

Fachdidaktik Physik: 1.1.2. Methoden physikalischer Erkenntnisgewinnung

Hans-Otto Carmesin

Gymnasium Athenaeum Stade, Studienseminar Stade

Hans-Otto.Carmesin@t-online.de

16. März 2021

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	2
2	Bedeutung für den Physikunterricht	2
3	Induktive Methode	3
3.1	Definition	3
3.2	Induktive Methode als elementarer Bestandteil des menschlichen Denkens . . .	3
3.3	Weiterentwicklung der induktiven Methode beim Kind	4
3.4	Kritik der induktiven Methode	5
3.5	Anwendung im Unterricht: Entdeckung von Regelmäßigkeiten	6
4	Hypothetisch deduktive Methode	9
4.1	Definition	9
4.2	Beispiel	9
4.3	Kritik der hypothetisch deduktiven Methode	9
4.4	Anwendung im Unterricht: Hypothesen und Kontrollversuche	10
5	Paradigmenwechsel	12
5.1	Begriff	12
5.2	Kritik des Paradigmenwechsels	13
5.3	Anwendung im Unterricht: Kognitiver Konflikt	13
6	Aufgaben	16
7	Zusammenfassung	16

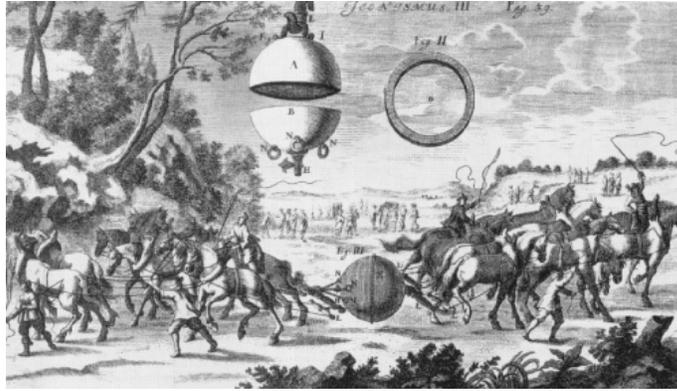


Abbildung 1: Der Magdeburger Bürgermeister und Physiker Otto von Guericke (1602 bis 1686) suchte nach der Antwort auf eine Frage und wandte dazu eine passende Methode der Erkenntnisgewinnung an: „Weil die Gelehrten nun schon seit langem über das Leere, ob es vorhanden sei, ob nicht, oder was es sei, gar heftig untereinander stritten (...) konnte ich mein brennendes Verlangen, die Wahrheit dieses fragwürdigen Etwas zu ergründen, nicht mehr eindämmen.“ (s. [Guericke \(1672\)](#))

1 Einleitung

Wenn die Schülerinnen und Schüler ein physikalisches Gesetz wie das Ohmsche Gesetz experimentell entdeckt haben, dann fragen sie durchaus, ob das Gesetz nun bewiesen sei. Wenn man physikalische Gesetze zuverlässig anwenden will, dann muss man die Methoden physikalischer Erkenntnisgewinnung beurteilen können. Diese Methoden müssen daher im Unterricht behandelt werden.

Das Aufstellen und Testen von Hypothesen, eine wichtige Vorgehensweise bei der physikalischen Erkenntnisgewinnung, hat eine sehr hohe Lernwirksamkeit mit einer Effektstärke¹ von $d=1,14$ (s. [Marzano \(1998\)](#)):.

2 Bedeutung für den Physikunterricht

Um die Methoden der Erkenntnisgewinnung wurde in der Philosophie heftig gestritten. „Die scholastische Methode bestand darin, dass man alle Fragen durch Berufung auf Autorität (die Bibel, Aristoteles, die Kirchenväter) und durch logische Deduktion aus diesen zu lösen suchte.“ (s. [Störig \(1985\)](#)) Dagegen forderte Roger Bacon (1214 bis 1294) die Natur mithilfe von Experimenten zu befragen. Damit war die Weichenstellung hin zur empirischen Wissenschaft vollzogen. Im Detail stellt sich jedoch die Frage, wie man aus den Experimenten Erkenntnisse gewinnt. Hierfür sind drei Methoden wichtig, die *induktive Methode*, die *hypothetisch deduktive Methode* und der *Paradigmenwechsel*.

¹In umfangreichen Metanalysen wurden für ganze Lehrverfahren Effektstärken bis zu 0,61 festgestellt. Für einzelne unterrichtliche Maßnahmen wurden Effektstärken bis 1,48 ermittelt. Effektstärken unter 0,4 gelten als pädagogisch wenig bedeutsam (s. die entsprechende Fachsitzung oder [Hattie \(2009\)](#)).

Im Physikunterricht werden diese drei Methoden bei geeigneten Beispielen angewendet und reflektiert. Dadurch können die Schülerinnen und Schüler durchschauen, wie die Erkenntnisse erzielt werden. So gewinnen die Erkenntnisse bei den Lernenden an Glaubwürdigkeit. Das ist auch aus neuronaler Sicht für den Lernprozess eine unabdingbare Voraussetzung (s. Roth (2006)). Entsprechend ist in den Kerncurricula die Erkenntnisgewinnung die wichtigste prozessbezogene Kompetenz. (s. Beime u. a. (2012); Brüning u. a. (2010); Frenzel (2017); Gehmann (2015)).

3 Induktive Methode

3.1 Definition

Bereits Aristoteles beschrieb die Ableitung einer allgemeinen Regel aus einzelnen Beobachtungen als wichtige Methode der Erkenntnisgewinnung (s. Störig (1985)). Dieser Weg heißt Induktion oder induktive Methode.

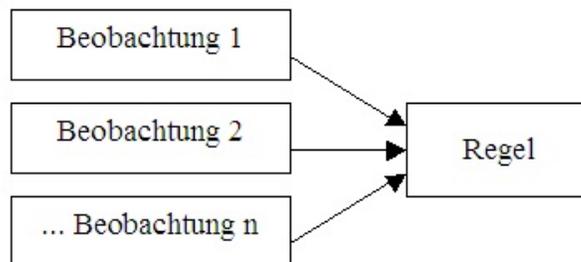


Abbildung 2: Grundschemata der induktiven Methode: Einzelbeobachtungen werden zu einer Regel zusammengefasst.

3.2 Induktive Methode als elementarer Bestandteil des menschlichen Denkens

Diese Methode gehört zur elementaren Grundausstattung des menschlichen Denkens. Beispielsweise macht ein Baby einzelne Versuche zur Hand-Auge-Koordination und entwickelt daraus teils **unbewusst** die allgemein angewendete Fähigkeit zum gezielten Greifen. Ein anderes Beispiel ist ein Kleinkind, das gezielt versucht, einen möglichst hohen Turm aus Bauklötzen zu bauen. Es erlernt aus einzelnen Versuchen allgemeine Regeln der Statik. Diese Regeln bleiben aber meist **unformuliert**.



Abbildung 3: Das Baby sieht die Kugel und versucht sie zu ergreifen. So entwickelt es unbewusst anhand einzelner Versuche seine Hand-Auge-Koordination. Diese wendet es später wie eine allgemeine Regel an.



Abbildung 4: Das Kleinkind macht einzelne Versuche zum Turmbau und erlernt so allgemeine Regeln der Statik.



Abbildung 5: Die SuS entdecken in Klasse 5, anhand einzelner Versuche die allgemeine Regel, dass gleichnamige magnetische Pole einander abstoßen.

3.3 Weiterentwicklung der induktiven Methode beim Kind

Im Physikunterricht der Klasse 5 wird die induktive Methode weiterentwickelt. Beispielsweise entdecken die SuS anhand einzelner Versuche, dass gleichnamige Magnetpole einander abstoßen. Solche Regeln werden nun **ausformuliert und schriftlich gesichert**.

Im weiteren Physikunterricht erkunden die SuS mithilfe der induktiven Methode auch **quantitative Zusammenhänge**. Beispielsweise entdecken sie in der Klassenstufe 7 oder 8 das Ohmsche Gesetz. Dazu tragen die SuS die Stromstärke abhängig von der Spannung im Koordinatensystem auf. Sie legen eine Ausgleichsgerade durch die Datenpunkte. Sie deuten diese

trotz kleiner Abweichungen als Ursprungsgerade. Entsprechend folgern sie auf der Grundlage einzelner teils ungenauer Messungen die Proportionalität von Stromstärke und Spannung.

Mit fortschreitenden sprachlichen, mathematischen und naturwissenschaftlichen Fähigkeiten entdecken, beschreiben und nutzen die SuS immer umfassendere Regeln sowie **Systeme von Regeln**.

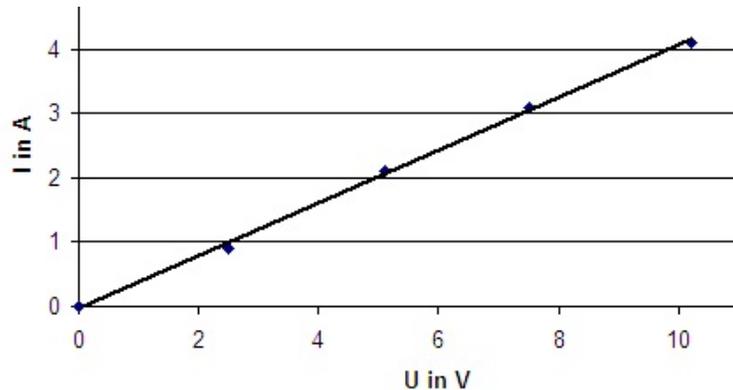


Abbildung 6: Die SuS tragen die Stromstärke abhängig von der Spannung im Koordinatensystem auf. Sie gewinnen daraus mithilfe der induktiven Methode die Proportionalität von Stromstärke und Spannung.

3.4 Kritik der induktiven Methode

Im Physikunterricht beginnen die SuS die Methoden der Erkenntnisgewinnung zu reflektieren und zu hinterfragen. Zum einen zeigen die obigen Beispiele, wie grundlegend diese Methode für die Entwicklung des Kindes ist. Zum anderen erkennt man leicht Grenzen der Methode:

Die Natur macht Sprünge. Bei der induktiven Methode führt man einige Versuche durch und formuliert eine allgemeine Regel. Diese Regel gilt nur dann allgemein, wenn die Natur sich immer nach dieser Regel verhält, d. h., wenn die „Natur keine Sprünge macht“.

Die Abbildung zum Ohmschen Gesetz scheint das zu bestätigen. Die Ursprungsgerade scheint zu passen.

Bei einem Phasenübergang kommt es jedoch zu Sprüngen. Beispielsweise macht die Temperatur abhängig von der Dauer des Erhitzens einer Wassermenge einen Knick, wenn das Wasser verdampft. Trägt man beim gleichen Versuch die aufgenommene Energie abhängig von der Temperatur auf, so macht die Natur sogar einen Sprung.

Das Beispiel zeigt auch schon, wie man dennoch mit der induktiven Methode arbeiten kann. Die gewonnenen Regeln erhalten einen Gültigkeitsbereich.

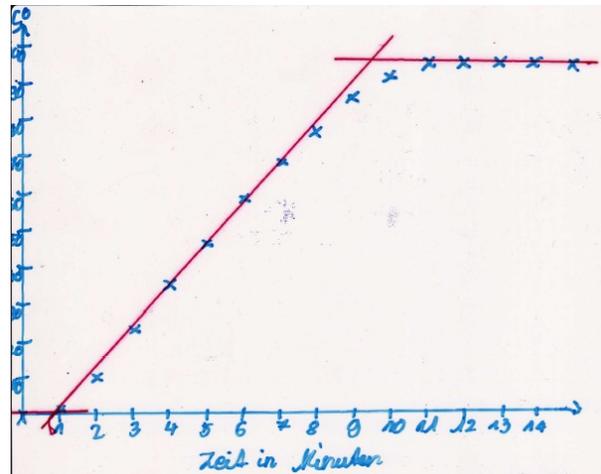


Abbildung 7: Die SuS tragen die Temperatur (unvollständig beschriftete Hochachse) abhängig von der Dauer des Erhitzens von Wasser im Koordinatensystem auf. Sie entdecken einen Knick.

3.5 Anwendung im Unterricht: Entdeckung von Regelmäßigkeiten

Die SuS haben bereits langjährige Erfahrungen mit der induktiven Methode. Effektiver Unterricht knüpft daran an. Auch wird die induktive Methode auf zunehmend komplexere Fragestellungen angewendet und kompetenzfördernd reflektiert. Ein Beispiel zeigt die Stunde zum Ohmschen Gesetz.

Kurzentwurf für eine Physikstunde

Athenaeum

PH8f3

Thema der Unterrichtssequenz: Elektrischer Widerstand

Entdecken der Gefahren elektrischen Stroms

Entdecken des Ohm'schen Gesetzes

Didaktik: SLZ: Die SuS sollen das Ohm'sche Gesetz in Bezug auf Gefahren des elektrischen Stroms erläutern und begründen können.

Inhaltliche Aspekte	Verhaltensaspekte dazu
LV: Stromstärke	Erläutern, Messen
LV: Spannung	Erläutern, Messen
LV: Gefahren im Stromkreis	Erläutern
TLZ: $I \sim U$	Erläutern, Begründen
TLZ: Gefährliche Stromstärke	Erläutern, Berechnen

Methodik: Dominantes Lehrverfahren: Problemlösend

Zeit	Didaktische Erläuterungen	Methodische Erläuterungen	Sozialform
8	<u>Einstieg:</u> gefährliche Spannung?	Einstiegsfolie	LSG
10	<u>Problemstellung:</u> $I < 20 \text{ mA}$	Leitfrage	LSG
15	<u>Analyse:</u> Vermutungen, Versuchsplanung	Vorschlagen	MuG
35	<u>Lösung:</u> $U \sim I$	SE, Durchführen, Auswerten, themendifferenziert	GA
43	<u>Sicherung:</u> s. TA	OHP	SV
	Alternatives Stundenende		
45	<u>Festigung:</u> AB	HA	LSG

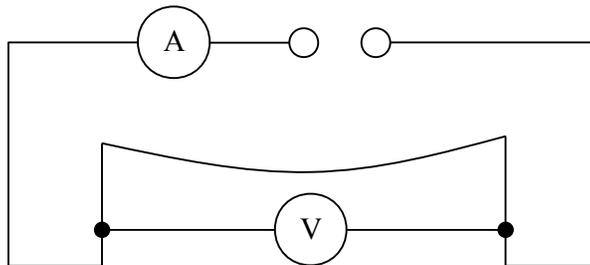
Geplanter TA

Welche Spannung ist für den Menschen gefährlich und verursacht $I = 20 \text{ mA}$?

Vermutungen: $U = 20 \text{ V}$ richtig

$I \sim U$ richtig

Versuchsskizze

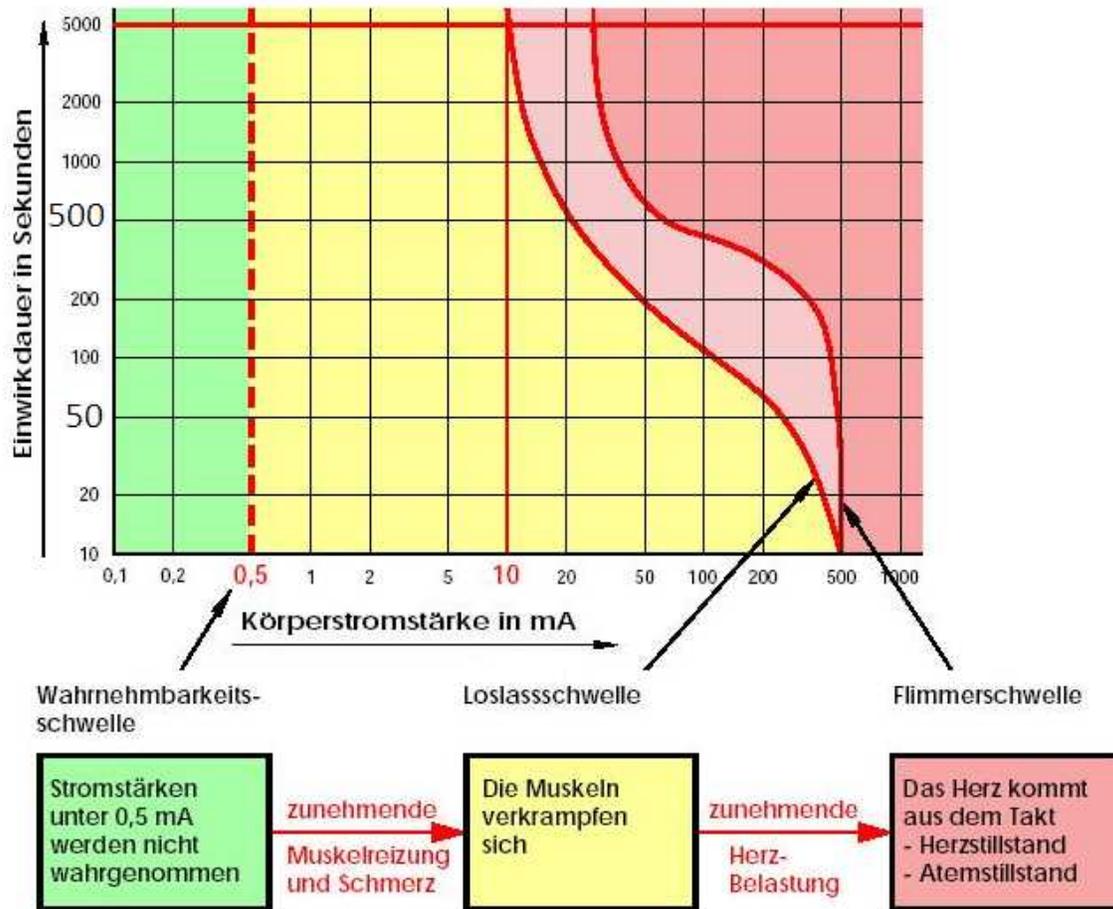


U in V	0	2,5	5,1	7,5	10,2
I in A	0	0,9	2,1	3,1	4,1

$$\begin{array}{ccc}
 5\text{V} & \rightarrow & 5 \text{ mA} \\
 \cdot 4 \downarrow & & \downarrow \cdot 4 \\
 20 \text{ V} & \rightarrow & 20 \text{ mA}
 \end{array}$$

Ergebnisse:

- Die Stromstärke ist proportional zur Spannung. Diese Proportionalität heißt Ohm'sches Gesetz.
- Spannungen ab 20 V werden für den Menschen gefährlich.



Die Spannung 5 V kann einen Strom von 5 mA durch den menschlichen Körper verursachen.

4 Hypothetisch deduktive Methode

4.1 Definition

In der Physik werden viele Erkenntnisse entwickelt, die man nicht mithilfe der induktiven Methode direkt aus Experimenten gewinnen kann. Beispielsweise stellt man sich Licht als Welle vor, obwohl man in keinem Versuch eine Lichtwelle sieht. Dennoch hat sich das Wellenmodell des Lichts bei vielen Versuchen bewährt. Für derartige Erkenntnisse schlug Popper die hypothetisch deduktive Methode vor (s. Popper (1974)):

1. Eine physikalische Erkenntnis wird hypothetisch vorgeschlagen.
2. Aus der Hypothese wird eine experimentell überprüfbare Folgerung deduziert.
3. Die Folgerung wird experimentell überprüft. Tritt die Vorhersage ein, so hat sich die Hypothese bewährt. Tritt die Vorhersage nicht ein, so ist die Hypothese falsifiziert.

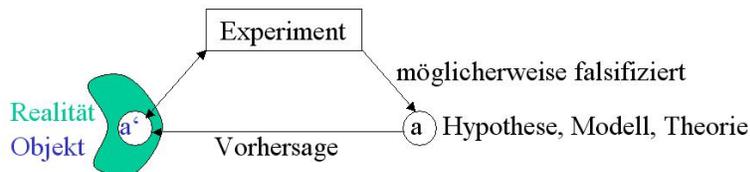


Abbildung 8: Hypothetisch deduktive Methode: Aus der Hypothese wird eine Vorhersage deduziert. Das Experiment überprüft diese. So entsteht Erkenntnis über das Objekt (s. Kircher u. a. (2001)).

4.2 Beispiel

Im obigen Beispiel ist die Hypothese das Wellenmodell des Lichts. Eine Folgerung ist die Brechung der Welle an einer ebenen Grenzfläche, sowie das Brechungsgesetz nach Snellius. Im Versuch tritt die Folgerung ein und die Hypothese hat sich bewährt.

Eine weitere Folgerung ist die Beugung am Doppelspalt. Im Versuch tritt die Folgerung ein und die Hypothese hat sich erneut bewährt.

Weder mit diesem noch mit irgend einem anderen Verfahren kann eine Hypothese bewiesen werden, sie kann sich nur bewähren. Es bleibt immer die Möglichkeit, dass die Hypothese bei einem zukünftigen Experiment falsifiziert wird.

Im obigen Beispiel ist eine weitere Folgerung des Wellenmodells des Lichts, dass der Photoeffekt auch mit rotem Licht funktionieren muss, wenn die Intensität des Lichts nur hinreichend gesteigert wird. Im Versuch tritt diese Folgerung nicht ein. Damit ist das Wellenmodell des Lichts falsifiziert.

4.3 Kritik der hypothetisch deduktiven Methode

Nutzen der Methode Die hypothetisch deduktive Methode bietet einen Rahmen zur Beurteilung modellhafter physikalischer Erkenntnisse. Solche Erkenntnisse sind zahlreich und aussagekräftig. Daher ist diese Methode wichtig.

Falsifizierte Erkenntnisse werden mit begrenztem Gültigkeitsbereich weiterhin verwendet. Beispielsweise wird das Wellenmodell des Lichts häufig verwendet. Auch wird die Newtonsche Mechanik verwendet, obwohl ihre Gültigkeit durch die Relativitätstheorie und die Quantentheorie eingeschränkt ist.

Die hypothetisch deduktive Methode gibt keine Qualitätskriterien für Theorien an. Beispielsweise wird das Prinzip der Einfachheit nicht gewertet, obwohl es eine wesentliche Grundlage für die Anwendung der Newtonschen Axiome oder des Modells des Lichtstrahls ist. Auch ist das Prinzip der Einfachheit ein wichtiges Qualitätsmerkmal einer guten Theorie (s. [Rosenstock-Huessy \(1968\)](#)), denn einfache Theorien haben Vorteile bei der Verallgemeinerbarkeit. Ferner werden Symmetrien nicht gewertet, obwohl sie beispielsweise bei der Umkehrbarkeit des Lichtweges wichtig sind.

Die hypothetisch deduktive Methode gibt keine vollständigen Kriterien für die Einführung einer neuen Erkenntnis an. Beispielsweise propagierten Hook und Huygens die Wellentheorie des Lichts, konnten sich aber nicht gegen Newtons damals weniger leistungsfähige Auffassung von Lichtteilchen durchsetzen.

4.4 Anwendung im Unterricht: Hypothesen und Kontrollversuche

Viele Vermutungen, welche die Natur modellhaft beschreiben oder die Natur anders zu erklären versuchen stellen eine Hypothese im Sinne der hypothetisch deduktiven Methode dar. Jede Art von Kontrollversuchen, die wir im Unterricht durchführen, entsprechen dem Prinzip der hypothetisch deduktiven Methode. Ein Beispiel zeigt der Kurzentwurf zur Absorptionslinie bei Natrium.

Kurzentwurf für eine Physikstunde

Thema der Unterrichtseinheit: Atomphysik

Entdeckung der Größe der Atomhülle

Entdeckung der Größe des Atomkerns

Entdeckung des Linienspektrums

Deutung des Linienspektrums mithilfe elektronischer Energieniveaus

Entdeckung und Deutung der Emission und Absorption bei Natrium

Didaktik: SLZ: Die SuS sollen die Emission und Absorption bei der D-Linie des Natriums beschreiben und mithilfe zweier elektronischer Energieniveaus deuten können.

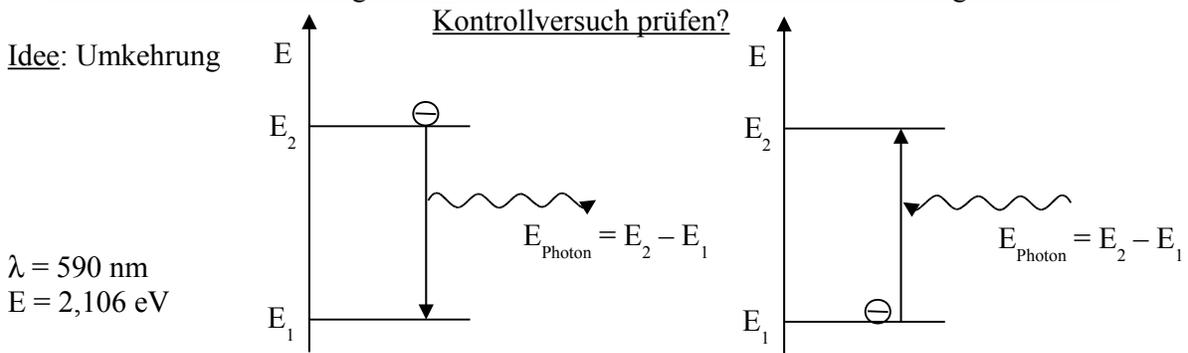
Inhaltliche Aspekte	Verhaltensaspekte dazu
LV: Linienspektrum von Hg	Erläutern
LV: Energieniveaudiagramm	Erläutern, Anwenden
LV: Photonenergie	Erläutern, Berechnen
TLZ: Emission & Absorption der D-Linie	Beschreiben
TLZ: Emission & Absorption der D-Linie	Deuten

Methodik: Dominantes Lehrverfahren: Problemlösend

Zeit	Didaktische Erläuterungen	Methodische Erläuterungen	Sozialform
5	<u>Hinführung:</u> Wdh.		LSG
10	<u>Problemstellung:</u>	Leitfrage	LSG
15	<u>Analyse:</u> Energiestufendiagramm	TA, Vermutung zur Absorption, Kontrollversuch Planen	MuG
30	<u>Lösung:</u> Versuch	Durchführen, Berechnen von E	GA
40	<u>Sicherung:</u> s.u.	SV Ergebnis	SV
45	<u>Festigung:</u> AB	Auch HA	EA

Geplanter TA

Wie können wir das Energieniveaumodell zur atomaren Photonausstrahlung durch einen

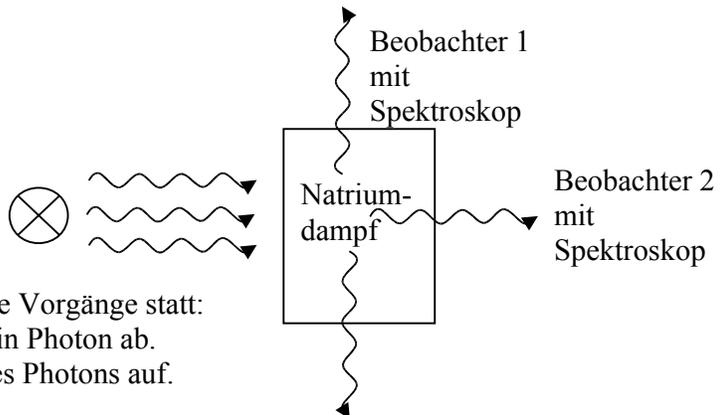


Versuchsskizze:

Beobachtungen:

Beobachter 1 sieht helle Linien.

Beobachter 2 sieht dunkle Linien.



Deutung: Beim Natrium finden beide Vorgänge statt:

Ein Elektron gibt seine Energie an ein Photon ab.

Ein Elektron nimmt die Energie eines Photons auf.

5 Paradigmenwechsel

5.1 Begriff

In der Wissenschaft wurden bereits mehrmals grundlegende Vorstellungen gewechselt. Beispiele sind:

1. Wechsel vom geozentrischen zum heliozentrischen Weltbild
2. Wechsel von der Newtonschen Mechanik zur Quantenmechanik
3. Wechsel vom gleichmäßigen Verlauf der Zeit zur Abhängigkeit des Gangs der Uhren von der Geschwindigkeit und der Masse in der Relativitätstheorie
4. Wechsel vom Strahlenmodell des Lichts zum Wellenmodell des Lichts
5. Wechsel vom Wellenmodell des Lichts zum Teilchenmodell des Lichts und zum Wellen-Teilchen-Dualismus
6. Wechsel vom Teilchenmodell des Elektrons zum Wellenmodell und zum Wellen-Teilchen-Dualismus

Zeiträume, in denen solche grundlegenden Wechsel von Vorstellungen stattfinden, beschreibt Thomas Kuhn als Perioden eines abrupten Umbruchs (s. [Störig \(1985\)](#), S. 668-669). Solche Perioden stehen im Gegensatz zu Perioden, in denen sich die Wissenschaft in einem allgemein akzeptierten Rahmen weiterentwickelt. In den Umbruchzeiten ordnen sich die Wissenschaftler der neuen oder der alten Lehre zu, obwohl es keine zwingende oder gar vollständige Information gibt. Das zeigen die Abschnitte über die induktive sowie die hypothetisch deduktive Methode. Während des Umbruchs werden auch Überredungskünste und rhetorische Tricks wie Legenden verwendet, um Anhänger zu gewinnen. Beispielsweise verbreitete Newton erfolgreich die Legende, er habe den Mond und einen fallenden Apfel gesehen und dabei habe er erkannt, dass beide durch die gleiche Schwerkraft von der Erde angezogen werden. Im Gegensatz zu dieser Legende zur Schwerkraft haben seine empirischen Beobachtungen viel weniger Überzeugungskraft, denn er konnte nur zwei Datenpunkte zur Begründung des $\frac{1}{r^2}$ -Gesetzes der Schwerkraft aufbringen (s. [Carmesin \(2006\)](#)). Zudem stammt das so genannte „Newtonsche Gravitationsgesetz“ vermutlich von Hooke, nicht von Newton (s. [O'Connor u. Robertson \(2002\)](#)).



Abbildung 9: Newton machte die Legende bekannt, er habe durch Beobachten eines Apfels und des Mondes erkannt, dass beide von der Erde durch die Schwerkraft angezogen werden.

5.2 Kritik des Paradigmenwechsels

Kuhns Ausführungen über den Paradigmenwechsel erklären nicht, wie bei den angewendeten Überredungskünsten wissenschaftlicher Fortschritt zustande kam. Auch erklären die Überredungskünste alleine nicht die offensichtliche Bedeutung von Experimenten bei der Erkenntnisgewinnung. Kuhns Ausführungen führten dazu, dass man mit Hilfe von Kontexten Begriffe schafft, die in der alten und in der neuen Theorie zuverlässig anwendbar sind (s. [Rose \(2004\)](#), S. 303).

5.3 Anwendung im Unterricht: Kognitiver Konflikt

In der Wissenschaft verteilen sich die verschiedenen Paradigmenwechsel auf viele Jahrhunderte. Die Schülerinnen und Schüler erleben in ihrem Physikunterricht subjektiv entsprechende Konzeptwechsel während ihrer deutlich kürzeren Schullaufbahn. Daher ist die Methode der Erkenntnisgewinnung durch Paradigmenwechsel für den Physikunterricht hilfreich.

Hier ist das Prinzip des kognitiven Konflikts hilfreich: Die SuS gehen mit ihrem Basiskonzept in den Unterricht. Dieses wird durch einen Versuch falsifiziert, das stellt für die SuS einen kognitiven Konflikt dar. Die SuS entwickeln unterstützt durch die Lehrkraft ein neues Konzept, das den Versuch erklären kann. Ein Beispiel ist die dargestellte Stunde zur Entdeckung der Welleneigenschaft des Elektrons.

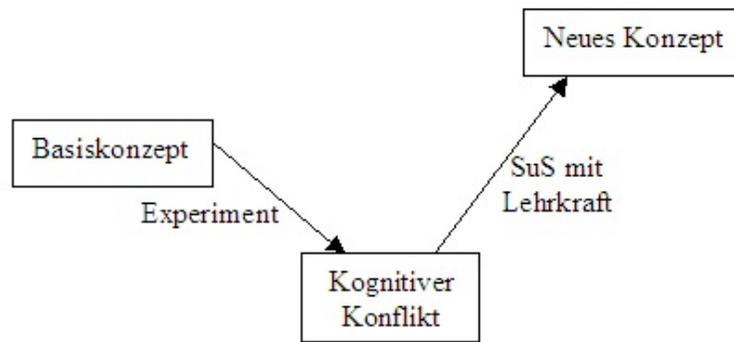


Abbildung 10: Kognitiver Konflikt: Im Unterricht wird ein Paradigmenwechsel wirksam durch den kognitiven Konflikt angestoßen.

Kurzentwurf für eine Physikstunde

Athenaeum

PH EN 12

Thema der Unterrichtssequenz: Materiewellen

Entdeckung der Welleneigenschaft von Elektronen

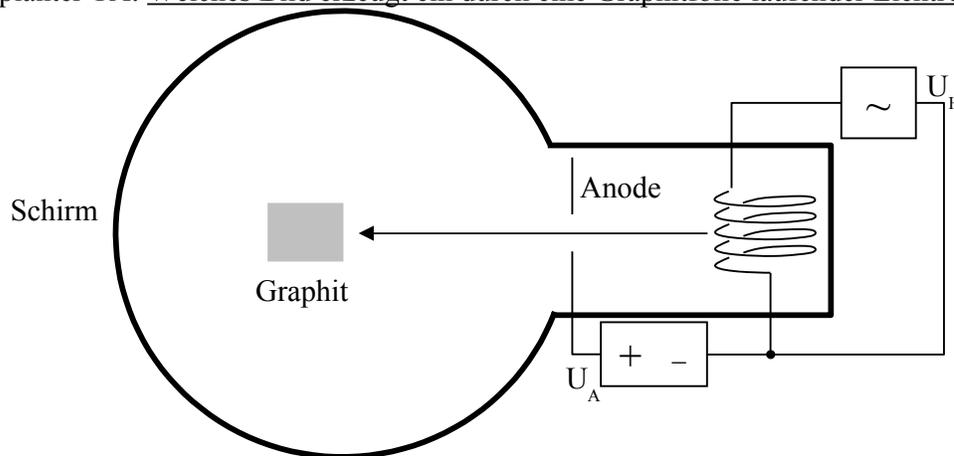
Didaktik: SLZ: Die SuS sollen die Wellennatur von Elektronen begründen können.

Inhaltliche Aspekte	Verhaltensaspekte dazu
Lernvoraussetzung: Beugung von Röntgenstrahlen	Erläutern
Lernvoraussetzung: Bragg-Bedingung	Erläutern, Anwenden
Lernvoraussetzung: Pulvermethode	Erläutern, Anwenden
Teillernziel: Wellennatur von Elektronen	Begründen
Teillernziel: Wellenlänge von Elektronen	Bestimmen

Methodik: Dominantes Lehrverfahren: Entdeckenlassend

Zeit	Didaktische Erläuterungen	Methodische Erläuterungen	Sozialform
5	<u>Hinführung:</u> DE	Beschreiben	LSG
7	<u>Problemstellung:</u> Leitfrage	Entwickeln	LSG
15	<u>Analyse:</u> kognitiver Konflikt, Ideen	SuS vermuten und schlagen vor	MuG
35	<u>Lösung:</u> λ	Auswertung	GA
40	<u>Sicherung:</u> s.u.	SV, Reflexion, Deutung	SV
45	<u>Konsolidierung:</u> r für andere U	HA: λ berechnen	EA

Geplanter TA: Welches Bild erzeugt ein durch eine Graphitfolie laufender Elektronenstrahl?



Vermutungen: Verschwommener Fleck, denn die Elektronen werden zufällig etwas abgelenkt.

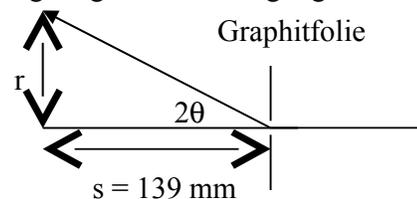
Beobachtung: Am Schirm entstehen konzentrische Ringe. **WARUM?**

Deutung: Die Elektronen verhalten sich hier wie Wellen, die an der Graphitfolie gebeugt werden. Denn die Ringe sehen genauso aus, wie die Beugungsringe bei der Beugung von Röntgenstrahlen nach der Pulvermethode.

Messwerte: Die Radien sind $r_1 = 1,7 \text{ cm}$ und $r_2 = 2,9 \text{ cm}$, bei $U_A = 2,9 \text{ kV}$.

Netzebenenabstand: $d_1 = 0,213 \text{ nm}$ & $d_2 = 0,123 \text{ nm}$

Auswertung: $\lambda = ?$



Geplante Schülerfolie: $2 \cdot d \cdot \sin(\theta) = n \cdot \lambda$ mit $n = 1 \rightarrow \lambda = 2 \cdot d \cdot \sin(0,5 \cdot \arctan[r/s])$

$\lambda = 25,9 \text{ pm}$ für r_1

$\lambda = 25,3 \text{ pm}$ für r_2

6 Aufgaben

1. Analysieren Sie die vorgeschlagene Stunde zu *Ohmschen Gesetz* bezüglich der Anforderungsbereiche und des Diagramms zur induktiven Methode.
2. Analysieren Sie die vorgeschlagene Stunde zur *Entdeckung der Welleneigenschaft des Elektrons* bezüglich der Anforderungsbereiche und des Diagramms zum kognitiven Konflikt.
3. Analysieren Sie die vorgeschlagene Stunde zur *Lichtabsorption bei Natrium* bezüglich der Anforderungsbereiche und des Diagramms zur hypothetisch deduktiven Methode.
4. Entwerfen Sie je eine Stunde zu den drei Methoden der Erkenntnisgewinnung.
5. Begründen Sie, warum eine von den SuS selbstständig gewonnene Erkenntnis wesentlich wertvoller ist als eine von den SuS lediglich gelernte oder zur Kenntnis genommene Erkenntnis.

7 Zusammenfassung

Bereits im Säuglingsalter setzen die Kinder Methoden zur Erkenntnisgewinnung ein. In Ihrem Unterricht können Sie Ihre SuS zur Weiterentwicklung dieser Methoden anregen. Das führt bis zur induktiven Entdeckung umfassender Systeme von Regeln, zur hypothetisch deduktiven Methode und zum Paradigmenwechsel. Die Nutzung vorhandener Erkenntnisgewinnungskompetenzen der SuS verspricht eine hohe Effektivität des Lernprozesses. Das Vermitteln progressiver Methoden zur Erkenntnisgewinnung und das Reflektieren darüber macht Ihren Unterricht besonders gehaltvoll, glaubwürdig und interessant. Ich wünsche Ihnen mit Ihren SuS viele neue selbstständig und bewusst gewonnene Erkenntnisse.

Literatur

[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

[Carmesin 2006] CARMESIN, Hans-Otto: Entdeckungen im Physikunterricht durch Beobachtungen des Himmels. In: NORDMEIER, Volker (Hrsg.) ; OBERLÄNDER, Arne (Hrsg.) ; Deutsche Physikalische Gesellschaft (Veranst.): *Tagungs-CD Fachdidaktik Physik, ISBN 978-386541-190-7*. Berlin : Deutsche Physikalische Gesellschaft, 2006

-
- [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
- [Guericke 1672] GUERICKE, Otto v.: *EXPERIMENTA Nova (ut vocantur) Magdeburgica DE VACUO SPATIO*. Amsterdam, 1672
- [Hattie 2009] HATTIE, John: *Visible Learning*. London : Taylor and Francis Ltd, 2009
- [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
- [O'Connor u. Robertson 2002] O'CONNOR, J. ; ROBERTSON, E.: *Robert Hooke*. Download 2011. <http://www-history.mcs.st-andrews.ac.uk/Biographies/Hooke.html>. Version: 2002
- [Popper 1974] POPPER, Karl: *Objektive Erkenntnis*. 2. Hamburg : Hoffmann und Campe, 1974
- [Rose 2004] ROSE, Uwe: *Thomas S. Kuhn: Verständnis und Mißverständnis Zur Geschichte seiner Rezeption*, Universität Göttingen, Diss., 2004
- [Rosenstock-Huessy 1968] ROSENSTOCK-HUESSY, Eugen: William Ockham. In: GROLIER (Hrsg.): *The American Peoples Encyclopedia* Bd. 19. New York : Grolier, 1968
- [Roth 2006] ROTH, Gerhard: Möglichkeiten und Grenzen von Wissensvermittlung und Wissenserwerb. In: CASPARI, Ralf (Hrsg.): *Lernen und Gehirn*. Freiburg : Herder, 2006, S. 54–69
- [Störig 1985] STÖRIG, Hans J.: *Weltgeschichte der Philosophie*. 4. Stuttgart : Kohlhammer, 1985