

Analogen im Physikunterricht

- Warum Analogien in der Physik mehr sind als nur allgemeine heuristische Prinzipien -

Eduard Krause

Didaktik der Physik, Universität Siegen, Adolf-Reichweinstraße 2, 57076 Siegen
krause@physik-uni-siegen.de

Kurzfassung

Analogiebetrachtungen werden als allgemeine heuristische Prinzipien beim Vermitteln neuer Wissensinhalte gern genutzt. Nicht nur in der Physik, sondern auch in allen anderen Fächern können Schülerinnen und Schülern auf diese Weise die zu erschließenden Inhalte in Bezug zu bereits bekanntem Wissen setzen. Im vorliegenden Artikel wird erläutert, wie der physikspezifische Einsatz von Analogien aussehen sollte. Zwar ist bei der Verwendung von Analogien im Physikunterricht Vorsicht geboten, da diese nicht immer legitim sind, doch bietet die Fachsystematik der Physik den Analogiebetrachtungen eine besondere Chance: Das komplexe Theoriegebäude der Physik basiert auf einigen fundamentalen Prinzipien (Erhaltungsprinzip, Symmetrieprinzip, usw.). Einerseits lassen sich auf der Grundlage dieser Prinzipien Analogien gezielt im Physikunterricht einsetzen und andererseits können durch den Einsatz von Analogien die Prinzipien der Physik als integrierende Elemente und Problemlöseswerkzeuge vermittelt werden.

1. Analogien als zweiseitige Schwerter im Physikunterricht

Aus der Geschichte der Physik ist ersichtlich, dass Analogiebetrachtungen immer wieder zum Erkenntnisgewinn geführt haben. So führte beispielsweise die Analogie zwischen einem Tröpfchen einer inkompressiblen Flüssigkeit und einem Atomkern bei Weizsäcker zum sogenannten Tröpfchenmodell, das wichtige Aufschlüsse über den Zusammenhang zwischen der Größe eines Atomkerns und seiner Bindungsenergie pro Nukleon eröffnete.

Nicht nur in der Genesis der Physik, sondern auch bei ihrer Vermittlung erfreuen sich Analogien äußerster Beliebtheit. Vieles wird Lernenden verständlicher, wenn man Vergleiche zu bereits Bekanntem zieht.

Dennoch weiß jeder erfahrene Physiklehrer, dass Analogien nicht vorbehaltlos beim Lehren anzuwenden sind. Neben dem bereits erwähnten Beispiel des zielführenden Einsatzes von Analogiebetrachtungen lassen sich auch Fälle vorweisen, bei denen diese in die Irre leiten. Mario Bunge drückt es trefflich aus, wenn er sagt: „Analogien sind zweifellos fruchtbar, aber sie haben genauso viele Monster hervorgebracht wie gesunde Babys“ (zitiert nach [1]). Die Grundlage für diese Aussage liegt in seinem Werk „Analogy in quantum theory“, denn gerade die makroskopischen Vergleiche zu Effekten aus der Quantenwelt liefern die besten Beispiele für den irreführenden Gebrauch von Analogien.

Diese Ambivalenz stellt Lehrende der Physik nun vor die Frage, wann Analogiebetrachtungen im Physikunterricht legitim sind und wann nicht. Die erste

Antwort auf diese Frage liegt in der Definition von Analogien. Darunter sind die Ähnlichkeiten zweier Bereiche hinsichtlich gewisser Eigenschaften zu verstehen und nicht die Äquivalenz in allen Bereichen [vgl.1]. Demnach wird deutlich, dass man Analogien nicht überstrapazieren darf.

Diese Mahnung trifft auf den Einsatz von Analogien in allen Fächern zu, aber gibt es auch physikspezifische Maximen bei der Verwendung von Analogien.

Im Folgenden soll ein Modell vorgestellt werden, das den speziell in der Physik geltenden Charakter von Analogien in Abgrenzung von ihrer Rolle als allgemeine heuristische Prinzipien darstellen soll.

2. Modell zur Verknüpfung zwischen bekanntem und unbekanntem Wissen durch Analogien

Das Modell ist dreistufig aufgebaut (vgl. Abbildung 4). Diese drei Ebenen, in denen mittels Analogien neues Wissen mit bereits bekanntem in Verbindung gebracht werden kann, stehen nicht nebeneinander, sondern beinhalten einander. Die beiden ersten Ebenen treffen auf Analogiebetrachtungen in allen Fächern zu. In der dritten Ebene wird die besondere Rolle von Analogien in der Physikdidaktik beschrieben.

2.1. Erste Ebene: Strukturelle Gemeinsamkeiten

Die am nächsten gelegene Verknüpfung zweier Inhaltsbereiche basiert auf der Betonung gleicher Oberflächenmerkmale (Abbildung 1).



Abb. 1: Die erste Ebene zur Verwendung von Analogien.

Solche strukturelle Gemeinsamkeiten liegen in der Physik z.B. dann vor, wenn in beiden Bereichen derselbe funktionale Zusammenhang gegeben ist. So ist es beispielsweise sinnvoll, das ohmsche Gesetz mit dem hookschen Gesetz zu vergleichen, da in beiden Fällen eine lineare Abhängigkeit vorliegt

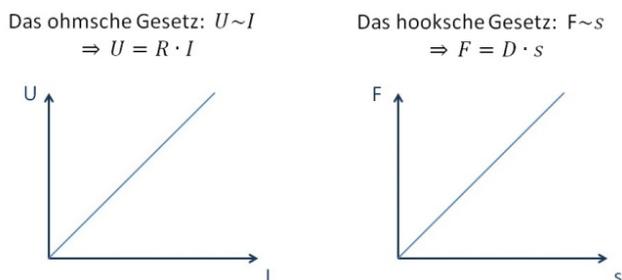


Abb. 2: Ein Beispiel für eine strukturelle Gemeinsamkeit.

(Abbildung 2).

Es fällt Lernenden leichter, sich die neuen Inhalte zu erschließen, wenn die mathematische Beschreibung und graphische Auswertung bereits bekannt sind.

2.2. Zweite Ebene: Analogien als allgemeine heuristische Prinzipien

Eine tiefere Bedeutung haben Analogien, wenn sie sich nicht nur auf Oberflächenmerkmale beziehen, sondern als heuristische Prinzipien auch auf inhaltliche Ähnlichkeiten zwischen Analogie- und Zielbe-



Abb. 3: Die zweite Ebene zur Verwendung von Analogien.

reich zielen (Abbildung 3).

Da diese Funktion von Analogien als Erklär-Prinzipien nicht fachspezifisch ist, sei ein Beispiel aus einem ganz anderen Fach zur Erläuterung angeführt: Wenn der Spanischlehrer im Unterricht das *pretérito pluscuamperfecto* einführt, so ist den Schülerinnen und Schülern meist das *Plusquamperfekt* aus dem Deutschunterricht und das *past perfect* aus dem Englischunterricht bekannt. Er kann auf die strukturellen Ähnlichkeiten hinweisen, da „had + past participle“ im Englischen dem „haber im Substantiv Perfekt + partizip“ im Spanischen (1. Stufe der Verwendung von Analogien) ähnlich ist. Doch über diese oberflächliche Gemeinsamkeit hinaus,

sind sich die Zeiten auch in ihrer Bedeutung sehr ähnlich. So fällt es Lernenden im Spanischunterricht leichter, die Verwendung des *pretérito pluscuamperfecto* zu erkennen, da diese dem Einsatz des *past perfect* im Englischen entspricht.

Im Physikunterricht erfüllt die Betonung der Gemeinsamkeit zweier Lernbereiche einen ganz bestimmten Zweck, nämlich die Vermittlung grundlegender physikalischer Prinzipien.

2.3. Dritte Ebene: Analogien als Mittel zur Vermittlung physikalischer Grundprinzipien

Das komplex anmutende Theoriegebäude der Physik gründet sich auf einigen wenigen Grundprinzipien, wie Symmetrie, Erhaltung etc.[2] Diese sind nicht nur wichtig um ein strukturiertes Bild von der Physik zu erlangen, sondern auch um Querverbindungen zwischen den einzelnen Teilgebieten herstellen zu können¹. So hat die Erhaltung der Energie als allgemeines Prinzip konkrete Ausformulierungen in den einzelnen Teilgebieten der Physik: In der Thermodynamik als 1. Hauptsatz, in der Elektrodynamik als Satz von Poynting usw. Vergleiche dieser Sachverhalte sind mehr als eine Analogie im herkömmlichen Sinne, da hier Analogie- und Zielbereich auf demselben physikalischen Prinzip beruhen. Dadurch ist die Analogiebetrachtung begründet und man braucht nicht befürchten, dass dieser Vergleich in die Irre leitet. Die eingangs gestellte Frage wann eine Analogiebetrachtung legitim ist und wann nicht, lässt sich damit schon in eine Richtung beantworten: Wenn Analogie- und Zielbereich im grundlegenden physikalischen Prinzip übereinstimmen, sind sie gewiss einsetzbar². Als Beispiel ließe sich etwa die Analogie zwischen der Kontinuitätsgleichung in der Strömungsmechanik

$$\frac{\partial \rho_M}{\partial t} + \text{div}(\rho_M \vec{v}) = 0 \quad \{1\}$$

(mit ρ_M als Massendichte und \vec{v} als Strömungsgeschwindigkeit) und der Kontinuitätsgleichung in der Elektrodynamik

$$\frac{\partial \rho_{el}}{\partial t} + \text{div}(\rho_{el} \vec{j}) = 0 \quad \{2\}$$

(mit ρ_{el} als Raumladungsdichte und \vec{j} als Strömungsdichte) anführen. Beide Gleichungen sind sich sowohl strukturell ähnlich (Stufe 1), als auch in ihrer Bedeutung (Stufe 2) und dies, weil sie im grundlegenden physikalischen Prinzip übereinstimmen (Stufe 3), denn beide Gleichungen sind Ausdruck von Erhaltungssätzen (in der Strömungsmechanik ist die Massenerhaltung das Grundprinzip und in der Elektrodynamik die Ladungserhaltung).

¹ Näheres zum didaktischen Potential solcher Grundprinzipien in der Physik kann in [2] nachgelesen werden.

² Auf diesen Umstand hat schon Wilfried Kuhn in seinem Artikel „Analogien in historischer, methodologischer und didaktischer Sicht“ hingewiesen [4].

Analogien dieser Art sind nicht nur legitim, sondern bergen auch reichlich didaktisches Potential. Neben der Verflechtung der verschiedenen Teilgebiete der Physik, trägt diese Verwendung von Analogien auch zur Förderung der Problemlösekompetenz bei (Abbildung 4).



Abb. 4: Die dritte Ebene zur Verwendung von Analogien

3. Analogien - Vehikel zur Vermittlung physikalischer Denkprinzipien als Lösungswerkzeuge

Wie in Abbildung 5 dargestellt, kann der Prozess des Problemlösens grob in vier Schritte unterteilt werden. Zunächst muss man das Problem als solches verstehen und das Ziel formulieren (Problemanalyse). Als nächster Schritt gilt die Kreation von Lö-

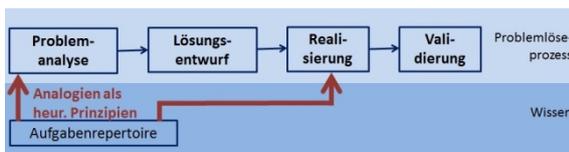


Abb. 5: Die einzelnen Schritte des Problemlösens

sungsentwürfen, die dann im dritten Schritt umzusetzen sind³. Wenn sich die Lösungsidee als zielführend erweist, muss die gewonnene Lösung in einem letzten Schritt noch validiert werden.



Analogien als allgemeine heuristische Prinzipien

Abb. 6: Die Rolle von Analogien als allgemeine heuristische Prinzipien beim Problemlösen.

gehen durch die Erfahrung aus bereits gelösten Aufgaben in diesen Prozess mit ein. So fällt es leichter ein Problem zu erkennen, wenn man sich schon mal mit ähnlichen Fragestellungen in anderen Kontexten auseinandergesetzt hat. Des Weiteren fällt die Realisierung des Lösungsentwurfs nicht schwer, wenn einem der notwendige Kalkül bereits aus anderen

³ Diese Darstellung lässt außer Acht, dass der Prozess des Problemlösens nicht immer so geradlinig in dieser Schrittfolge durchlaufen wird, sondern oft auch Schritte zurück notwendig sind. Der Einfachheit halber soll hier aber nicht genauer darauf eingegangen werden.

Aufgaben vertraut ist. Als allgemeine heuristische Prinzipien gehen Analogien damit in den Problemlöseprozess vor allem in Schritt eins und drei ein (siehe Abbildung 6). Zum Lösungsentwurf und zur Ergebnisvalidierung bedarf es physikspezifischer Denkprinzipien. Im Artikel „Physikalisches Denken-Wege zur Vermittlung konzeptionellen Verständnisses der Physik“ [5] wurde schon dargestellt, dass sich das Theoriegebäude der Physik auf wenigen Grundprinzipien gründet. Werden diese als feste Denkschemata generiert, fungieren sie als Denkprinzipien (Abbildung 7). Als solche wurden sie in der Geschichte der Physik immer wieder zielführend

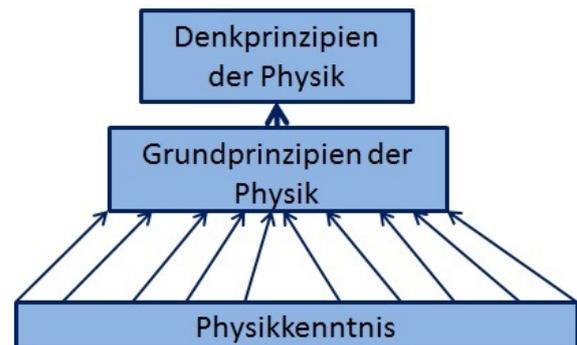


Abb. 7: Modell zum konzeptionellen Verständnis der Physik

eingesetzt und auch im Prozess des Problemlösens spielen sie eine wichtige Rolle. Solche Denkprinzipien können zündender Funke beim Lösungsentwurf sein und auch bei der Ergebnisvalidierung schalten sie sich als „prüfender Richter“ mit ein (Abbildung 8).

Wenn nun im Physikunterricht Analogien auf Grundlage fundamentaler physikalischer Prinzipien eingesetzt werden (Stufe 3), wird dadurch auch die Bedeutung solcher Prinzipien vermittelt. Damit werden physikalische Denkprinzipien generiert, die für den Prozess des Problemlösens in der Physik unabdingbar sind.

4. Zusammenfassung

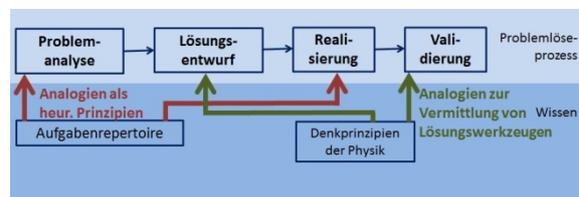


Abb. 8: Die Rolle von Analogien beim Problemlösen.

Analogien bergen Chancen und Risiken beim Lehren von Physik. Als Betonung ähnlicher Oberflächenmerkmale und als allgemeine heuristische Prinzipien können sie im Physikunterricht eingesetzt werden, doch sollte dabei Vorsicht geboten sein, denn in diesen Fällen ist es nicht ausgeschlossen die Lernenden mit Analogien in die Irre zu leiten. Dieses Bedenken ergibt sich nicht, wenn der Einsatz

von Analogien Ausdruck eines fundamentalen physikalischen Prinzips ist, das in zwei Bereichen konkretisiert wird. Diese Art der Verwendung von Analogien ist nicht nur uneingeschränkt legitim, sondern erweist sich auch als äußerst gewinnbringend. Denn auf diese Weise erkennen Lernende die Bedeutung grundlegender Prinzipien in der Physik. Analogien fungieren so als Vehikel bei der Vermittlung physikalischer Denkprinzipien, die eine wichtige Rolle beim Lösen physikalischer Probleme spielen.

5. Literatur

- [1] Duit, R. und Glynn, S. (1995): Analogien – Brücken zum Verständnis. In: Naturwissenschaften im Unterricht – Physik, 6/27, S. 4-10.
- [2] Krause, E. (2013): Das Erhaltungsprinzip in der Physik und seine Anwendung im Physikunterricht. Dissertation an der Naturwissenschaftlich-technischen Fakultät der Universität Siegen.
- [3] Kuhn, W. (1994): Analogien in historischer, methodologischer und didaktischer Sicht. In: Praxis der Naturwissenschaften – Physik, 5/43, S. 2-16.
- [4] Krause, E. (2013): Physikalisches Denken – Wege zur Vermittlung konzeptionellen Verständnisses der Physik. In: PhyDid B – Didaktik der Physik – Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung, DD 9.1