

F99.1 Analogien

1. Diskutieren Sie den Einsatz von Analogien im Physikunterricht!

Unter einer Analogie versteht man das Übereinstimmen von Gegenständen hinsichtlich gewisser Merkmale. Im Physikunterricht kann man Analogien einsetzen, wenn man Ähnlichkeiten bzw. einen Vergleich mit etwas Bekanntem findet, die den Kriterien für die didaktische Rekonstruktion (sachgerecht, schülergerecht und zielgerecht) entsprechen. Auch beim Problemlösen können Analogien eingesetzt werden. Ein Beispiel hierfür ist die Ähnlichkeit des von Newton entdeckten Gravitationsgesetzes mit dem Coulombgesetz.

Beim Einsatz von Analogien wird dabei ein analoger Lernbereich (Analog-Gegenstand, -Modell, -Experiment) auf einen primären Lernbereich (zu lernender physikalischer Gegenstand, Modell, Experiment) übertragen und untersucht.

Dabei gibt es verschiedene Analogien:

- begriffliche Analogien: ähnliche begriffliche Strukturen werden eingesetzt, um die begrifflichen Strukturen des primären Lernbereichs zu verstehen.
- Experimentelle Analogien: Sie werden verwendet, um Versuche des primären Lernbereichs zu illustrieren.
- Analoge Objekte: Sie werden benutzt, um die bisweilen viel größeren, unhandlicheren, eventuell gefährlichen Objekte des primären Lernbereichs zu veranschaulichen und zu untersuchen.

Man kann Analogien bei Lernschwierigkeiten als Lernhilfen einsetzen (z. B. dem Verständnis der Wärmeleitung in Festkörpern). Allerdings bedeutet Analogien einsetzen auch immer einen Umweg machen, da man zunächst von einem analogen Lernbereich ausgeht und dann auf den primären Lernbereich überträgt. Ein wichtiger Punkt beim Einsatz von Analogien ist das Akzeptanzproblem. Die Analogie muss dem Lerner vertraut sein, sonst wird er sie nicht akzeptieren, d. h. für den Physikunterricht, dass die Analogie aus der Lebenswelt der Schüler stammt (so ist zum Beispiel die Wärmeleitungsanalogie nicht geeignet die Stromleitung zu verdeutlichen). Desweiteren soll zwischen den empirischen und theoretischen Entitäten der beiden Lernbereiche weitgehende (partielle) Isomorphie bestehen, d. h. die Übertragung von Experimenten und begrifflichen Analogien gelingt. Der analoge Lernbereich weist auch immer irrelevante Merkmale und Eigenschaften im Vergleich mit dem primären Lernbereich auf, daher müssen auch immer die physikalischen Unterschiede zwischen beiden Lernbereichen thematisiert werden. Daher rühren im Unterricht auch Probleme und Grenzen von Analogien. Aus diesem Grund ist eine Reflexion der Analogienutzung notwendig (z. B. "Wasser läuft aus einem offenen Rohr heraus, Strom nicht!").

Der Einsatz von Analogien ist durchaus problematisch, wenn

- der analoge Lernbereich den primären Lernbereich verdrängen kann
- die Probleme und Grenzen des analogen Lernbereichs zu schwerwiegend sind
- Analogien nur für bestimmte Bereiche gelten
- es v. a. in der modernen Physik kaum geeignete Analogien gibt (Rutherford-Streuversuch vs. Pendeln eines geladenen Tischtennisballs in Richtung einer gleichartig geladenen größeren Metallkugel)
- speziell bei Analogversuchen der „Als-ob-Charakter“ demotivierend wirken kann
- ein vermeintlich vertrauter Lernbereich als Analogie eingesetzt werden soll, der letztendlich doch neu gelernt werden muss

Sprachliche oder bildhafte Vergleiche sind unproblematische, möglicherweise sinnvolle Lernhilfen, wenn Schüler sie benutzen können und wollen. Auch können

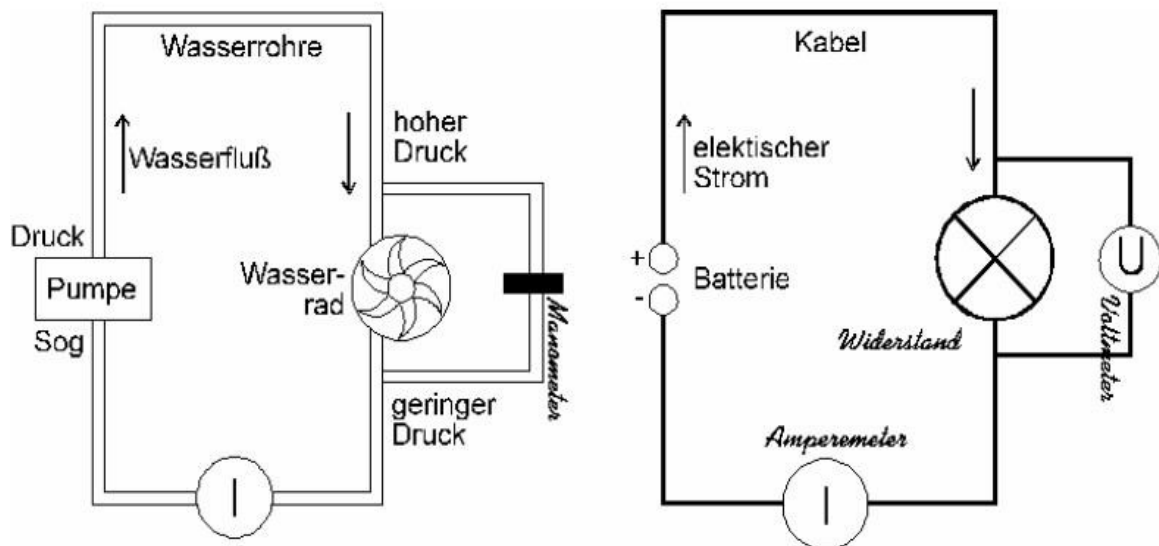
Analogien als „advance organizer“, im Unterricht eingesetzt werden, durch den die Schüler ein vorläufiges Verständnis für einen neuen Lernbereich erhalten. Kennt der Lehrer die spezifischen Lernfähigkeiten und Interessen seiner Schüler können Vergleiche für die individuelle Lernförderung geeignet sein. Auch können die Schüler „ihre“ Analogien selbst generieren, um als Lernhilfe für die Schüler zu funktionieren.

2. Zur Behandlung des einfachen elektrischen Stromkreises wird häufig das sogenannte Wassermmodell herangezogen.

Stellen Sie anhand dieses Modells dar, wie über Analogien Grundbegriffe aus der Elektrizitätslehre erarbeitet werden können!

Erläutern Sie die analogen Begriffe zu: Spannungsquelle, Ladung, Stromstärke, Leiter, Widerstand, Schalter, Anzeiger für Stromstärke und Spannung, Kurzschluss!

Man kann einleitend zum elektrischen Stromkreis – in dem man sich die Vorgänge nur schwer vorstellen kann – gut mit einer Analogie arbeiten. Da die Lernenden mit Wasser vertraut sind und in beiden Lernbereichen weitgehend formal gleiche Gesetze gelten, kann man hierbei gut mit dem Wassermmodell arbeiten.



Die pauschale Analogie: „In den elektrischen Leitungen fließt Strom, so wie Wasser in einem Wasserrohr“ dient als „advance organizer“. Indem man die Geräte bzw. Bauteile vom Wasserkreislauf auflistet und beschreibt und dann Entsprechungen im Stromkreislauf findet, erhält man Objektanalogien. Das Auflisten von Entsprechungen ist nur dann sinnvoll, wenn man auch begriffliche Analogien einführt (z. B. Wasserdruck(-differenz) Δp entspricht Spannung (Potentialdifferenz) U). Die durch Experimente bzw. Gedankenexperimente im Wasserkreislauf gefunden Gesetzmäßigkeiten werden als Hypothesen auf den Stromkreis übertragen. Diese Hypothesen werden dann durch Experimente im Stromkreis bestätigt. Hierbei wird zugleich die Qualität der Analogie geprüft. Der Zusammenhang: „Je größer der von der Pumpe erzeugte Druck ist, desto größer ist die Wasserstromstärke.“ führt zur Hypothese: „Je größer die von der Batterie erzeugte Spannung ist, desto größer ist die elektrische Stromstärke. Zugleich müssen auch Fehlvorstellungen (Batterie als „Stromlieferant“, Stromverbrauch) berücksichtigt werden. Ein Problem in diesem Modell ist, das Schüler zwar mit Wasser vertraut sind, aber nicht mit Wasserströmen.

Die Spannungsquelle bzw. Batterie ist die „Pumpe des elektrischen Stromkreises“.

Wie die Pumpe eine Druckdifferenz Δp bewirkt, so bewirkt die Spannungsquelle eine Spannung U .

Die Ladung, die im Stromkreis bewegt wird, entspricht den Wasserteilchen bzw. (da leichter messbar) dem Wasservolumen.

Die Stromstärke (Ladung pro Zeit) im Stromkreis entspricht der Wasserstromstärke, also dem Wasservolumen pro Zeit.

Dem Leiter bzw. den Stromkabeln entsprechen die Wasserrohre, durch die das Wasser fließt.

Dem Widerstand im elektrischen Stromkreis entspricht ein Wasserrad, an dem der Wasserdruck abfällt, so wie am elektrischen Widerstand die Spannung abfällt. Ersetzt man das Wasserrad durch eine Turbine und den Widerstand durch eine Glühlampe, kann man auch auf die Energieumwandlung eingehen. Wie die Turbine Energie dem Wasserkreislauf entnimmt und über einen Generator in elektrische Energie umwandelt (es wird kein Wasser verbraucht), so verbraucht die Glühlampe keinen Strom, sondern wandelt elektrische Energie, die sie dem Stromkreis entnimmt, in Wärme und Licht um.

Wie man bei einem Schalter im elektrischen Stromkreis den Stromfluss ein- und ausschalten kann, so kann man bei einem Wasserhahn den Wasserfluss ein- und ausschalten.

Mit einem Amperemeter misst man die Stromstärke, mit einer Wasseruhr kann man die Wasserstromstärke messen.

Da die Spannung im Stromkreis, die man mit einem Voltmeter misst, einer Wasserdruckdifferenz im Wasserkreislauf entspricht, kann man mit einem Manometer (einem Druckmesser) den Wasserdruck, die „Spannung des Wasserkreislaufs“, messen.

Man spricht von einem Kurzschluss, wenn der Strom von einem Pol der Spannungsquelle zum anderen Pol fließen kann, ohne von einem Verbraucher gebremst zu werden. Im Wasserkreislauf entspräche das z. B. einer Rückleitung von Wasser zurück zur Pumpe vor dem Wasserrad.

3. Aufbauend auf dem Wassermodell soll in einer Unterrichtseinheit zur Elektrizitätslehre der einfache elektrische Stromkreis behandelt werden.

a) Skizzieren Sie eine einführende Stunde zu dieser Thematik!

Stundenziel soll sein, dass die Schüler Gemeinsamkeiten zwischen elektrischen Stromkreis und Wasserstromkreis kennen lernen.

In der Einführungsphase schreibt der Lehrer den Begriff „Strom“ an die Tafel. Auf einer Seitentafel werden die Ideen der Schüler zu diesem Begriff gesammelt (z. B. Strömung, Wasser, Elektrizität, Steckdose, Batterie etc.). Da in den Stunden zuvor Elektrizitätslehre bereits Thema war (Ladungen, Spannungen) ist zu erwarten, dass die Schüler wohl meistens in Richtung Elektrizität denken (FZ1). Nun wird die andere Seitentafel zugeklappt. An dieser ist ein Modellversuch zum einfachen Wasserstromkreis mit Wasserpumpe, Ventil, durchsichtigem Schlauch und ein Wasserrad angebracht. Dass in der Elektrizitätslehre auf einmal fließendes Wasser betrachtet wird, sorgt hierbei evtl. für einen kognitiven Konflikt (FZ2). Der Lehrer führt den Modellversuch vor und im Lehrer-Schüler-Gespräch (LSG) werden die Bauteile benannt und der Versuch besprochen: Die Wasserpumpe bewegt das Wasser, die Wasserleitung (Schlauch) transportiert das Wasser, die Turbine (Wasserrad) dient als Energiewandler (Strömung in Kreisbewegung), im Wasserstromkreis wandern Wasserteilchen, wenn der Kreislauf in Bewegung ist (FZ3).

Nun wird das Stundenthema gestellt: Was haben Wasserstromkreis und

elektrischer Stromkreis gemeinsam?

In der nun folgenden Erarbeitungsphase werden die Schüler in Gruppen zu je zwei (Partnerarbeit) aufgeteilt und jede Gruppe erhält eine Batterie, Kabel und eine Glühbirne. Die Schüler erhalten jetzt den Auftrag einen elektrischen Stromkreis zu bauen, so dass die Lampe leuchtet (also elektrische Energie in Licht umzuwandeln), wobei sie sich am Wasserstromkreis orientieren sollen (FZ4). Im Anschluss soll nun der elektrische Stromkreis mit dem Wasserstromkreis im LSG verglichen werden. Es werden Analogien gezogen zwischen Batterie – Wasserpumpe, Stromleitung – Wasserleitung, Lampe (Elektrogerät) – Wasserrad. Der Lehrer fragt nun nach dem Analogon zu den Wasserteilchen (was fließt im elektrischen Stromkreis?). Da die Schüler bereits Elektronen als geladene Teilchen kennen gelernt haben, können sie diesen Schritt nachvollziehen (FZ5).

Im folgenden Versuch wird nun das Ventil im Wasserstromkreis geschlossen und dann wieder geöffnet und die Schüler beschreiben ihre Beobachtung (geschlossen = es fließt kein Wasser, das Wasserrad dreht sich nicht mehr). Jetzt bekommen die Schüler (immer noch in Gruppen) einen Schalter und den Auftrag ihn in den elektrischen Stromkreis einzubauen und den gleichen Effekt wie im Wasserstromkreis zu erzeugen (Schalter offen = Lampe leuchtet nicht mehr, kein elektrischer Stromfluss)(FZ6).

Die Gruppen werden aufgelöst und auf einem Arbeitsblatt, das gemeinsam am Arbeitsprojektor ausgefüllt wird, die Ergebnisse des Vergleichs gesichert (FZ7).

In der Vertiefungsphase wird nun die Frage gestellt, was passiert, wenn man das Wasserstromkreismodell öffnet (z. B. Einen Schlauch zerschneidet) und was passiert, wenn man den elektrischen Stromkreis öffnet (z. B. Kabel zerschneidet oder Schalter öffnet). Hierbei sollen die Schüler erkennen, dass das Modell seine Grenzen hat (FZ8).

Abschließend erfolgt ein Hinweis des Lehrers, dass in den folgenden Stunden immer wieder auf das Wassermmodell zurückgegriffen wird, um Wirkungen im elektrischen Stromkreis zu erklären (FZ9).

b) Bearbeiten Sie ausführlich folgende Punkte: Auswahl der Feinziele, Charakterisierung des Unterrichtsverfahrens und Einbindung der Experimente!

Feinziele:

- FZ1 Das Vorwissen der Schüler zum Begriff „Strom“ wird aktiviert
- FZ2 Die Schüler werden zu einem kognitiven Konflikt geführt
- FZ3 Die Schüler erarbeiten den einfachen Wasserstromkreis
- FZ4 Die Schüler bauen einen elektrischen Stromkreis
- FZ5 Die Schüler übertragen ihr Wissen aus dem Wasserstromkreis auf den elektrischen Stromkreis und finden Objekts- und Begriffs-Analogien
- FZ6 Die Schüler erkennen, dass man für einen Stromfluss einen geschlossenen Stromkreis braucht
- FZ7 Die Schüler füllen das AB unter Zuhilfenahme des Gelernten aus
- FZ8 Die Schüler lernen Grenzen des Modells kennen
- FZ9 Den Schülern wird klar, dass das Modell trotzdem wichtig ist.

Die Unterrichtsstunde wurde so konzipiert, dass nicht nur versucht wird kognitive Produktziele (Wissen aufbauen) zu erreichen, was trotzdem ein Hauptanliegen der Stunde ist. Vielmehr war wichtig verschiedenartige Ziele zu erreichen. Psychomotorische Ziele, wie der Bau eines elektrischen Stromkreises, Prozessziele, wie der Transfer von einem Modell ins andere, oder auch Ziele, die

eher auf die Gefühlsebene zielen (Achtung des Modells trotz Grenzen) werden ebenso versucht in der Stunde zu erreichen.

Unterrichtsverfahren:

Das Unterrichtsverfahren lässt sich als sinnvoll-darbietender Unterricht auffassen, in dem die Schüler mittels Partnerarbeit selbst aktiv werden können. Er ist damit als Frontalunterricht (insbesondere in der Motivationsphase, bei der Sicherung und der Vertiefungsphase) konzipiert, in dem Gruppenunterricht in Form einer Partnerarbeit integriert ist (insbesondere während der Erarbeitungsphase). Gerade die Experimente im Wasserstromkreis eignen sich als Lehrerexperimente und damit für Frontalunterricht, da als Schülerexperimente mehrere solche Wasserstromkreise zu vorhanden sein müssen, deren Bau sehr viel Zeit in Anspruch nimmt und deren Einzelteile in der Lehrmittelsammlung kaum vorhanden sein werden. Die Experimente zum elektrischen Stromkreis lassen sich hingegen leicht für eine Partnerarbeit realisieren (Batterien, Kabel, Klemmen und Lampe gehören zur Grundausrüstung einer Lehrmittelsammlung und sind schnell zusammengebaut). Da die zu erarbeitende Analogie auch später im Unterricht genutzt werden soll, ist Frontalunterricht sinnvoll, um einen einigermaßen gleichen Wissensstand bei allen Schülern aufzubauen.

Experimente:

Wasserstromkreis:

- 1) Pumpe wird mit Schlauchstücken an Wasserrad angeschlossen und eingeschaltet, Luftblasen im Schlauch verdeutlichen den Wassertransport. Das Experiment dient zur Erarbeitung der wesentlichen Merkmale des Wasserstromkreises.
 - 2) Aufbau wie oben, nur mit Ventil. Das Ventil wird nun geschlossen und das Wasserrad hört auf sich zu drehen, auch Luftblasen bewegen sich nicht weiter. Hierbei soll verdeutlicht werden, dass das Wasser frei fließen können muss, um Energie von der Pumpe zum Wasserrad zu transportieren.
- Bei den Experimenten im Wasserstromkreis könne man auch auf virtuelle Experimente zurückgreifen.

Elektrischer Stromkreis:

- 1) Batterie wird mit Kabeln an Lampe angeschlossen. Ausgehend von den im Wasserstromkreis beobachteten Effekten, sollen die Schüler nun gemeinsam mit dem Lehrer die Analogie Wasserstromkreis – elektrischer Stromkreis erarbeiten.
- 2) Aufbau wie oben, nur mit Schalter. Analog zum Wasserstromkreis soll nun gezeigt werden, dass der elektrische Stromkreis geschlossen sein muss (Elektronen müssen „fließen“ können), damit Energie transportiert werden kann.

Die Experimente sind hier so geplant, dass zu einem Experiment im Wasserstromkreis ein Analogversuch im elektrischen Stromkreis gehört, um die Analogie zu verdeutlichen. Ebenso wird in der Vertiefung zu einem Gedankenexperiment zum Wasserstromkreis ein Analogversuch im elektrischen Stromkreis gesucht (und nicht gefunden = Grenzen des Modells).

4. Beschreiben Sie den Aufbau und die Funktionsweise eines Vielfachmessgerätes!

Es gibt digitale und analoge Multimeter. Im folgenden soll Aufbau und

Funktionsweise eines analogen Multimeters, das vor allem als Demonstrationsmessgerät in der Schule vorkommt, betrachtet werden.

Aufbau:

Beim analogen Multimeter handelt es sich im Allgemeinen um sogenannte Drehspulmessgeräte. Sie bestehen aus einem Drehspulmesswerk, einer Skala und vor- bzw. parallelschaltbaren Widerständen. Ein Drehspulmesswerk besteht hierbei aus einer drehbar gelagerten Spule, die sich im Feld eines Magneten befindet. Über zwei Spiralfedern wird sowohl Strom der Spule zugeleitet als auch der an der Spule befestigte Zeiger in die Ruhelage zurückgestellt. An der Skala lassen sich die Messwerte ablesen.

Möchte man das Drehspulmessgerät als Amperemeter, d. h. zur Strommessung nutzen, dann kann zur Messbereichsveränderung ein sogenannter Shunt, d. h. ein Widerstand, parallel zum Messwerk geschaltet werden. Dessen Widerstand ist umso kleiner, je größer der zu messende Strom ist. Dabei wird das Messgerät in Reihe in den Stromkreis geschaltet.

Möchte man mit dem Drehspulmessgerät Spannungen messen (Voltmeter), dann wird die Skala nach dem ohmschen Gesetz $U = R \cdot I$ geeicht, der Innenwiderstand des Messgeräts ist dabei konstant. Wird hier der Messbereich vergrößert, dann werden Vorwiderstände in Reihe zugeschaltet.

Um das Drehspulmessgerät als Ohmmeter (zum Widerstand messen einsetzen) benötigt man eine Reihenschaltung von Spannungsquelle, Drehspulmessgerät und zu messendem Widerstand. Mit bekannten Widerständen kann dabei die Skala geeicht werden (unter Nutzung des Ohmschen Gesetzes).

Soll mit einem Drehspulmessgerät Wechselstrom gemessen werden, muss ein Gleichrichter vorgeschaltet werden.

Funktionsweise:

Schließt man das Drehspulmessgerät an eine Spannungsquelle an, so fließt Strom durch die Spule und aufgrund der Lorentzkraft (stromdurchflossener Leiter im Magnetfeld) bewegt sich die Spule aus der Ruhelage und damit auch der Zeiger auf der Skala. Die Federkraft der Spiralfedern wirkt dieser Auslenkung entgegen und es stellt sich ein Gleichgewicht ein, in dem der Zeiger stehen bleibt und ein Messwert abgelesen werden kann. Da der Drehwinkel der Spule proportional zur Federkraft ist und die Lorentzkraft proportional zur Stromstärke, ist der Zeigerausschlag proportional zur Stromstärke, und man erhält für kleine Drehwinkel eine lineare Skala.

Beim Umpolen des Stroms ändert sich die Ausschlagsrichtung des Zeigers.