

## Physikalisches Denken

- Wege zur Vermittlung konzeptionellen Verständnisses der Physik -

Eduard Krause

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

### Kurzfassung

Die Kenntnis über physikalische Phänomene, Begriffe und Gesetze ist eine notwendige, jedoch keine hinreichende Voraussetzung für das selbstständige Bearbeiten physikalischer Fragestellungen. Die Vermittlung enzyklopädischen Wissens alleine reicht nicht aus, um physikalisches Denken zu schulen. Lernenden sollte ein tiefergehendes Verständnis der Physik nahegebracht werden. Dabei meint Physikverständnis einerseits die sinnvolle Strukturierung und Systematisierung des physikalischen Faktenwissens und andererseits die Verinnerlichung der grundlegenden Strategien zur Erkenntnisgewinnung und Problemlösung in der Physik.

Im vorliegenden Beitrag wird erläutert, was ein solches konzeptionelles Verständnis der Physik ausmacht und wie dieses im Physikunterricht vermittelt werden kann. Darauf aufbauend werden mögliche Fragestellungen und Hypothesen der physikdidaktischen Forschung formuliert.

### 1. Die Ebenen des konzeptionellen Verständnisses der Physik

Eines der höchsten Ziele des Physikunterrichts ist es sicherlich, die Schülerinnen und Schüler zu physikalischem Denken zu befähigen. Die hierzu gehörigen Kompetenzen werden bekanntlich durch selbstständiges und kreatives Problemlösen, physikalisches Erörtern und geschicktes Abschätzen und Bewerten von Lösungen angegeben. Dieses Denken setzt ein tiefgehendes Verständnis der Physik und ihrer Konzepte voraus.

Im Folgenden soll ein Modell vorgestellt werden, welches das konzeptionelle Verständnis der Physik genauer beschreibt. Nach diesem Modell ist das konzeptionelle Verständnis der Physik hierarchisch aufgebaut (vgl. Abb. 1).

Die Grundlage des konzeptionellen Verständnisses der Physik ist die Physikkenntnis. Bevor man die Tiefen der Physik für sich erschließt, muss man die Begriffe, Gesetz, Phänomene etc. der Physik kennen. Diese Ebene der Physik ist durch ausreichenden Fleiß für viele Schüler erreichbar, doch macht solch enzyklopädisches Wissen allein noch nicht das konzeptionelle Verständnis der Physik aus. Durch die sinnvolle Strukturierung und Vernetzung des Faktenwissens der Physik wird die zweite Ebene erreicht – das Physikverständnis.

Unter Physikverständnis wird in diesem Modell die Erschließung der Grundkonzepte und der fundamentalen Prinzipien der Physik verstanden. Dieses Verständnis befähigt diverse konkrete Phänomene oder Gesetze auf wenige universale Gesetzmäßigkeiten zurückzuführen und so Querverbindungen zwischen den einzelnen Teilgebieten der Physik herzustellen.

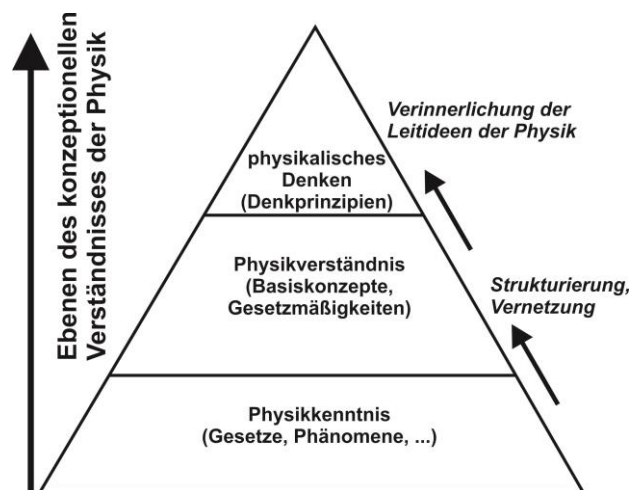


Abb. 1: Modell zum konzeptionellen Verständnis der Physik

Das physikalische Wissen wird so zu einem sinnvollen Geflecht zusammengefügt.

Die höchste Stufe des konzeptionellen Verständnisses der Physik ist aber erst dann erreicht, wenn man sich nicht nur im Theoriegebäude der Physik geschickt orientieren kann, sondern wenn man dieses Verständnis zur Bewältigung neuer Problemstellungen anwenden kann. Dazu müssen die Grundkonzepte der Physik zu festen Denkschemata heranreifen, die dann beim physikalischen Argumentieren und Problemlösen kreativ genutzt werden. Diese Ebene stellt das physikalische Denken dar, welches mit den eingangs erwähnten Kompetenzen beschrieben werden kann.

Wichtig sind in diesem Modell die Übergänge zwischen den einzelnen Ebenen. Der Übergang von der Physikkenntnis zum Physikverständnis erfolgt über

die sinnvolle Vernetzung und Strukturierung des physikalischen Wissens. Vom Physikverständnis gelangt man über die Verinnerlichung der Leitideen der Physik zum physikalischen Denken. Bei diesem werden die Grundkonzepte der Physik ganz pragmatisch als Problemlösewerkzeuge eingesetzt – im Gegensatz zur Ebene des Physikverständnisses, wo sie nur als strukturierendes und vernetzendes Element in Erscheinung treten. Die Übergänge werfen für den Physikunterricht folgende Fragen auf:

- Wie lassen sich im Physikunterricht die Inhalte sinnvoll strukturieren und vernetzen (Übergang 1)?
- Wie lassen sich bei Lernenden die Leitideen der Physik verinnerlichen (Übergang 2)?

Auf diese beiden Fragen soll in dem nächsten Abschnitt eingegangen werden.

## 2. Konsequenzen für den Physikunterricht

### 2.1. Die Rolle von Basiskonzepten bei der Förderung des Physikverständnisses

Die Notwendigkeit einer sinnvollen Vernetzung physikalischen Wissens ist schon lange ein Thema in der Physikdidaktik. Zu diesem Zweck wird die Rolle von Basiskonzepten in der Physik in den formalen Vorgaben für den Schulunterricht (wie etwa in den Bildungsstandards für das Fach Physik [1], S. 7ff) betont. Dahinter steht die Idee, die Fülle an physikalischen Inhalten auf einige wenige Basiskonzepte zurückzuführen und so das Wissen zu vernetzen und zu strukturieren. Welche Basiskonzepte dazu dienlich sind, ist vom Niveau des Unterrichts abhängig. In den Bildungsstandards für die Mittelstufe werden „Wechselwirkung“, „Energie“, „System“ und „Materie“ als grundlegende Konzepte der Physik genannt [1]. In den einheitlichen Prüfungsanforderungen für das Abitur im Fach Physik werden die Basiskonzepte „Quanten“, „Felder“, „Wellen“ und „Materie“ betont [2]. In der Physikbuchreihe „6 ideas that shaped physics“ meint Moore, dass „Erhaltung“, „Universalität physikalischer Gesetze“, „Unabhängigkeit von Bezugssystemen“, „Teilchen und Wellen Dualismus“, „elektrische und magnetische Felder“ und „Irreversibilität“ die grundlegenden Ideen sind, die die Physik gebildet haben [3].

Wenn sich diese Vorschläge von Basiskonzepten auch deutlich voneinander unterscheiden, so fällt doch auf, dass die Erhaltung der Energie als Basiskonzept häufig vertreten ist. An diesem Grundkonzept der Physik soll das vorgestellte Modell verdeutlicht werden (vgl. Abb. 2).

Die konkreten Ausformulierungen der Energieerhaltung (wie z.B. der 1. Hauptsatz der Thermodynamik) gehören zweifelsohne zum notwendigen Kenntnisstand eines Physikerschülers. Lernende der Physik sollten aber über die konkreten Nennungen der Energieerhaltung hinaus auch die Allgemeingültigkeit der Energieerhaltung verstehen. Diese ermög-

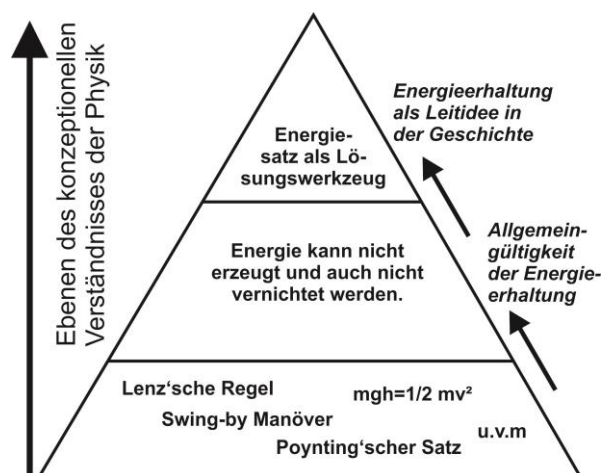


Abb. 2: Das Modell zum konzeptionellen Verständnis der Physik am Beispiel der Energieerhaltung

licht die tiefere Erklärung vieler Phänomene in der Physik, die auf den ersten Blick nichts mit der Erhaltung der Energie zu tun haben (wie z.B. das erste keplersche Gesetz oder die lenzsche Regel). So können mit der Energieerhaltung Querverbindungen zwischen den Teilgebieten der Physik hergestellt werden. Das grundlegende Konzept der Energieerhaltung trägt somit maßgeblich zur Vernetzung und Strukturierung des physikalischen Wissens bei (1. Übergang im Modell). Doch ist damit das didaktische Potential der universalen Gesetze der Physik erschöpft? Im nachstehenden Abschnitt wird gezeigt, dass gerade solche fundamentalen Prinzipien der Physik (exemplarisch an der Erhaltung verdeutlicht) zum physikalischen Denken befähigen.

### 2.2. Die Notwendigkeit einer physikspezifischen Heuristik

Die Untersuchung der Physikgeschichte zeigt, dass fundamentale Prinzipien der Physik immer wieder deshalb zum Erkenntnisgewinn geführt haben, weil sie ganz pragmatisch als Denkwerkzeuge genutzt wurden. So hat beispielsweise Wolfgang Pauli deshalb eine neue Teilchensorte beim  $\beta$ -Zerfall postuliert, weil er am Prinzip der Energieerhaltung festgehalten hat. Die Verinnerlichung der fundamentalen Ideen der Physik ist fundamental für die Fähigkeit physikalisch zu denken. Diese Lösungswerkzeuge machen eine physikspezifische Heuristik aus, die notwendig ist, um kreativ mit physikalischen Fragestellungen umzugehen. Sie ist von der allgemeinen Heuristik, die ja berechtigterweise auch in den formalen Vorgaben gefordert wird, zu unterscheiden, denn die allgemeine Heuristik trifft nicht den Kern des physikalischen Denkens.

Doch was bedeutet das konkret? Wie lassen sich die Leitideen der Physik Lernenden im Unterricht klar machen? Dazu der nächste Abschnitt.

### 3. Wege zur Verinnerlichung der Leitideen der Physik

Zur Vermittlung der Leitideen der Physik werden zwei Wege vorgeschlagen:

- Zum einen lässt sich der Umgang mit den Leitideen der Physik aus der Physikgeschichte erkennen. Lernen bedeutet das Erschließen eines fremden Inhalts. So ahmen Lernende im gewissen Sinne den vergangenen Prozess der Erkenntnisgewinnung in der Geschichte nach. Die erkenntnisleitenden Werkzeuge der Vergangenheit können/ sollen also auch im gegenwärtigen Lernprozess von Nutzen sein. Zur Verdeutlichung wird in 3.1 ein Beispiel aus dem 19. Jahrhundert angeführt.
- Zum andern geschieht die Verinnerlichung der Leitideen durch das ständige Üben. Ein solches Üben lässt sich aber kaum mit herkömmlichen Aufgabentypen umsetzen - dazu bedarf es offener Aufgaben, also Aufgaben, die auch mehrere Lösungswege zulassen. In 3.2 wird beispielhaft durch die Lösung einer solchen Aufgabe vorgeführt, wie sich Leitideen der Physik als Denkwerkzeuge nutzen lassen.

#### 3.1. Ein Beispiel aus der Physikgeschichte: Hermann von Helmholtz und die Leuchtkraft der Sonne<sup>1</sup>

Das konsequente Zurückverfolgen der Energieumwandlungskette bringt einen früher oder später zur Frage, woher denn die Sonne ihre Energie bezieht. Zu Beginn des 19. Jahrhunderts waren folgende Erklärungen verbreitet [5]:

- Die Sonne gewinnt ihre Energie durch Verbrennungsprozesse
- Auf die Sonne schlagen permanent Meteoriten ein, deren kinetische Energie umgewandelt wird.

Die erste Hypothese scheint unglaublich, da dies im optimistischsten Fall ein Leuchten von nur rund 3000 Jahren ermöglichen würde. Dass die andere Hypothese auch nicht stimmen kann, wird aus der Massenerhaltung deutlich. Permanent einfallende Meteoriten hätten die Masse der Sonne schon signifikant verändert. Hermann von Helmholtz (1821-1894), der mit seinem Werk „Über die Erhaltung der Kraft“ als Mitentdecker des universalen Energieerhaltungssatzes angesehen wird, wendet die Leitidee der Energieerhaltung konsequent an und sieht dadurch die Energiequelle der Sonne in ihrer Kontraktion. Dadurch wird Gravitationsenergie in thermische Energie umgewandelt. Bei bekannter Sonnenmasse, -größe und Leuchtkraft ergibt das eine Leuchtdauer von 17 Millionen Jahren – ein weit realistischeres Ergebnis als das der anderen Erklä-

rungen. Heute wissen wir, dass die Kernfusion maßgeblich mitbeteiligt ist, doch der Ansatz Helmholtz' beschreibt das frühe Stadium der Sonne adäquat.

#### 3.2. Beispielaufgabe: Wie tief ist ein Krater, den ein Meteorit schlägt<sup>2</sup>?

Mit einer so offen gehaltenen Aufgabe sind sicher viele Schüler überfordert. Dadurch wird deutlich, wie wichtig es ist über physikalisches Denkwerkzeug zu verfügen, welches einem das Herangehen an solche Problemstellungen ermöglicht. Die Antwort auf die Frage lässt sich mit der Energieerhaltung geschickt abschätzen. Dazu kann angenommen werden, dass die kinetische Energie des Meteoriten in die Erwärmung ( $Q$ ), Verflüssigung ( $Q_{\text{schmelz}}$ ) und Verdampfung ( $Q_{\text{verdampf}}$ ) des als fest angenommenen Materials des Planeten führt. Formal heißt das:

$$E_{\text{kin}} = Q + Q_{\text{schmelz}} + Q_{\text{verdampf}}$$

Um es sich noch einfacher zu machen, kann man eine dicke Eisschicht annehmen, wie es zum Beispiel beim Jupitermond Europa der Fall ist. Setzt man dann die entsprechenden Werte (die typische Geschwindigkeit eines Meteoriten relativ zum Jupitermond Europa und die spezifische Wärmekapazität von Eis und Wasser), so kommt man auf folgendes Massenverhältnis (wobei  $M$  die Masse des Verdampften Eises und  $m$  die des Meteoriten ist):

$$M = 470 m.$$

Der Meteorit verdampft folglich das 470-fache seiner eigenen Masse. Nimmt man nun den Meteorit als Kugel an und den Krater als Halbkugel, so kommt man mit der Annahme, dass der Meteorit die Dichte von Eisen hat, zu folgendem Ergebnis (wobei  $R$  der Radius des Kraters und  $r$  der des Meteoriten ist):

$$R = 15 r$$

Der Krater hat also etwa den 15-fachen Radius des Meteoriten.

#### 4. Forschungsausblick

Zusammenfassend kann man sagen, dass die Grundprinzipien der Physik ein hohes didaktisches Potential beinhalten. Als Basiskonzepte dienen sie zu Vernetzung und Strukturierung des physikalischen Wissens, als Denkprinzipien tragen sie darüber hinaus wesentlich zur Problemlösekompetenz, Bewertungskompetenz usw. - also alles was sich unter physikalischem Denken vereinen lässt- bei. Das wirft die Frage auf, ob und wie dieses didaktische Potential der Grundprinzipien im Schulalltag genutzt wird.

In einer qualitativen Inhaltsanalyse ging der Verfasser bereits der Frage nach, welche Rolle die Erhaltung (als ein exemplarisches Grundprinzip der Physik) in den Schulbüchern der gymnasialen Oberstufe spielt [7].

<sup>1</sup> Eine tiefere Behandlung dieses historische Beispiel ist in [4] nachzulesen.

<sup>2</sup> Nähere Ausführungen können in [6] ershen werden.

Man könnte sich mit diesem Hintergrund aber auch einigen quantitativen Forschungsfragen zuwenden. So ließe sich z.B. empirisch erfassen, ob und wie stark die Betonung von Grundprinzipien der Physik zur Verbesserung der Problemlösekompetenz beiträgt. Mit der Grundlage des vorgestellten Modell wäre es auch interessant, der Frage nachzugehen, wie viel konzeptionelles Verständnis der Physik bei Schülerinnen und Schülern, Lehrerinnen und Lehrern und Physikstudentinnen und -studenten vorhanden ist.

Aus den Antworten auf diese Fragen kann man gewisse wertvolle Hinweise zur Gestaltung des Physikunterrichtes gewinnen.

### 5. Literatur

- [1] Beschlüsse der Kultusministerkonferenz: Bildungsstandards im Fach Physik für den Mittleren Schulabschluss (Beschluss vom 16.13.2004):  
[http://www.kmk.org/fileadmin/veroeffentlichungen\\_beschluesse/2004/2004\\_12\\_16-Bildungsstandards-Physik-Mittleren-SA.pdf](http://www.kmk.org/fileadmin/veroeffentlichungen_beschluesse/2004/2004_12_16-Bildungsstandards-Physik-Mittleren-SA.pdf) (Stand 5/2013).
- [2] Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 01.12.1989 i.d.F. vom 05.02.2004: Einheitliche Prüfungsanforderungen in der Abiturprüfung Physik,  
[http://www.kmk.org/fileadmin/veroeffentlichungen\\_beschluesse/1989/1989\\_12\\_01-EPA-Physik.pdf](http://www.kmk.org/fileadmin/veroeffentlichungen_beschluesse/1989/1989_12_01-EPA-Physik.pdf) (Stand 5/2013).
- [3] Moore, Thomas A.: Six ideas that shaped physics, Boston [u.a.]: WCB McGraw-Hill, 1998.
- [4] Krause E.: Helmholtz über die Leuchtkraft der Sonne - Der Erhaltungsgedanke als Denkwerkzeug in der Astronomie. In: Astronomie und Raumfahrt, 50 (2013), 3/4.
- [5] Helmholtz, Hermann: Populäre wissenschaftliche Vorträge, 2.Auflage. Braunschweig: Verlag von Friedrich Vieweg und Sohn, 1876.
- [6] Schwarz, Oliver: Impaktenergien mit Schulmitteln abschätzen. In: Astronomie und Raumfahrt 45 (2008), 1, S. 4-6.
- [7] Krause, E.: Der Erhaltungsgedanke in der Physik –Gesetz, Gesetzmäßigkeit und Denkwerkzeug. In PhyDid B: Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung in Münster 20011 ( Beitrag DD 04.06).