

# Fachdidaktik Physik: 1.5.1. Modelle, Analogien, Strukturgleichheit, Darstellungen

Hans-Otto Carmesin

Gymnasium Athenaeum Stade, Studienseminar Stade

Hans-Otto.Carmesin@t-online.de

16. März 2021

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Modellbildung</b>	<b>2</b>
2.1	Modellbegriff . . . . .	2
2.2	Hypothesen- und Modellbildung im Gehirn . . . . .	3
2.3	Modelle bei der Erkenntnisgewinnung . . . . .	4
2.4	Bewusster Umgang mit Modellen . . . . .	4
2.5	Modellentwicklung im Physikunterricht . . . . .	5
2.5.1	Schüleraktivitäten . . . . .	6
2.5.2	Umgang mit Schülervorstellungen . . . . .	6
2.5.3	Vertikale Vernetzung . . . . .	7
2.5.4	Horizontale Vernetzung . . . . .	7
2.5.5	Beispielstunde . . . . .	11
<b>3</b>	<b>Analogien</b>	<b>11</b>
3.1	Grundprinzip . . . . .	11
3.2	Strukturgleichheit . . . . .	12
3.3	Vorteile . . . . .	12
<b>4</b>	<b>Grafische Darstellungen</b>	<b>12</b>
<b>5</b>	<b>Aufgaben</b>	<b>12</b>
<b>6</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>13</b>



Abbildung 1: Höhlengleichnis:

Einige Menschen sind seit ihrer Geburt in einer Höhle gefangen (links). Sie sehen nur die Schatten der Dinge, die freie Menschen an Lichtern vorbeitragen (rechts). Was denken die Gefangenen über die Schatten?

## 1 Einleitung

Die Notwendigkeit physikalischer Modellbildung wird durch Platons Höhlengleichnis (s. [Störig \(1985\)](#)) verdeutlicht: Platon schildert Menschen, die ihr ganzes Leben in einer Höhle gefangen sind. Sie sehen von den Dingen nur die Schatten. Diese entstehen dadurch, dass freie Menschen die Gegenstände an Lichtern vorbeitragen. Die Gefangenen halten nun die Schatten für die wahre Welt. Im übertragenen Sinn ist jeder Mensch aufgrund seiner prinzipiell begrenzten Wahrnehmung wie einer der Gefangenen. Platon fordert den Menschen mit seinem Gleichnis dazu auf, sich nicht mit dem unmittelbar Wahrnehmbaren zu begnügen, sondern sich vielmehr ein Modell davon zu machen, wie das Wahrnehmbare aus den zugrunde liegenden Dingen entsteht. Entsprechend ist der Physikunterricht aufgefordert, nicht nur die Versuchsergebnisse zu gewinnen, sondern diese anschließend zu modellieren.

## 2 Modellbildung

### 2.1 Modellbegriff

Ein Modell<sup>1</sup> ist eine Darstellung einer Idee, eines Objekts, eines Ereignisses, eines Prozesses oder eines Systems (s. [Gilbert u. Boulter \(2003\)](#)).

In der Regel deuten wir mit einem Modell ein Experiment. Beispielsweise deuten wir mit dem Lichtwellenmodell die Beugung von Licht an einem Gitter.

---

<sup>1</sup>Nach Mikelskis-Seifert ist ein Modell ein Gegenstand oder theoretisches Konstrukt, das von einem Subjekt für einen entsprechenden Zweck geschaffen bzw. verwendet wird. Dabei bestehen zwischen bestimmten Eigenschaften des Modells und bestimmten Eigenschaften des präsentierten Objekts Analogien (s. [Mikelskis \(2006\)](#)).

Darüber hinaus können wir vielfältige spannende Beziehungen zwischen Modellen entdecken: Manche Modelle sind strukturgleich, etwa das Lichtwellenmodell und das Elektronenwellenmodell; wir behandeln sie daher als Beispiele der umfassenden Wellenlehre oder Wellentheorie. Manche Modelle sind gegensätzlich, etwa das der Lichtwelle und des Lichtteilchens; an diesen erkennen wir den Welle-Teilchen-Dualismus, ein Hinweis auf die noch immer geheimnisvolle Natur des Lichts.

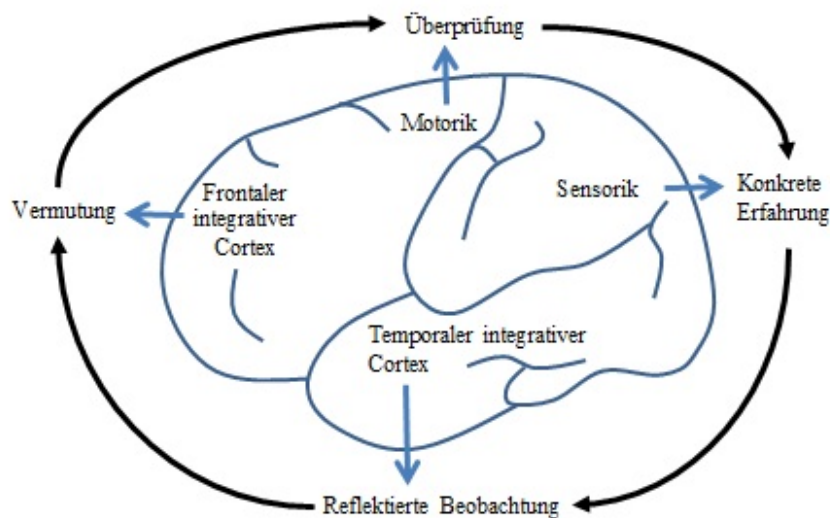


Abbildung 2: Modellbildungskreis des Gehirns:

Das Gehirn lernt permanent in ganzheitlicher Weise (s. [Arnold \(2009\)](#)): Es bildet Hypothesen, testet diese aktiv, gewinnt so konkrete Erfahrung, reflektiert diese und nutzt erfolgreiche Hypothesen zukünftig wie Modelle.

## 2.2 Hypothesen- und Modellbildung im Gehirn

Unser Gehirn entwickelt permanent Hypothesen und testet diese (s. [Arnold \(2009\)](#)). Stellt unser Gehirn bei der anschließenden Bewertung fest, dass der Test die Hypothese stützt, so verwendet es die Hypothese in Zukunft weiter. Wir können sagen, dass unser Gehirn die erfolgreiche Hypothese als kleines Modell der Realität nutzt. Insofern können wir im Unterricht davon ausgehen, dass die SuS ein umfangreiches intuitives Vorverständnis für den Modellbildungsprozess mitbringen. Wir sollten im Physikunterricht daran anknüpfen und die SuS aktiv und stimmig an der Modellentwicklung beteiligen. So erhalten wir ganzheitliche (s. [Arnold \(2009\)](#)), anspruchsvolle und nachhaltige Lernprozesse. Wenn wir unsere SuS ihre Modelle im Rahmen des Sinnvollen selbst konstruieren lassen, dann erfahren unsere SuS zudem die Vorteile des konstruktivistischen Lernens (s. [Schmidt \(1990\)](#)).

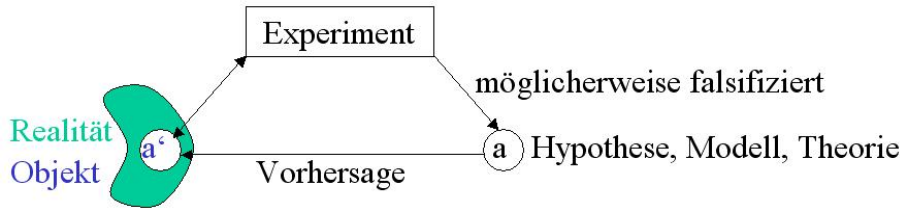


Abbildung 3: Objektives Modellbildungsdreieck:

Poppers Theorie der objektiven Erkenntnis behandelt den Prozess der Modellentwicklung (s. Popper (1974)).

## 2.3 Modelle bei der Erkenntnisgewinnung

Der vom Gehirn permanent durchgeführte Prozess der Hypothesen- und Modellbildung wird in der Physik in professionalisierter Weise ständig im Rahmen der hypothetisch deduktiven Methode der Erkenntnisgewinnung durchgeführt:

Zunächst wird eine Hypothese aufgestellt (s. Kircher u. a. (2001); Popper (1974), Ruben (1990)). Diese macht Vorhersagen über ein Objekt der Realität (s. Abb. 3). Die Vorhersage wird mit einem Experiment überprüft. Widerspricht das Versuchsergebnis der Vorhersage, so ist die Hypothese offensichtlich nicht ganz richtig; wir sagen dann, sie ist falsifiziert. Anderenfalls hat die Hypothese einen Test bestanden. Wir können sie in Zukunft als Modell nutzen. Im Prinzip könnte das Modell aber bei einem anderen Versuch doch falsifiziert werden. Daher wird unser Modell prinzipiell nie verifiziert, es bleibt grundsätzlich vorläufig oder begrenzt gültig.

## 2.4 Bewusster Umgang mit Modellen

Das Gehirn bildet, testet und prüft zunächst permanent Hypothesen. Dabei kann es diesen Prozess im Sinne der Metakognition reflektieren, es kann aber auch darauf verzichten. Poppers Theorie der objektiven Erkenntnis ist eine Reflexion und Systematisierung dieses Prozesses (s. Popper (1974)). Empirische Untersuchungen zeigen, dass eine solche Reflexion in der Schule manchmal zu kurz kommt (s. Mikelskis (2006)). Dabei beinhaltet die seit langem grundlegend gelehrt Phasenstruktur des Experimentierprozesses (s. Haspas (1990); Kircher u. a. (2001)) diese Reflexion ausdrücklich:

1. **Hypothesenbildung**
2. **Planung des Versuchs**
3. **Durchführung des Versuchs**
4. **Auswertung des Versuchs** mit Ergebnisformulierung und Vergleich des Ergebnisses mit der Hypothese (s. Kircher u. a. (2001))
5. **Deutung des Ergebnisses** mit Bewusstmachen des Zusammenhangs zwischen Hypothese, Experiment und Theorie (s. Haspas (1990))

Insofern empfehle ich hier den Experimentalunterricht konsequent durchzuführen. Ähnlich empfiehlt Mikelskis-Seifert in diesem Zusammenhang bewusst zwischen Erfahrung und Modell zu unterscheiden (s. Mikelskis (2006); Mikelskis-Seifert (2005)). So fordert sie **vier Aktivitäten im Unterrichtsprozess**:

1. Reflexion über hypothetischen Charakter von Modellen
2. Bewusstes Konstruieren von Modellen für die Beschreibung und Deutung physikalischer Phänomene
3. Prüfen von Modellannahmen auf Tragfähigkeit, Verwerfen ungeeigneter Modellannahmen, Erfahren von Modellgrenzen
4. Trennung zwischen Phänomen und Modell

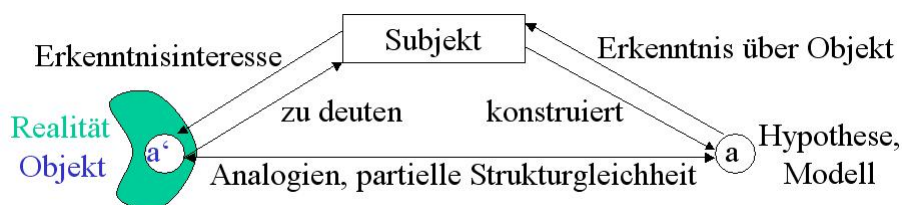


Abbildung 4: Subjektives Modellbildungsdreieck:

Im Physikunterricht ist das Subjekt grundlegend für die Modellentwicklung.

## 2.5 Modellentwicklung im Physikunterricht

Im Physikunterricht steht das Subjekt, die Schülerin oder der Schüler, im Zentrum (s. Mikelskis (2006)). Wir wählen zunächst ein Objekt der Realität, an dem die SuS ein Erkenntnisinteresse<sup>2</sup> haben (s. Abb. 4).

Wir wählen ein Objekt, das für die SuS noch geheimnisvoll ist, das diese noch nicht erklären können, dadurch ist das Objekt für die SuS zu deuten (s. Abb. 4).

Anschließend konstruieren die SuS Modelle für das Objekt (s. Abb. 4). Für den Lernprozess ist hierbei günstig, wenn die SuS möglichst selbstständig und erfolgreich konstruieren. Daher empfiehlt sich hier ein gutes Konzept, etwa das Nutzen von Strukturgleichheiten, Veranschaulichungen, Analogien, Analogieversuche, zielführenden Ideen, Vorentlastungen aus dem Vorunterricht, Puzzlesysteme, ikonische Lernhilfen sowie intelligentes Lernmaterial oder lernunterstützendes Material.

Die konstruierten Modelle sind zunächst hypothetisch und müssen noch erprobt werden. Nach bestandener Erprobung können unsere SuS davon ausgehen, dass das entwickelte Modell eine gewisse Analogie oder Strukturgleichheit zur Realität aufweist (s. Abb. 4). Insofern haben sie eine neue Erkenntnis über das Objekt gewonnen (s. Abb. 4).

<sup>2</sup>Das ist auch ganz im Sinne des exemplarischen Lernens (s. Wagenschein (1999)), sowie im Sinne des ganzheitlichen neurodidaktischen Lernens (s. Arnold (2009)).

---

## 2.5.1 Schüleraktivitäten

Bei der Modellbildung sind folgende Schüleraktivitäten wichtig. Die SuS ...

... erkennen die Notwendigkeit für ein Modell (Einführungsphase)

... entwickeln Modelle (Erarbeitungsphase)

... erläutern ihre Modelle

... überprüfen ihre Modelle

... verbessern ihre Modelle

... begründen ihre Modelle

... einigen sich auf tragfähige übliche Modelle

... arbeiten mit Modellen (Anwendungsphase)

... üben auf Modellebene

... wählen ein Modell aus: So einfach wie möglich, aber nicht einfacher (s. [Rosenstock-Huessy \(1968\)](#))

... wenden Modelle auf die Realität an

... betreiben Metakognition (Reflexionsphase)

... erkennen Grenzen

... reflektieren Modellbildungsprozess



### OCCAM'S RAZOR

"WHEN FACED WITH TWO POSSIBLE EXPLANATIONS, THE SIMPLER OF THE TWO IS THE ONE MOST LIKELY TO BE TRUE."



### OCCAM'S PROFESSOR

"WHEN FACED WITH TWO POSSIBLE WAYS OF DOING SOMETHING, THE MORE COMPLICATED ONE IS THE ONE YOUR PROFESSOR WILL MOST LIKELY ASK YOU TO DO."

Abbildung 5: Ockhams Rasiermesser:

Erklären zwei Modelle den Sachverhalt, so wählen wir das einfachere.

## 2.5.2 Umgang mit Schülervorstellungen

Modelle folgen nicht zwingend aus einem Versuch. Wir wenden daher Ockhams Rasiermesser (s. [Rosenstock-Huessy \(1968\)](#)) an. *Entia non multiplicanda sunt praeter necessitatem*, d. h. hier: Ein Modell enthält nur das Notwendige.

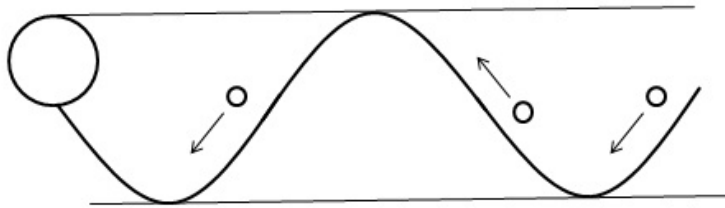


Abbildung 6: Babuschkamodell des Lichts:

Manche SuS meinen, grob betrachtet bildet das Licht einen Strahl (s. Mikelskis-Seifert u. Leisner-Bodenthin (2007)). Zoomt man etwas hinein, so erkenne man die Welle. Zoomt man weiter hinein, so zeigten sich Teilchen.

Entwickeln SuS ein unpassendes Modell, so widerlegen wir es experimentell. So erzeugen wir Einsicht bei den SuS. Generell entwickeln wir nur Modelle, welche die SuS aktuell einsehen können. Denn Modelle, die unsere SuS erst in zukünftigen Schuljahren verstehen können, machen für die SuS überhaupt keinen Sinn.

### 2.5.3 Vertikale Vernetzung

Wir vernetzen die Modelle, welche die Sus im Laufe der Schuljahre kennenlernen. Beispielsweise werden Grundlagen zum Potentialtopfmodell des Atoms bereits ab Klassenstufe 5 gelegt:

- E-Lehre in 5 und 6: Elementarmagnete
- Optik in 5 und 6: Lichtstrahl
- E-Lehre in 7 und 8: Elektron
- Kernphysik in 9: Kern-Hülle-Modell
- Kursstufe: Lichtwelle und Photon
- Kursstufe: Materiewelle und Elektron
- Kursstufe: Wellenfunktion des Photons im Potentialtopf beim Laser
- Kursstufe: Wellenfunktion des Elektrons im Potentialtopf beim Molekül

### 2.5.4 Horizontale Vernetzung

Wir vernetzen die Modelle, welche die Sus im Physikunterricht kennenlernen mit denen, die sie in anderen Fächern behandeln. Beispielsweise kommen für die im Potentialtopfmodell (s. Gehmann (2015), Frenzel (2017), Brüning u. a. (2010), Beime u. a. (2012)) verwendeten Wellenfunktionen Entsprechungen in der Chemie vor:

- Wellenfunktion: Energieniveaus in der Atomhülle (Chemie) (s. Beime u. a. (2012); Brüning u. a. (2010); Frenzel (2017); Gehmann (2015))

- 
- Pauli-Prinzip: Atommodelle zum Periodensystem (Chemie) (s. [Beime u. a. \(2012\)](#); [Brüning u. a. \(2010\)](#); [Frenzel \(2017\)](#); [Gehmann \(2015\)](#))
  - Pauli-Prinzip: Elektronenpaarbindung (Chemie) (s. [Beime u. a. \(2012\)](#); [Brüning u. a. \(2010\)](#); [Frenzel \(2017\)](#); [Gehmann \(2015\)](#))
  - $\beta$ -Carotin: Mesomerie beispielsweise bei Benzol (Chemie) (s. [Achtermann \(2009\)](#))



### Kurzentwurf für eine Physikstunde

#### Thema der Unterrichtseinheit: Atomphysik

Entdeckung der Größe der Atomhülle

Entdeckung der Größe des Atomkerns

Entdeckung des Linienspektrums am Beispiel einer Blaulichtanalyse einer Quecksilberdampfampe

Deutung des Linienspektrums mithilfe elektronischer Energieniveaus

Entdeckung und Deutung der Emission und Absorption bei Natrium

Entwicklung des Pauli-Prinzips

#### Entwicklung des Modells des linearen Potentialtopfs für $\beta$ -Carotin

**Didaktik:** Stundenlernziel: Die SuS können das Modell begründen und anwenden.

Inhaltliche Aspekte	Verhaltensaspekte dazu
Lernvoraussetzung: Linienspektrum	Erläutern, Messen
Lernvoraussetzung: Absorptionsspektrum	Erläutern, Messen
Lernvoraussetzung: Energieniveaudiagramm	Begründen, Anwenden
Lernvoraussetzung: Stehende Wellen beim Kontrabass	Berechnen
Lernvoraussetzung: Potentialtopfmodell, Lasers	Begründen, Anwenden
Lernvoraussetzung: Pauli-Prinzip	Begründen, Anwenden
Teillernziel: Analogie des Lasers zum Stabmolekül	Erläutern
Teillernziel: Stehende Welle im Stabmolekül	Skizzieren
Teillernziel:	
Teillernziel: Versuch zur Absorptionslinie beim Farbstoff	Beschreiben, Durchführen, Deuten
Teillernziel: Energie der beobachteten Photonen	Berechnen
Teillernziel: Formel zum linearen Potentialtopfmodell	Herleiten
Teillernziel: Anwendbarkeit des linearen Potentialtopfmodells	Überprüfen, Erörtern
Teillernziel: Lineares Potentialtopfmodell	Erläutern, Skizzieren, Anwenden

**Methodik:** Dominantes Lehrverfahren: Problemlösend

Zeit	Didaktische Erläuterungen	Methodische Erläuterungen	Sozialform
8	<u>Hinführung:</u> Besprechung der HA zu Energieniveaus im Laser	SV, AB 1	LSG
12	<u>Problemstellung:</u> Idee, Beispiel	Leitfrage	LSG
25	<u>Analyse:</u> Vermutung, Versuchsplan, Berechnungsplan	TA	MuG
35	<u>Lösung 1:</u> DE	Beobachten, TA	SSG
55	<u>Lösung 2:</u> Berechnen	LH	GA
70	<u>Sicherung:</u> s.u.	SV Ergebnis, OHP, Reflexion, Bezeichnungen	SV
90	<u>Festigung:</u> Beispiel, AB 2	Berechnen, SV	EA

Abbildung 7: Kurzentwurf zur Entwicklung des linearen Potenzialtopfmodells des Elektrons.



Wir berechnen die Energie der Photonen im Laser aus dessen Form.  
Wie berechnen wir die Energie der Elektronen im Molekül aus dessen Form?

Idee: Längliches Molekül ähnlich Laser

Beispiel:  $\beta$ -Carotin, stabförmig;  $a = 1,77$  nm lang; 22 Elektronen bewegen sich praktisch frei in diesem „Stab“

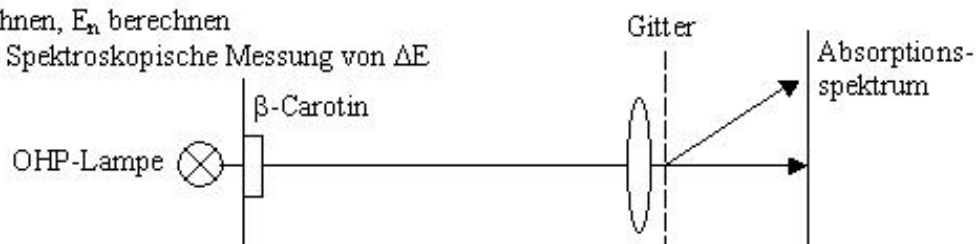
Vermutung: Die 22 Elektronen bilden im  $\beta$ -Carotin-Molekül stehende Wellen.

Überprüfung:

$\Delta E$  messen

$\Delta E$  berechnen,  $E_n$  berechnen

Versuch: Spektroskopische Messung von  $\Delta E$



Beobachtung:  $\beta$ -Carotin absorbiert hauptsächlich blaues Licht

Literatur:  $\beta$ -Carotin absorbiert hauptsächlich bei 450 nm.  $\rightarrow \Delta E = E_{\text{Photon}} = h \cdot c / \lambda = 2,76$  eV

Berechnung:

Photon im Laser:  $\lambda \rightarrow f \rightarrow E$

Elektron im Molekül:  $\lambda_{\text{Elektron}} \rightarrow p \rightarrow v \rightarrow E \rightarrow \Delta E = E_{12} - E_{11}$  (Pauli-Prinzip)

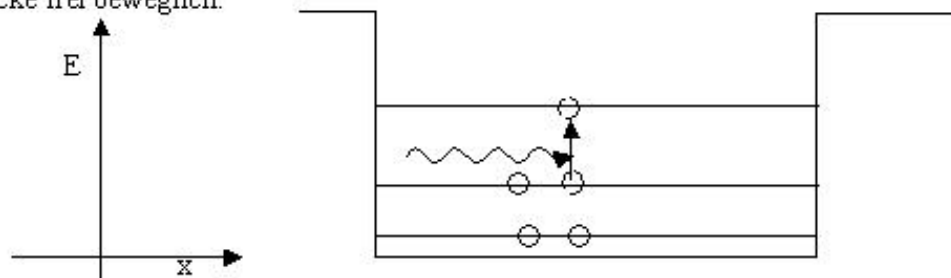
Ergebnis: Die 22 Elektronen bilden im  $\beta$ -Carotin-Molekül stehende Wellen mit folgenden

Energieniveaus:  $E_n = n^2 \cdot \frac{h^2}{8m \cdot a^2} = n^2 \cdot 0,12$  eV

Mögliche Ursachen für breiten absorbierten Wellenlängenbereich:

Molekül ist nicht genau stabförmig, ...

Bezeichnung: Beim linearen Potenzialtopfmodell modellieren wir das Elektron idealisierend als in einer Strecke frei beweglich.



Geplante Schülerfolie

Stehende Welle:  $\lambda = 2a/n$  mit  $n = 1, 2, 3, \dots$

$\rightarrow p = h/\lambda$   $\rightarrow v = p/m$

$\rightarrow E = 0,5 \cdot m \cdot v^2 = n^2 \cdot \frac{h^2}{8m \cdot a^2} = n^2 \cdot 0,12$  eV

$\rightarrow \Delta E = E_{12} - E_{11} = 2,76$  eV

Abbildung 8: Tafelbild zur Stunde.

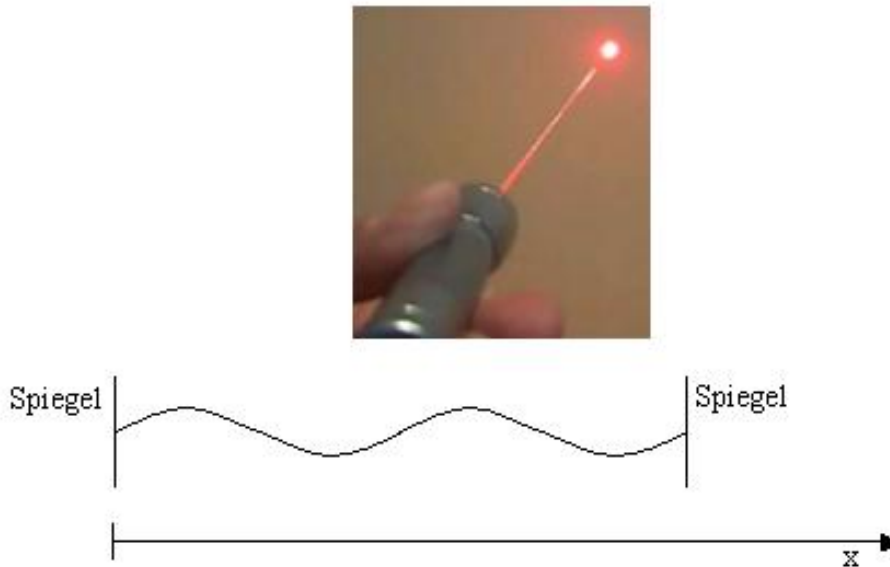
---

## 2.5.5 Beispielstunde

Ich illustriere die Modellbildung im Physikunterricht anhand einer Stunde zur *Entwicklung des linearen Potenzialtopfmodells des Elektrons* beispielhaft (s. Abb. 7 bis 10).

Arbeitsblatt, PH 13 eA, Dr. Carmesin

2009



In einem Halbleiterlaser stehen sich zwei parallele Spiegel im Abstand 3200 nm gegenüber. Dazwischen bildet die Wellenfunktion die stehende Welle der 3. Oberschwingung.

- Bestimmen Sie die Wellenlänge des Laserlichts.
- Bestimmen Sie die Energie der emittierten Photonen.

Abbildung 9: Vorbereitende HA zur Stunde.

## 3 Analogien

### 3.1 Grundprinzip

Manchmal kennen die SuS einen Phänomenbereich recht gut, beispielsweise einen Wasserstromkreis. Oder dieser Phänomenbereich ist wenigstens anschaulich, hier ist das Wasser sichtbar und berührbar. In diesem Phänomenbereich gibt es Objekte, Modelle und Eigenschaften, kurz ( $O, M, E$ ) (s. Kircher u. a. (2001)).

In einem passenden neuen Bereich, beispielsweise bei Stromkreisen, sollen die entsprechenden Objekte, Modelle und Eigenschaften ( $O^*, M^*, E^*$ ) erlernt werden. Dazu gibt es viele unterrichtliche Möglichkeiten, die im Endeffekt darauf hinaus laufen, dass die SuS entsprechende Objekte, Modelle und Eigenschaften beider Bereiche einander zuordnen können. Das können die SuS oft gut in einer Tabelle darstellen.

---

## 3.2 Strukturgleichheit

Eine besonders klare Variante der Analogie ist die Strukturgleichheit. Hier besteht die Analogie in Form mathematischer Gleichungen. Beispiele sind das Federpendel und das physikalische Fadenpendel oder die newtonsche Gravitationskraft und die Coulomb-Kraft.

## 3.3 Vorteile

Dieses Verfahren verspricht eine hohe Lernwirksamkeit, wenn es gelingt, dass die SuS bekannte Strukturen wiedererkennen. Für diesen Fall wurde eine Effektstärke von  $d = 1,32$  festgestellt (s. [Marzano \(1998\)](#)).

## 4 Grafische Darstellungen

Eine grafische Darstellung der Beziehungen und Unterschiede bei Analogien erscheint sehr sachgerecht. Ähnliches gilt für Zuordnungen zwischen Elementen von Modelle untereinander oder für Zuordnungen von Elementen eines Modells und eines Experiments. Für passende grafische Darstellungen wurden Effektstärken von  $d = 1,24$  ermittelt (s. [Marzano \(1998\)](#)).

## 5 Aufgaben

1. Wenden Sie das Höhlengleichnis auf die Stunde an.
2. Analysieren Sie, wie die Elemente des subjektiven Modellbildungsdreiecks in der Stunde realisiert sind.
3. Analysieren Sie, wie die Schüleraktivitäten der Modellbildung in der Stunde realisiert sind.
4. Analysieren Sie, ob die Elemente des objektiven Modellbildungsdreiecks in der Stunde realisiert sind.
5. Stellen Sie fest, inwieweit der Experimentierprozess in der Stunde umgesetzt wird.
6. Analysieren Sie, inwieweit die vier Aktivitäten im Unterrichtsprozess nach Mikelskis in der Stunde realisiert sind.
7. Analysieren Sie die vertikale Vernetzung der Modellbildung der Stunde.
8. Analysieren Sie die Vorentlastung und das Zeitmanagement der Stunde.


- 
- 1) Ein Cyanin-Farbstoff absorbiert optimal Licht der Wellenlänge  $\lambda = 536 \text{ nm}$ . Das Molekül ist stabförmig und  $a = 1,21 \text{ nm}$  lang. 8 Elektronen bewegen sich frei in diesem „Stab“.
    - a) Berechnen Sie die Energieniveaus nach dem linearen Potentialtopfmodell.
    - b) Berechnen Sie die Photonenenergie und deuten Sie diese.
    - c) Zeichnen Sie das lineare Potentialtopfmodell im Grundzustand.
    - d) Zeichnen Sie das lineare Potentialtopfmodell für den Moment der Absorption.
    - e) Begründen Sie, warum das lineare Potentialtopfmodell hier relativ gut funktioniert.
  - 2) Die Quecksilberdampfampe emittiert Licht mit den Wellenlängen  $404 \text{ nm}$ ,  $436 \text{ nm}$ ,  $546 \text{ nm}$  und  $579 \text{ nm}$ . Entscheiden Sie, ob diese Strahlung besser durch das lineare Potentialtopfmodell oder durch Energieniveaus erklärt werden kann.
  - 3) Vergleichen Sie das lineare Potentialtopfmodell für den Laser mit dem für das Elektron.

Abbildung 10: HA der Stunde.

## 6 Zusammenfassung

Das Gehirn bildet und testet permanent Modelle der Realität. Denn wir können immer nur Ausschnitte der Realität wahrnehmen. Im Physikunterricht können unsere SuS ihre angeborenen Modellbildungsfähigkeiten auf physikalische Modelle anwenden und fortentwickeln. Ich wünsche Ihnen, dass Ihre SuS in Ihrem Unterricht immer wieder ihre kreative Modellbildungsfähigkeit ausleben, ihre analytische Modellerprobungs-kompetenz anwenden, den Prozess metakognitiv reflektieren und dabei stets ein geschärftes Ockhamsches Rasiermesser zur Hand haben.

## Literatur

- [Achtermann 2009] ACHTERMANN, Karen u. a.: *Kerncurriculum für das Gymnasium - gymnasiale Oberstufe, die Gesamtschule - gymnasiale Oberstufe, das Fachgymnasium, das Abendgymnasium, das Kolleg, Chemie, Niedersachsen*. Hannover : Niedersächsisches Kultusministerium, 2009
- [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

- 
- [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
- [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
- [Gilbert u. Boulter 2003] GILBERT, John K. ; BOULTER, J. Carolyn: Learning Science Through Models and Modelling. In: FRASER, Barry J. (Hrsg.) ; TOBIN, Kenneth G. (Hrsg.): *International Handbook of Science Education*. Dordrecht : Kluwer, 2003
- [Haspas 1990] HASPAS, Kurt: *Methodik des Physikunterrichts*. Berlin : Volk und Wissen, 1990
- [Kircher u. a. 2001] KIRCHER, Ernst ; GIRWIDZ, Raimund ; HÄUSSLER, Peter: *Physikdidaktik*. 2. Berlin : Springer, 2001
- [Marzano 1998] MARZANO, Robert J.: *A Theory-Based Meta-Analysis of Research on Instruction*. Aurora, Colorado : Mid-continent Educational Laboratory, 1998 [www.mcrel.org](http://www.mcrel.org)
- [Mikelskis 2006] MIKELSKIS, Helmut: *Physik Didaktik*. Berlin : Cornelsen Skriptor, 2006
- [Mikelskis-Seifert 2005] MIKELSKIS-SEIFERT, Silke: *Denken in und mit Modellen - die oft vernachlässigte naturwissenschaftliche Arbeitsweise*. Institut für Pädagogik der Naturwissenschaften - Kiel : Piko-Brief Nr. 5, 2005
- [Mikelskis-Seifert u. Leisner-Bodenthin 2007] MIKELSKIS-SEIFERT, Silke ; LEISNER-BODENTHIN, Antje: Die Modellmethode. In: MIKELSKIS-SEIFERT, Silke (Hrsg.) ; RABE, Thorid (Hrsg.): *Physik Methodik*. Berlin : Cornelsen Skriptor, 2007
- [Popper 1974] POPPER, Karl: *Objektive Erkenntnis*. 2. Hamburg : Hoffmann und Campe, 1974
- [Rosenstock-Huessy 1968] ROSENSTOCK-HUESSY, Eugen: William Ockham. In: GROLIER (Hrsg.): *The American Peoples Encyclopedia* Bd. 19. New York : Grolier, 1968
- [Ruben 1990] RUBEN, David-Hillel: *Explaining Explanation*. London : Routledge, 1990
- [Schmidt 1990] SCHMIDT, Siegfried: *Der Diskurs des radikalen Konstruktivismus*. 2. Frankfurt : Suhrkamp, 1990
- [Störig 1985] STÖRIG, Hans J.: *Weltgeschichte der Philosophie*. 4. Stuttgart : Kohlhammer, 1985
- [Wagenschein 1999] WAGENSCHN, Martin: *Verstehen lehren*. Weinheim : Beltz Verlag, 1999