion“
„Systeme (Sonne, Mensch, Batterie usw.), die etwas erwärmen, verbrennen, zum Leuchten bringen, bewegen, verformen (usw.) können, besitzen Energie“ (Schlichting, 1983, S. 13)
2. Erscheinungsformen der Energie und ihre unterschiedlichen Wertigkeiten (im Sinne der Nutzbarkeit)
3. Energieentwertung und -aufwertung bei Energieumwandlungsprozessen
 - a. Energieentwertung wird als Antriebsursache für Umwandlungsprozesse beschrieben.
4. Energieumwandlung und Transport wird an Beispielen thematisiert
5. Speicherung, Vorkommen und Energiesysteme z.B. Wasserstoff, kosmische Energie, Energiesystem Mensch



Empirische Evaluation

- Nicht evaluiert

4.5 Energie in sinnstiftenden Kontexten (H. Muckenfuß)

Energie wird in sinnstiftenden, körperlich erfahrbaren Kontexten gelehrt. Die Inhalte sind trotzdem fachlich anspruchsvoll. So werden körperlich Tätigkeiten ausgeführt und bestimmt, welche Leistung die SuS umsetzen oder die goldene Regel der Mechanik durch das Heben eines 50kg schweren Sackes auf einen Tisch thematisiert. Abstrakte Arbeit und Leistung werden durch diese Konzeption erfahrbar gemacht.



(Starauschek & Schecker, 2021, S. 186)

Struktur

1. Energie als universeller Treibstoff
2. Energietransport, -speicherung und -übertragung, -arten, -entwertung, -umwandlung
3. Leistung
4. Energie in der Elektrizitätslehre: elektrische Ladungen, Stromstärke, Stromkreise, Spannung

5. Wärmelehre im Kontext Wetter und Klima

- Strahlungsenergie, Thermische Energie als Basis für Wetter, Temperatenausgleich durch Konvektion
- Temperatur, Luftdruck, globales Klima

Empirische Evaluation

- Nicht evaluiert

5. Gegenüberstellung von traditionellem Unterricht und Energie vor Arbeit

	Traditionell	Energie vor Arbeit
zentrales Thema	Energieformen, Energieerhaltung	Energieerhaltung
zentrales Experiment	Pendelschwingung ($E_{kin} \Leftrightarrow E_{pot}$)	Temperaturerhöhung durch Reibung
Konzeptualisierung von Energie	Fähigkeit, Arbeit zu verrichten	Bilanzierungsgröße, innere und mechanische Energie
Konzeptualisierung von Wärme	Wärme als Energieform	Änderung der inneren Energie auf thermische Art
Konzeptualisierung von Entropie	wahrscheinlichkeitstheoretische Deutung der Entropie	Zusammenhang mit Irreversibilität
Energieentwertung	Reibung als zu vermeidender, möglichst zu vernachlässigender Effekt	Dissipation (Begriff "Energieentwertung" nicht im Schülerbuch)

6. Schulbuchanalyse: Metzler Energie ohne den Begriff Arbeit

Die Sachstruktur orientiert sich grundlegend am traditionellen Unterricht: Kraft → Arbeit → Energie → Leistung.

Auf den Begriff der *Arbeit* wird jedoch verzichtet. Arbeit wird stattdessen als *mechanische Energie* bezeichnet.

Vorteil: unerwünschte SuS-Vorstellungen zur Arbeit werden nicht aktiviert.

“Mechanische Energie wird u.a. zur Beschleunigung eines Körpers benötigt, zum Anheben eines Körpers oder auch zum Spannen einer Feder.” (Grehn & Krause, 2007, S. 62)

Wirkt eine *Kraft* F auf einen Körper in Richtung des Weges s , so gibt das Produkt $E = Fs$ die für diesen Vorgang notwendige **mechanische Energie** an.

Das Produkt Fs wird auch als *Arbeit* bezeichnet, eine historische Bezeichnung, die in diesem Buch nicht weiter verwendet werden soll.

Grehn & Krause, 2007, S. 60

Auch die Thermodynamik wird ohne den Begriff der Arbeit gelehrt.

Der 1. Hauptsatz lautet dann:

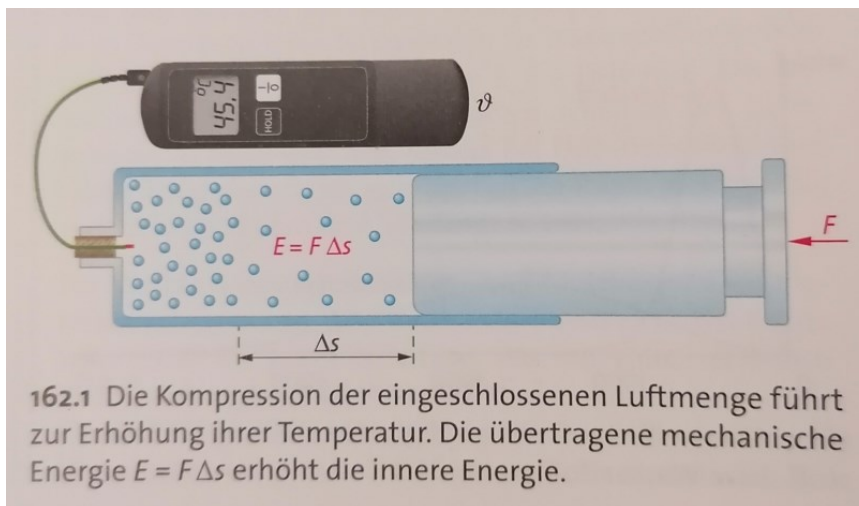
$$\Delta U = E + Q$$

mit

U: innere Energie

E: mechanische Energie

Q: Wärmeenergie



Grehn & Krause, 2007, S. 162

7. Diskussion

Energie ist grundlegendes Basiskonzept der Physik.

Es ist mit vielen Lernschwierigkeiten behaftet, da das physikalische Verständnis vom alltäglichen abweicht. Alltagsnahe Vorstellungen sind tief verankert.

5 Zugänge zu Energie und Entropie wurden vorgestellt. Darunter der traditionelle Unterricht und eine Abwandlung dessen mit geänderter Sachstruktur (*Energie vor Arbeit*). Außerdem ein disruptiv-ersetzendes Konzept (*Energie als mengenartige Größe*). Eines, das die Energieentwertung betont (*Energieentwertung*) sowie ein auf körperlichen Erfahrungen beruhender Zugang (*Energie in sinnstiftenden Kontexten*).

- Konzeption *Energie vor Arbeit* ist empirisch vielversprechend evaluiert worden. Es bleibt jedoch unklar, ob das bessere Abschneiden der SuS im Vergleich zu traditionellem Unterricht durch die Sachstruktur begründet ist oder durch andere Faktoren erklärt werden kann (z.B. speziell und sorgfältig ausgearbeitetes Material)
- Mit der Konzeption *Energie und Entropie als mengenartige Größe* wird die Wärmelehre scheinbar besser vermittelt, jedoch ist diese Konzeption eher für den gymnasialen Physikunterricht geeignet. Auch hier bleibt es unklar ob die Verbesserung im Vergleich zum traditionellem Unterricht durch die Sachstruktur des KPK zustande kam oder auch durch andere Faktoren werden kann (z.B. speziell und sorgfältig ausgearbeitetes Material zum traditionellem Unterricht)
- Nicht evaluiert wurden: *Energieentwertung*, *Energie in sinnstiftenden Kontexten*
 - Diese Zugänge können gewinnbringende Möglichkeiten darstellen, Energie zu lehren, indem sie Energieformen und -entwertung ausgiebig behandeln oder Leistung und Arbeit erfahrbar gemacht werden.

8. Quellen

Bader, M. (2001). *Einführung in die mechanische Energie- und Wärmelehre*. Ludwig-Maximilians-Universität, Fakultät für Physik.

aeccp.univie.ac.at/fileadmin/user_upload/z_didaktik/AECC_Physik/Lehrer_innen/6_5_Energie_vor_Arbeit.pdf.

Feynman, R.P., Leighton, R.B. & Sands, M. (2015). *Feynman-Vorlesungen über Physik 1*. De Gruyter.

Grehn, J. & Krause, J. (2007). *Metzler Physik* (J. Gomoletz, J. Grehn, J. Krause, G. Peters, H.K. Schmidt, H. Schwarze, Hrsg.). Schroedel.

Schlichting, H. J. (1983). *Energie und Energieentwertung in Naturwissenschaften und Umwelt - Arbeitsbuch für Schüler der Sekundarstufen I und II* (J. Bruhn, Hrsg.). Quelle & Meyer.

Starauscek, E. & Schecker, H. (2021). Unterrichtskonzeptionen zur Energie und Wärme. In Wilhelm, Schecker & Hopf (Hrsg.) *Unterrichtskonzeptionen für den Physikunterricht*, S. 152-197. Springer.