

Fachdidaktik Physik: 1.3.1. Erarbeitender Physikunterricht und Aufgabenkultur

Hans-Otto Carmesin

Gymnasium Athenaeum Stade, Studienseminar Stade

Hans-Otto.Carmesin@t-online.de

16. März 2021

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	2
2	FS Aufgabenkultur	3
2.1	Wir geben Aufgaben einen sinnvollen Kontext	4
2.2	Wir stellen beispielhafte Aufgaben	5
2.3	Wir geben Aufgaben einen Sinn im Lernprozess	6
2.4	Wir richten Aufgaben auf die Kompetenzen hin aus	7
2.5	Wir stellen Aufgaben zum Lernen	8
2.6	Wir stellen Aufgaben zum Üben	9
2.7	Wir stellen Aufgaben zum Vernetzen	10
2.8	Wir strukturieren Aufgaben	12
2.9	Wir öffnen und schließen Aufgaben	13
2.10	Wir gestalten Aufgaben binnendifferenziert	15
2.11	Wir integrieren Experimente in Aufgaben	16
2.12	Wir integrieren die Aufgaben in den Unterricht	16
3	Aufgebend erarbeitendes Lehrverfahren	16
3.1	Stimmige Voraussetzung	16
3.2	Phasenstruktur	16
3.3	Vorteile	17
3.4	Variante: Ausgearbeitetes Beispiel	22
3.5	Variante: Fragend erarbeitendes Verfahren	22
4	Aufgaben	24
5	Zusammenfassung	24

1 Einleitung

Die Aufgabe ist ein klassisches Mittel zur Anregung von Schüleraktivität. Eine anspruchsvolle Schüleraktivität ist aus konstruktivistischer Sicht (s. Schmidt (1990)) eine wesentliche Basis des Lernprozesses. Auch aus Sicht der Hirnforschung (s. Brand u. Markowitsch (2009)) ist die Aktivität des Gehirns wesentlich für die Veränderung synaptischer Verbindungen und für Lernen. Aus der Perspektive der Lernwirksamkeit können anregende Aufgaben effektiv sein, so wurde hier eine hohe Effektstärke¹ von $d = 1,23$ festgestellt (s. Hattie (2009)). Daher bleibt das Stellen von Aufgaben auch im modernen Unterricht hochaktuell und muss weiterentwickelt und professionalisiert werden. Auch in der neueren Literatur wird dem professionellen Entwickeln und Stellen von Aufgaben viel Beachtung geschenkt; man redet dann gerne von der Aufgabekultur (s. Leisen (2007); Leuders (2005) und Abschnitt 2).

Wenn Aufgaben im Unterricht gestellt werden, so bietet sich das aufgebend erarbeitende Lehrverfahren an (s. Horn (2009) und Abschnitt 3).

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)).

2 FS Aufgabenkultur

26.11.2012

15 min: EINSTIEG: LSG, TA, 12 wesentliche Maßnahmen der Aufgabenkultur

1. Wir geben Aufgaben einen sinnvollen **Kontext**.
2. Wir stellen Aufgaben, die beispielhaft im Sinne des **exemplarischen Lernens** sind.
3. Wir geben Aufgaben einen Sinn in Bezug auf den **Lernprozess**.
4. Wir richten Aufgaben auf die **Kompetenzen** hin aus.
5. Wir stellen Aufgaben, an denen die SuS etwas **Neues** lernen.
6. Wir stellen Aufgaben zum **Üben**.
7. Wir stellen Aufgaben, an denen die SuS etwas Gelerntes **vernetzen** können.
8. Wir **strukturieren** Aufgaben ansatzweise oder durchgängig.
9. Wir **öffnen und schließen** Aufgaben.
10. Wir gestalten Aufgaben **binnendifferenziert**.
11. Wir integrieren **Experimente und physikalische Methoden** in Aufgaben.
12. Wir integrieren die Aufgaben in den **Unterricht**.

90 min: GA: wenigstens je zwei Maßnahmen, mit Bezug zu eigenen unterrichtlichen Erfahrungen oder vermutetem oder erwartetem Schülerverhalten. Material: Physikbücher

30 min: SV, Diskussion, Reflexion: Hohe Vielfalt ermöglicht gezieltes Eingehen auf SuS, Kompetenzen, Progression, Lernwirksamkeit und Lernziele Wichtig dazu sind didaktische Analyse und methodische Aufbereitung.

2.1 Wir geben Aufgaben einen sinnvollen Kontext

Ein guter Schüler² ist dann bereit etwas zu lernen, wenn er überzeugt davon ist, dass er etwas für sein Leben oder für sein Weltverständnis Sinnvolles lernt. Daher sollten wir für jede Aufgabe einen interessanten Kontext wählen (s. Gudjons (1997); Muckenfuß (1995)). Beispielsweise wird mit der folgenden Aufgabe zum freien Fall dessen begrenzter Gültigkeitsbereich sowie dessen inhärente Idealisierung behandelt.

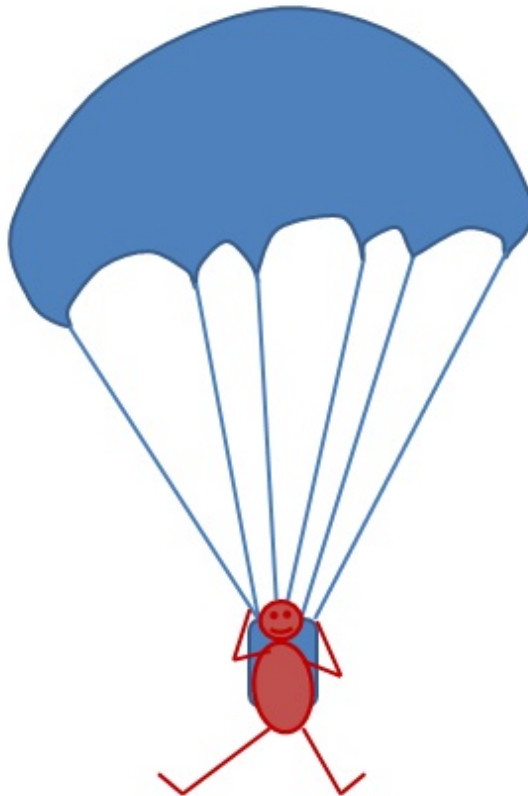


Abbildung 1: Fallschirmspringerin: Wie entwickelt sich die Geschwindigkeit?

²Hier und im Folgenden ist in solchen Fällen immer auch die weibliche Form gemeint.

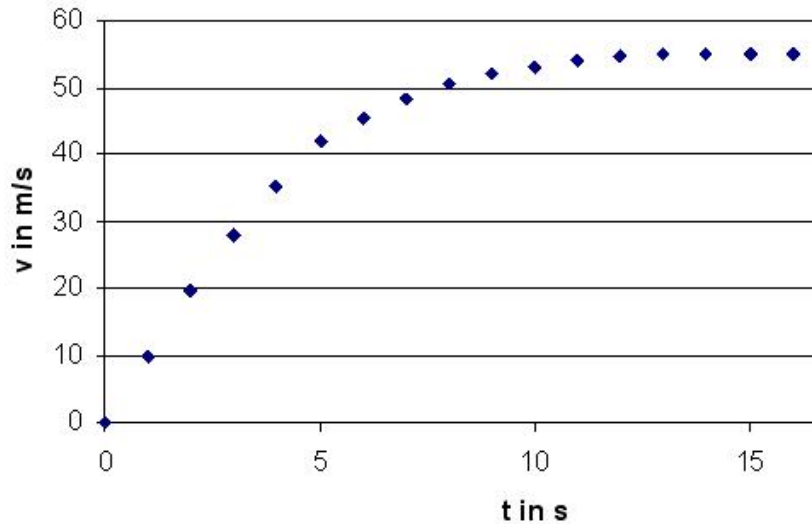


Abbildung 2: Aufgabe: Für eine Fallschirmspringerin mit verpacktem Fallschirm ist die Geschwindigkeit abhängig von der Zeit dargestellt. (a) Bestimme den Zeitpunkt des Absprungs. (b) Beschreibe die Geschwindigkeitszunahme während der ersten drei Sekunden. (c) Deute den weiteren Verlauf! (d) Bestimme die Geschwindigkeit, die sie ohne Luftwiderstand nach 15 s Falldauer erreicht hätte.

2.2 Wir stellen beispielhafte Aufgaben

Wenn wir die SuS eine Aufgabe bearbeiten lassen, dann ist der Lernzuwachs um so größer, je besser das Gelernte auf andere Situationen anwendbar und verallgemeinerbar ist, d. h. je mehr die Aufgabe beispielhaft ist, auch im Sinne des exemplarischen Lernens (s. [Wagenschein \(1999\)](#)). Beispielsweise ist die Aufgabe zum Streckenradar auf beliebige Situationen mit mittleren Geschwindigkeiten generalisierbar.

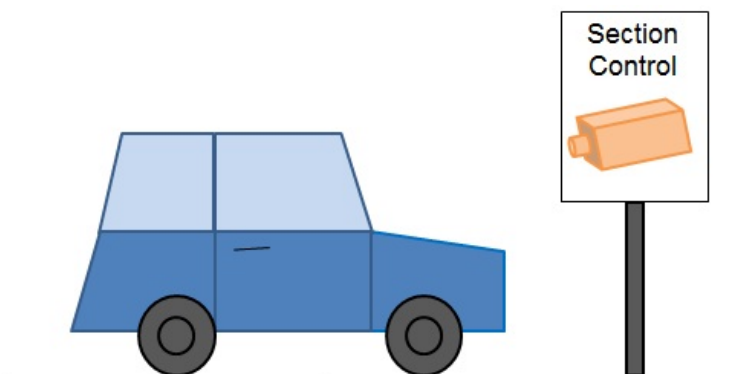


Abbildung 3: Aufgabe: Ein Auto fährt durch ein Streckenradar. Der zurückgelegte Weg ist in der Tabelle dargestellt. Berechne die vom Streckenradar ermittelte Geschwindigkeit!

t in s	0	20	40	60
t in m	0	900	1400	1800

2.3 Wir geben Aufgaben einen Sinn im Lernprozess

Wenn die SuS merken, dass eine Aufgabe ihren Lernprozess voranbringt, dann können sie den Sinn der Aufgabe nachvollziehen. Die daraus resultierende Motivation begünstigt den Lernprozess ebenso wie die für den Prozess funktionale Aufgabe. Die folgende Aufgabe zu den Mondphasen festigt das Gelernte auf intelligente Weise. Denn die SuS müssen hier ihr Wissen, dass der Mond im Osten auf- und im Westen untergeht, dazu nutzen um aus der Horizontnähe eine dieser beiden Himmelsrichtungen zu folgern. Die meisten SuS dürften diese beiden Möglichkeiten eingrenzen, einige können sich eindeutig entscheiden: Gemalt ist ein aufgehender oder ein untergehender Sichelmond. Die Orientierung der Sichel zeigt, dass die Sonne links unterhalb des Mondes und unterhalb des Horizonts steht. Die Skizze zeigt, dass dies zum aufgehenden Sichelmond passt, nicht aber zum untergehenden Sichelmond, welcher bei untergegangener Sonne links der Sonne stünde.



Abbildung 4: Aufgabe: Der Maler Spitzweg nimmt im Bild eine Blickrichtung zum Mond hinein. Bestimme die Himmelsrichtung, in die Spitzweg blickt.

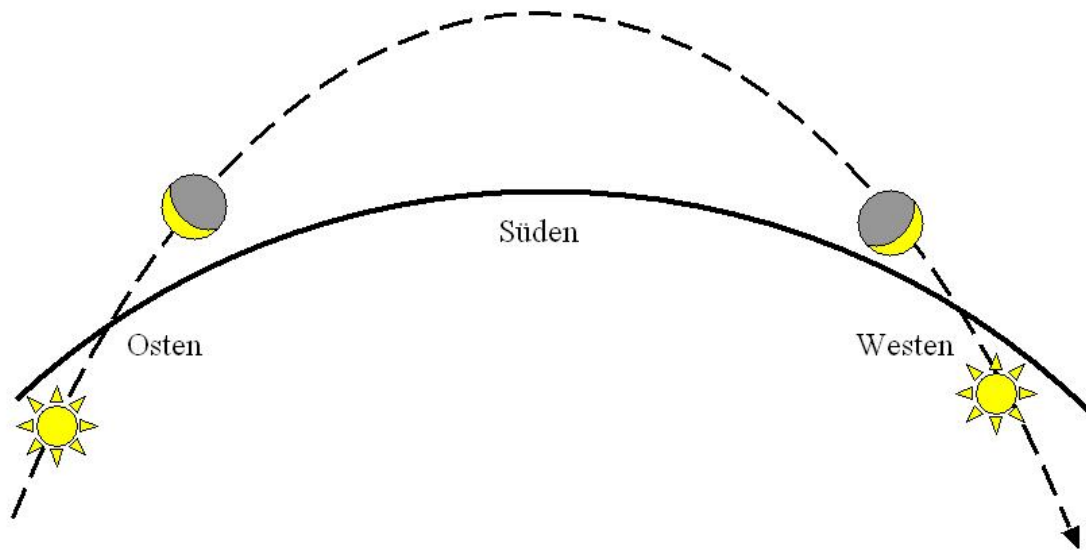


Abbildung 5: Sichelmond am Horizont (durchgezogene Linie) mit Bahnverlauf (gestrichelt): Bei dem im Osten aufgehenden Sichelmond steht die Sonne links des Mondes, wogegen sie bei dem im Westen untergehenden Mond rechts steht. Also geht die Blickrichtung im Bild nach Westen.

2.4 Wir richten Aufgaben auf die Kompetenzen hin aus

Damit wir die Kompetenzentwicklung auch mit Aufgaben optimal fördern, orientieren wir uns an der Kompetenzmatrix. Diese Kompetenzorientierung kann uns auch zu einem für die SuS interessanten und anregenden Unterricht verhelfen. Beispielsweise decken die drei Aufgabenteile der Aufgabe zum Gepard beim Kompetenzbereich Fachwissen die drei Anforderungsbereiche ab.



Abbildung 6: Aufgabe: Ein Gepard der Masse 40 kg läuft mit der Geschwindigkeit $108 \frac{km}{h}$ eine kreisförmige Kurve mit dem Radius 75 m. (a) Bestimme die Bewegungsenergie und vergleiche mit den 18 000 kJ Nährwert der Beute! (b) Erkläre, warum der Gepard geneigt in der Kurve liegt! (c) Bestimme die Zentripetalkraft, zeichne mit dieser sowie der Gewichtskraft ein Kräfteparallelogramm und vergleiche mit der im Foto dargestellten Neigung!

AFB	(F) Kenntnisse und Konzepte ...	(E) Erkenntnisgewinnung und Fachmethoden ...	(K) Informationen ...	(B) Argumente ...
1	wiedergeben	beschreiben und durchführen	erfassen und wiedergeben	erkennen und wiedergeben
2	auswählen und anwenden	auswählen und anwenden	situations- und adressatengerecht veranschaulichen	auswählen und nutzen
3	planmäßig und konstruktiv nutzen	begründet auswählen und anpassen	auswerten, reflektieren und für eigene Argumentation nutzen	aus verschiedenen Perspektiven abwägen und für Entscheidungsprozesse nutzen

Tabelle 1: Kompetenzmatrix: Aktivieren Sie die SuS bei allen vier Kompetenzbereichen Fachwissen (F), Erkenntnisgewinnung (E), Kommunikation (K) und Bewertung (B) auf allen drei Anforderungsbereichen Reproduktion (1), Reorganisation (2) und Transfer (3)!

2.5 Wir stellen Aufgaben zum Lernen

Die SuS können sich oftmals neue Regeln, Verfahren, Methoden, Erkenntnisse oder Zusammenhänge eigenständig erarbeiten, indem sie eine Aufgabe lösen. Eine solche Erarbeitung kann gut dem exemplarischen Lernen entsprechen, da in der Aufgabe leicht ein beispielhaftes Setting behandelt werden kann. Beispielsweise können sie mit einem Wasserkocher und einem Energiemessgerät lernen, wie man den Prozentsatz an ungenutzter Energie bestimmt.



Abbildung 7: Aufgabe: Erhitze mit dem Wasserkocher Wasser von 20°C auf 100°C. (a) Bestimme mit dem Energiemessgerät die dabei benötigte Energie! (b) Dem Wasser wird dabei die Energie 334 kJ zugeführt. Bestimme den Anteil der genutzten Energie! (c) Bestimme den Anteil der ungenutzten Energie! (c) Erstelle ein passendes Energieflussdiagramm!

2.6 Wir stellen Aufgaben zum Üben

Das typische Üben ist vor allem bei der auch im Physikunterricht wichtigen Mathematisierung wichtig, die im Kerncurriculum als eigenständige prozessbezogene Kompetenz erscheint (s. Beime u. a. (2012); Brüning u. a. (2010); Frenzel (2017); Gehmann (2015)). Hierzu gibt es sechs Hauptformen des Übens (s. Aebli (1997); Zech (1996)), Verständnisübungen, stabilisierendes Üben, operatives Üben, automatisierendes Üben, anwendungsorientiertes Üben und Wiederholungen.

Verständnisübungen: Die SuS sollen lernen mit einem Verständniskern sicher umzugehen. Dabei sollte der Verständniskern auf grundlegender Ebene formuliert sein. Der Verständniskern kann beispielsweise so ausgedrückt werden: Die mittlere Geschwindigkeit v für ein Zeitintervall der Länge Δt bestimmen wir, indem wir den währenddessen zurückgelegten Weg Δs durch Δt teilen, kurz: $v = \frac{\Delta s}{\Delta t}$. Günstig sind auch anschauliche Formulierungen und Darstellungen des Verständniskerns mit Beispielen oder Skizzen.

Stabilisierendes Üben: Die SuS sollen umfassende Zusammenhänge auf einfache und verständige Weise üben können. Dazu kann es sinnvoll sein, die Denkschritte eines Ganzen einzeln zu trainieren und so jeden Schritt einzeln zu festigen. Das ist stabilisierendes Üben. Beispielsweise können für eine Weg-Zeitfunktion $s(t)$ mittlere Geschwindigkeit für die Intervalle $[1s; 2s]$, $[1s; 1,5s]$, $[1s; 1,2s]$ und $[1s; 1,1s]$ berechnet werden, um Annäherungen an die Momentangeschwindigkeit zur Zeit $1s$ zu erhalten.

Operatives Üben: Die SuS sollen das Gelernte in möglichst vielfältigen unterschiedlichen Variationen einsetzen können. Dazu werden passende neuartige Fragestellungen bearbeitet.

Beispielsweise können momentane Geschwindigkeiten aus Weg-Zeit-Funktionen oder aus Bildfolgen bestimmt werden, es können Bewegungsdauern oder zurückgelegte Strecken errechnet werden, Graphen erstellt und Proben durchgeführt werden.

Automatisierendes Üben: Die SuS sollen über ein Verfahren, das sie im Prinzip verstanden haben, auch sicher verfügen können. Dazu trainieren sie die Durchführung, bis sie praktisch automatisch abläuft. Vorsicht, Schüler sollten nur automatisieren, was sie verstanden haben! Beispielsweise kann die Umrechnung der Einheit km/h in m/s automatisierend geübt werden.

Anwendungsorientiertes Üben: Die SuS sollen darauf vorbereitet werden, das Gelernte bei verschiedenen Sachgebieten einsetzen zu können. Dazu werden passende auch fächerübergreifende Anwendungen behandelt.

Wiederholungen: Die SuS sollen einen für sie sinnvollen Lernprozess erleben. Dazu ist es immer wieder nötig, an früher Gelerntes anzuknüpfen. Dazu sollte sich der Schüler noch einmal aktiv mit dem aktuell Wichtigen des früher Gelernten befassen. Hierzu werden gerne Übungen eingesetzt. Das sind wiederholende Übungen.

2.7 Wir stellen Aufgaben zum Vernetzen

Gerade in der Physik lässt sich sehr viel Fachwissen vernetzen. Denn es ist gelungen, alle Kräfte auf nur vier Grundkräfte zurückzuführen. Auch ist es gelungen, die zeitliche Entwicklung physikalischer Systeme durch wenige grundlegende Gleichungen zu bestimmen: Im Bereich der klassischen Mechanik ist das die Grundgleichung der Mechanik. In der klassischen Elektrodynamik sind das die Maxwellschen Gleichungen. In der Quantenmechanik ist das die Schrödinger-Gleichung. In der speziellen Relativitätstheorie kommt die relativistische Masse als Variante zur Grundgleichung der Mechanik hinzu. Hiermit ist die Schulphysik abgedeckt, darüber hinaus kommen nur wenige Varianten oder Verfeinerungen dieser Gleichungen hinzu. Zudem geht in der Physik die Suche nach der „Weltformel“ zumindest als Ideal weiter. Indem wir unseren SuS Vernetzungsmöglichkeiten aufzeigen, können diese den Lernaufwand verringern und zugleich die Anwendungsmöglichkeiten steigern.

In vernetzenden Aufgaben können wir Strukturgleichheiten analysieren lassen, Dinge vergleichen lassen, vorausschauend, situativ und nachträglich strukturieren lassen oder Begriffsnetze, Übersichtstabellen, Synopsen, Mindmaps, Zuordnungen, Kärtchentische und Flussdiagramme entwerfen, bearbeiten sowie aushandeln lassen.

Strukturgleichheit: Schwerkraft – elektrische Kraft

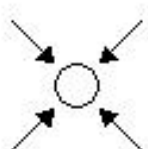
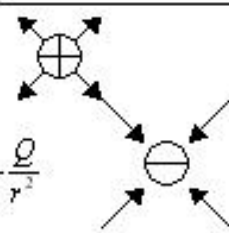
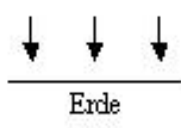
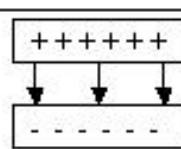
	Schwerkraft	Elektrische Kraft
I. Zwei Massen- / Ladungspunkte		Bei Abstoßung gelten umgekehrte Vorzeichen für F , W und E_{pot} .
Kraft	$F = G \frac{mM}{r^2}$	$F = \dots\dots\dots$
	Gravitationskonstante $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-2}$	Elektrische Feldkonstante $\epsilon_0 = \dots\dots\dots$
Arbeit, die zu verrichten ist, um m vom Abstand r_i zum Abstand r_f zu bringen	$W = GmM \left(\frac{1}{r_i} - \frac{1}{r_f} \right)$	$W = \dots\dots\dots$
Potentielle Energie	$E_{pot} = -GmM \frac{1}{r_f}$	$E_{pot} = \dots\dots\dots$
Bahn	Kreis, Hyperbel, Parabel, Gerade, Ellipse z.B. Planet fliegt um Stern	Ebenso, z.B. Elektron fliegt um Atomkern
Feldstärke und Feldlinie	$G' = \frac{F}{m}$ $G' = G \frac{M}{r^2}$ 	$E = \dots\dots\dots$  $E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{r^2}$
Fluss		Der elektrische Fluss ist das Produkt aus einer Fläche A senkrecht zu den Feldlinien, der Feldstärke und ϵ_0 . Kurz: $\psi = \epsilon_0 \cdot E \cdot A$
Spannung		Wird beim Transport einer Ladung q von A nach B eine Arbeit w verrichtet, so nennt man den Quotient w/q die Spannung U zwischen A und B: $U = \frac{w}{q}$
II. Homogenes Feld		
Kraft	$F = mG'$ 	$F = qE$ 
Arbeit	$W = mG' h$	$W = \dots\dots\dots$
Spannung		$U = \dots\dots\dots$
Bahn	Parabel, z. B. schiefer Wurf Gerade, z. B. freier Fall	Parabel, z. B. Ablenkung Gerade, z. B. Elektronenbeschleunigung

Abbildung 8: Aufgabe: Vervollständigen Sie das Arbeitsblatt!

2.8 Wir strukturieren Aufgaben

Die Aufgabe besteht im Wesentlichen aus zwei Teilen, dem Setting und den Bearbeitungsaufträgen. Das Setting modelliert einen Realitätsausschnitt. Hierzu kann der fachliche Kontext angegeben werden. Auch kann der Realitätskontext bestimmt sein. Günstig kann es dabei sein, Bilder, Skizzen, Fotos, Texte, Geräte, Erklärungen, Videos, Bildfolgen, Messwerte und dergleichen mehr bereitzustellen. Die Bearbeitungsaufträge können durch Fragen, Operatoren, Angaben zu Hilfsmitteln, Vorgaben zur Darstellung oder Präsentation oder Angaben zu Bewertungskriterien und Ähnliches mehr spezifiziert werden.

Ein Beispiel für eine durchstrukturierte Aufgabe ist mit der Fallschirmspringerin in Abb. 2 gegeben, während die Aufgabe zur Radtour eine typische anstrukturierte Aufgabe darstellt.

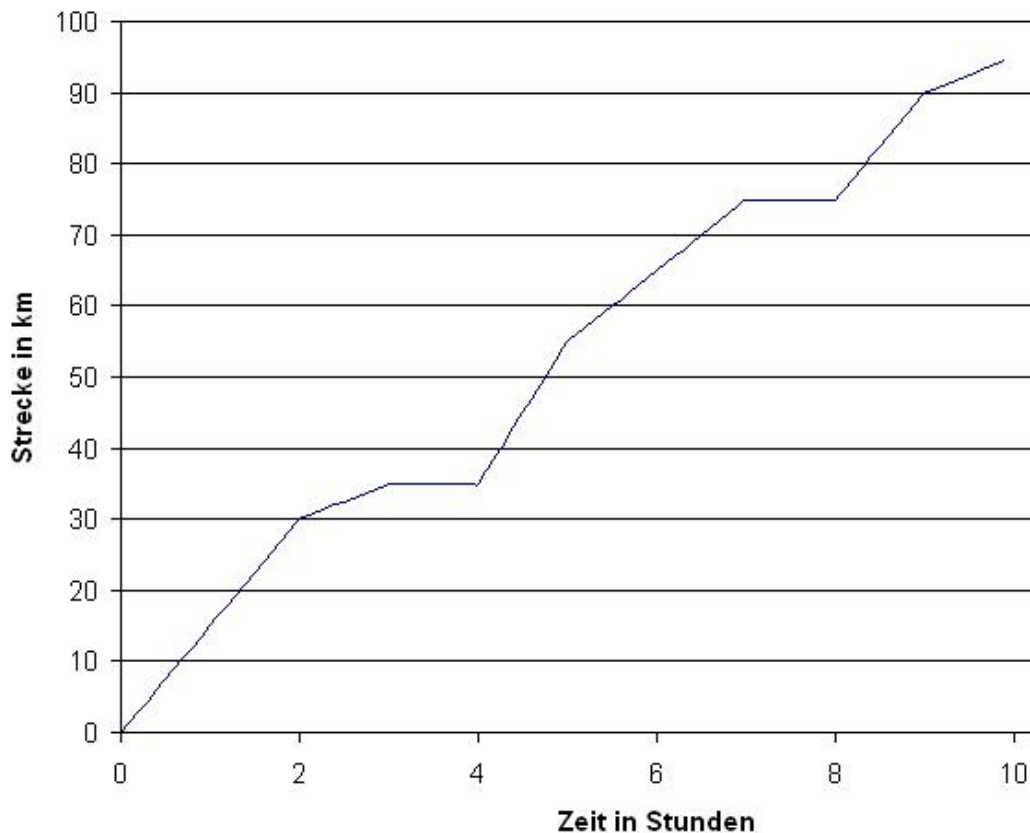


Abbildung 9: Aufgabe: Die Klasse 7 machte eine Radtour von ihrer Jugendherberge zu einer Burg. Die dabei zurückgelegte Strecke ist abhängig von der Zeit grafisch dargestellt. Schreibe einen passenden Aufsatz über die Radtour!

Zum Strukturieren bieten sich folgende Maßnahmen an: Aufgabenteile weglassen oder ergänzen, das Setting gliedern, konkretisieren und fokussieren, eine To Do Liste vorgeben, Advanced Organizer nutzen, Bearbeitungsaufträge übersichtlich, kleinschrittig und konkret gestalten, Zwischenergebnisse, Hilfen und Musterlösungen bereitstellen.

2.9 Wir öffnen und schließen Aufgaben

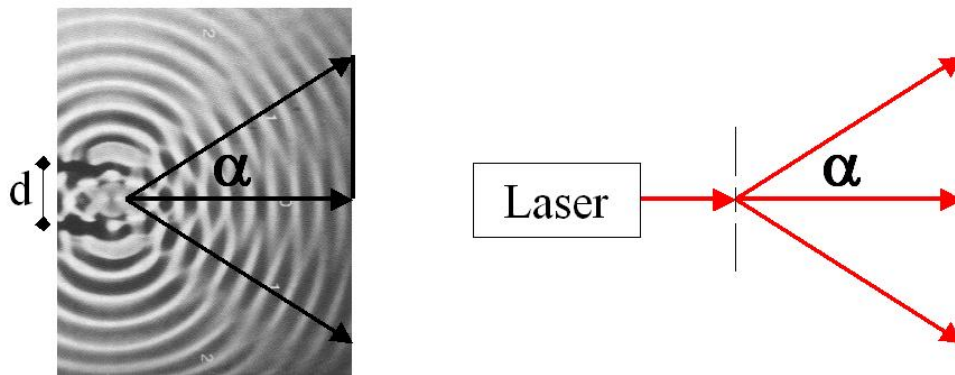
Zu jeder Aufgabe sollen die SuS eine Lösung erarbeiten. Die Aufgabe kann so gestellt sein, dass es verschiedene Lösungswege oder auch verschiedene Lösungen gibt. Wir nennen eine Aufgabe relativ offen, wenn es viele Lösungen und Lösungswege gibt. Sind dagegen die Handlungs- und Lösungsmöglichkeiten für die SuS stark eingeschränkt, so ist die Aufgabe relativ geschlossen.

Die SuS können an offenen und geschlossenen Aufgaben etwas lernen. An offenen Aufgaben können sie insbesondere Planungskompetenz, Selbstständigkeit, Selbstvertrauen, Problembewusstsein, Kreativität und Flexibilität entwickeln. Die Voraussetzung dafür ist aber, dass sie auch eine tragfähige Lösung erarbeiten können. Daher sollten besonders offene Aufgaben an die Lernvoraussetzungen der SuS angepasst, durch Orientierungshilfen wie Mindmaps, Übersichten, oder Begriffsnetze angereichert, durch strukturierte Aufgaben ergänzt und durch Metareflexionen abgerundet werden. Abgestufte Lernhilfen ermöglichen auch hier eine Binnendifferenzierung.



Abbildung 10: Geschlossene Aufgabe: Den SuS ist das Ziel ebenso klar wie der Weg, auf dem sie dieses erreichen können.

Eine geschlossene Aufgabe erhalten wir, wenn wir für eine Zieltransparenz und eine Wegtransparenz sorgen. Ein Beispiel ist die Bestimmung der Wellenlänge von Laserlicht, nachdem die SuS die Beugung am Doppelspalt am Beispiel der Wasserwellen bereits kennen.



$$\text{Maxima: } n \cdot \lambda = d \cdot \sin(\alpha)$$

Abbildung 11: Geschlossene Aufgabe: Bestimmen Sie die Wellenlänge des Laserlichts mit Hilfe eines Doppelspalts!

Eine teilweise geöffnete Aufgabe können wir erhalten, wenn die Ziel- und Wegtransparenz für eine erste Teilaufgabe vorliegt, während für eine zweite abschließende Teilaufgabe nur eine

vage Zieltransparenz gegeben ist. Ein Beispiel ist die Untersuchung der Dehnung einer Schraubenfeder durch verschiedene Gewichtskräfte in Klassenstufe 7. Die Leitfrage könnte sein: Wie hängt bei der Schraubenfeder die Verlängerung ΔL von der Kraft F ab? Die SuS kennen bereits Schraubenfedern, Gewichtskräfte, die Begründung der Proportionalität durch eine Ursprungsgerade sowie das Konzept der Ausgleichsgerade. Wird keine Vermutung aufgestellt, so ist anfangs kein Plan zur Auswertung gegeben, die Zieltransparenz bleibt hierzu vage. Die SuS könnten beispielsweise ihre individuellen Messwerte grafisch als Streckenzug darstellen und als Ergebnis vorschlagen. Die Lernzielerreichung bleibt letztlich dem Zufall überlassen. Werden dagegen anfangs Vermutungen etwa zur Proportionalität aufgestellt, so ist der Lösungsweg der Anwendung der Ausgleichsgerade ebenso geklärt wie das Ziel: die Entscheidung über die Proportionalität. Dieses Beispiel zeigt, wie von den SuS aufgestellte Vermutungen die Ziel- und Wegtransparenz deutlich steigern können.

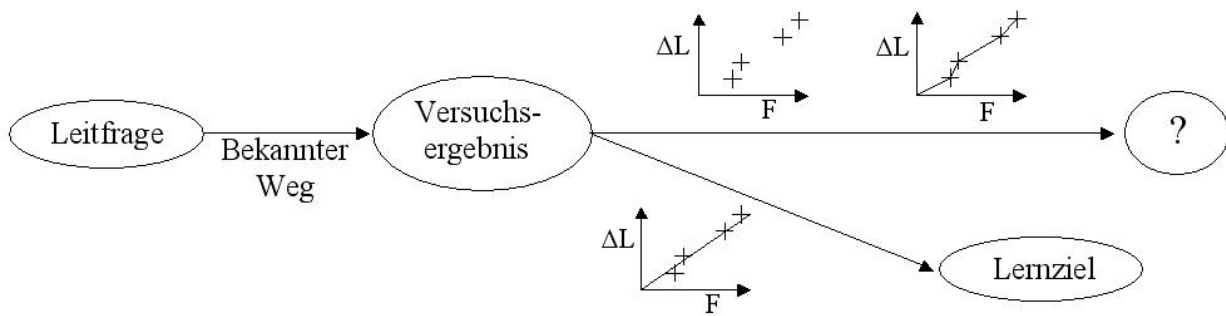


Abbildung 12: Diagramm zur Ziel- und Wegtransparenz für eine teils geöffnete Aufgabe: Wie hängt bei der Schraubenfeder die Verlängerung ΔL von der Kraft F ab?

Eine offene Aufgabe können wir erhalten, wenn wir mit der Leitfrage nach einem Ergebnis fragen, von dem sich die SuS noch gar nicht vorstellen können, wie es aussehen könnte. Ein Beispiel ist eine Aufgabe zum Gesetz von Boyle-Mariotte.

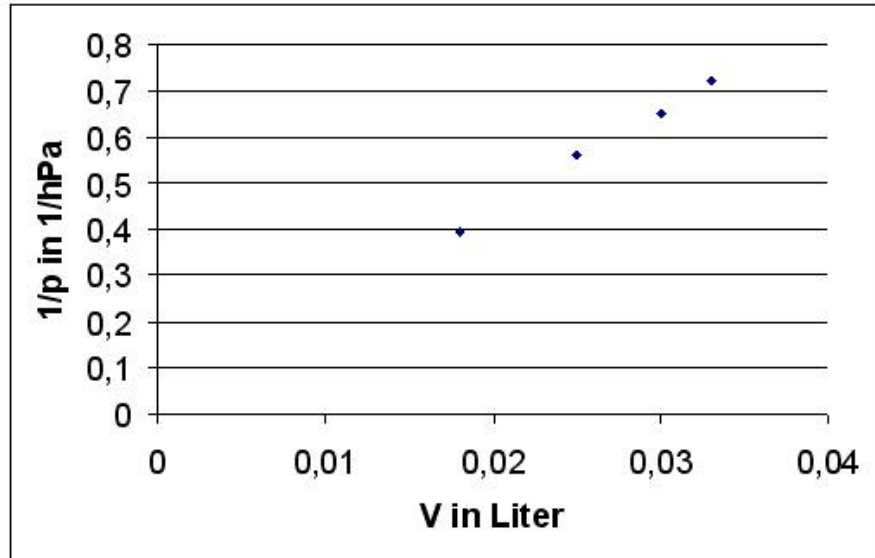


Abbildung 13: Teils geöffnete Aufgabe, bei der neue Wege zu gehen sind: Wie hängt das Volumen eines eingeschlossenen Gases vom Druck ab? Die SuS unterscheiden meist zunächst nicht den durch die Kraft erzeugten Überdruck vom Gasdruck.

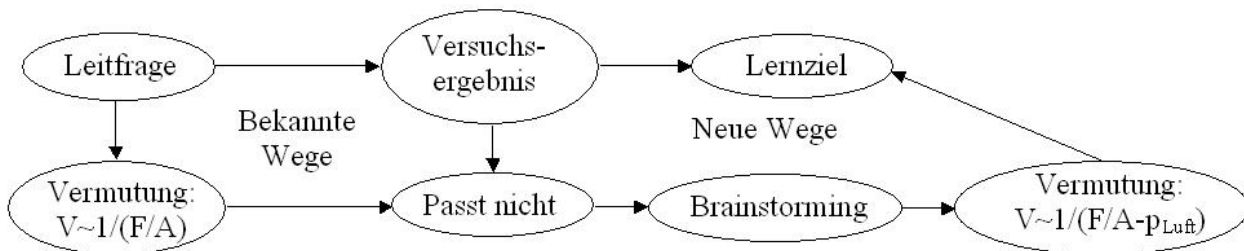


Abbildung 14: Diagramm zur Ziel- und Wegtransparenz für die Aufgabe zum Gesetz von Boyle-Mariotte.

Schon die Beispiele zeigen, dass das Öffnen von Aufgaben gut didaktisiert sein sollte und dass es viele Möglichkeiten zum Öffnen gibt. Weitere Beispiele sind: Bearbeitungsaufträge weglassen, Aufgaben mit verschiedenen Lösungswegen stellen, aus dem Setting Fragen, Lösungspläne und Lösungsstrategien entwickeln lassen, produktionsorientierte oder vernetzende Aufgaben stellen.

2.10 Wir gestalten Aufgaben binnendifferenziert

Unsere Lerngruppen sind immer etwas heterogen. Daher ist es wesentlich, dass wir jede Schülerin und jeden Schüler individuell berücksichtigen. Hierfür kann auch eine binnendifferenzierte Aufgabengestaltung beitragen. Diese können wir gut durch folgende Maßnahmen erreichen:

-
- verschiedene Erkenntniswege, Versuchsmaterialien und Lernmaterialien einplanen
 - verschiedene Abstraktionsgrade, Konkretisierungen, Beispiele, lebensweltliche Bezüge, Anforderungsstrukturen und Perspektiven anbieten
 - verschiedene Sinnesmodalitäten, Handlungsweisen, Lösungsstrategien, Darstellungsformen und Kommunikationswege anbieten
 - verschiedene Lernformen, Hilfsmittel, gestufte Lernhilfen und Strukturierungshilfen anbieten
 - passende Sozialformen wie Einzel-, Partner- und Gruppenarbeit oder helfende SuS anbieten

2.11 Wir integrieren Experimente in Aufgaben

Wir können unterschiedliche Experimente in Aufgaben integrieren. Beispiele sind in den Abbildungen 11, 12 und 13 gegeben. Besonders einfach ist es in Aufgaben Experimente auswerten und Computerexperimente oder Low Cost Versuche durchführen zu lassen.

2.12 Wir integrieren die Aufgaben in den Unterricht

Wir können Aufgaben in allen Phasen des Lernprozesses einsetzen (s. [Aebli \(1997\)](#)). Zur Vorbereitung bietet sich eine Wiederholungsübung, etwa als vorbereitende Hausaufgabe an. Zur Motivation oder zum Einstieg kann eine kleine Anwendungsaufgabe dienen, die das Setting präsentiert und gleichzeitig die SuS aktiviert; dies ist als vorbereitende Hausaufgabe ebenso möglich wie in der Unterrichtsstunde. Die Aneignung wird beim aufgebend erarbeitenden Lehrverfahren klassisch durch Aufgaben erreicht. Bei der Konsolidierung bieten sich unterschiedliche Übungsaufgaben an. Operative Übungsaufgaben oder Anwendungsaufgaben sind gut zur Verallgemeinerung des Gelernten geeignet.

3 Aufgebend erarbeitendes Lehrverfahren

3.1 Stimmige Voraussetzung

Ein aufgebend erarbeitendes Lehrverfahren kann sinnvoll sein, wenn das Lernziel für ein problemlösendes oder entdeckenlassendes Verfahren zu schwierig ist (s. [Farkota \(2003\)](#), S. 288).

3.2 Phasenstruktur

Zum aufgebend erarbeitenden Lehrverfahren wird folgendes Schema vorgeschlagen (s. [Horn \(2009\)](#)):

1. Einstieg
2. Entwicklung der Stundenfrage

-
3. Erarbeitung der Aufgabenstellungen
 4. Sicherung
 5. Konsolidierung
 6. Ausstieg

3.3 Vorteile

Beim **aufgebend erarbeitenden** Lehrverfahren erfolgt die Erarbeitung, Phase drei, im Rahmen eines Arbeitsauftrags. Dieses Lehrverfahren ist für Anfänger besonders einfach, da die Lehrkraft der Unterrichtsstunde mit Hilfe von vorbereiteten Arbeitsaufträgen, Arbeitsblättern, Webquests und dergleichen mehr bereits im Vorfeld eine Struktur geben kann. Wenn diese Struktur stimmig ist, so ist die Lehrkraft in der Stunde entlastet und kann sich stärker auf Aspekte der individuellen Ausbildung konzentrieren. Ein Beispiel zeigt die Stunde zur Analyse von Materiewellen, s. u.

Kurzentwurf für eine Physikstunde

Athenaeum

PH EN 12

Thema der Unterrichtssequenz: Materiewellen

Entdeckung der Beugung von Neutronen, Atomen und Fullerenen

Didaktik: SLZ: Die SuS sollen die Beugung von Materie analysieren können.

Inhaltliche Aspekte	Verhaltensaspekte dazu
LV: Elektronenwelle	Erläutern, Analysieren
LV: Neutronen, Atome, Atomgruppen	Erläutern
TLZ: Versuche mit Materiewellen	Auswerten, Deuten
TLZ: Beobachtbarkeit von Materiewellen	Analysieren

Methodik: Dominantes Lehrverfahren: Aufgebend erarbeitend

Zeit	Didaktische Erläuterungen	Methodische Erläuterungen	Sozialform
5	<u>Einstieg:</u> Elektronenbeugung, Ball	DE, Beschreiben, Deuten	LSG
7	<u>Entwicklung der Stundenfrage:</u>	Leitfrage	LSG
15	<u>Erarbeitung 1:</u> Vermutungen	Entwickeln	MuG, LSG
30	<u>Erarbeitung:</u> Wellenlängen	Bestimmen, themendifferenziert, AB 1	GA
40	<u>Sicherung:</u> s.u.	SV, Reflexion	SV
45	<u>Konsolidierung:</u> AB 2	HA	EA

Geplanter TA

Kann man auch einen Ball beugen?Vermutungen: Nein, das hätte man gesehen

Ja, man muss nur genau genug beobachten

Nein, das geht nur im Mikrokosmos, z. B. mit Neutronen

Je leichter das Objekt, desto größer ist die Wellenlänge.

Je langsamer das Objekt, desto größer ist die Wellenlänge.

Hätte der Ball die Geschwindigkeit null, so müsste er eine große Wellenlänge haben, das müsste man merken.

Kontrolle: Wir analysieren Wellenlängen und Geschwindigkeiten von gebeugten Objekten des Mikrokosmos.Wir analysieren die Wellenlänge eines Balls. $M = 100 \text{ g}$, $v = 10^{-10} \text{ m/s}$

	Neutron	Heliumatom	C60-Molekül	Ball
v in m/s	3740	1601	210	10
λ	106 pm	62 pm	2,5 pm	$6,626 \cdot 10^{-23} \text{ m}$

Ergebnisse:

Massive Objekte im Mikrokosmos haben relativ große Wellenlängen. Daher ist deren Beugung praktisch beobachtbar.

Massive Alltagsgegenstände haben sehr kleine Wellenlängen, da sie praktisch nie ganz in Ruhe sind.

Wären Alltagsgegenstände ganz in Ruhe, so wäre deren Wellenlänge sehr groß und man müsste sie leicht beugen können.

Geplante Schülerfolien

Lösung zur Neutronenbeugung

Diamant: Ablenkwinkel $2\theta = 30^\circ \rightarrow \theta = 15^\circ \rightarrow 2 d \sin \theta = \lambda = 106 \text{ pm}$

Aluminium: Ablenkwinkel $2\theta = 26^\circ \rightarrow \theta = 13^\circ \rightarrow 2 d \sin \theta = \lambda = 106 \text{ pm}$

$p = h/\lambda = mv \rightarrow v = h/(\lambda m) = 3740 \text{ m/s}$

Lösung zur Beugung von Heliumatomen

$d = 100 \text{ nm}$; $n=10$ bei $\alpha = 6,2 \text{ mrad}$

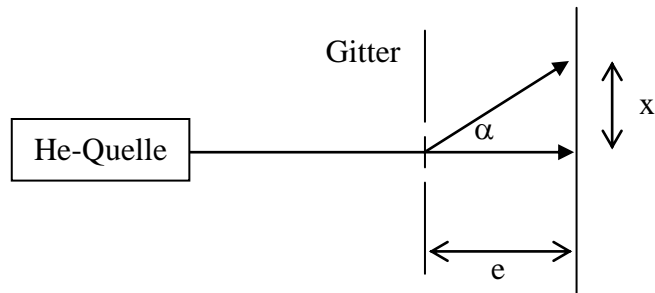
Maxima: $\sin \alpha = n\lambda/d$

$\rightarrow \lambda = 0,1 \cdot d \sin \alpha = 62 \text{ pm}$

$p = mv = h/\lambda$;

$m = 4 \cdot 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$

$v = h/(m\lambda) = 1600,9 \text{ m/s}$



Lösung zur Beugung von Fullerenen

Berechnung mit v : $m = 720 \cdot 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ kg} \rightarrow \lambda = h/p = h/(m \cdot v) = \underline{2,6 \text{ pm}}$

Beugung: $\tan \alpha = 0,03 \text{ mm}/1,25 \text{ m} \approx \sin \alpha$

$d = 100 \text{ nm}$; $n=1$

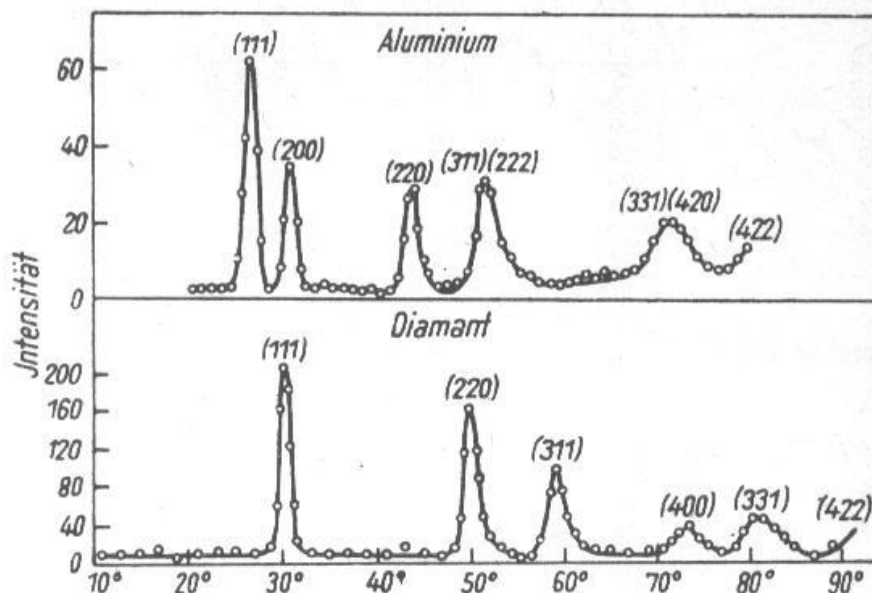
Maxima bei Beugung am Liniengitter: $\sin \alpha = n\lambda/d \rightarrow \lambda = d \cdot \sin \alpha = \underline{2,4 \text{ pm}}$

Mittelwert: $\lambda = \underline{2,5 \text{ pm}}$

Lösung zur denkbaren Beugung eines Balls

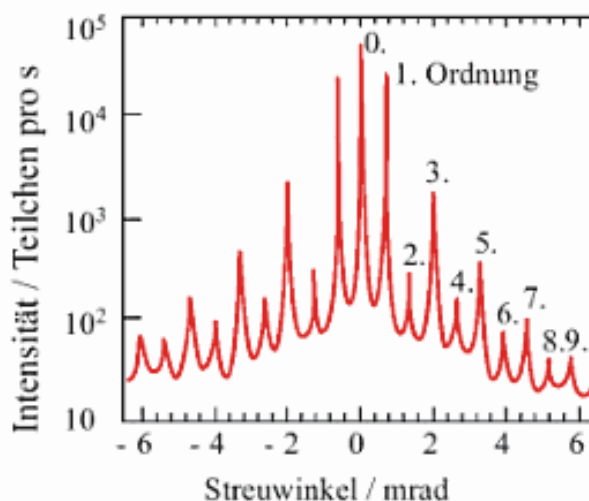
Masse $m = 100 \text{ g}$, $v = 10^{-10} \text{ m/s}$

$p = mv = h/\lambda \rightarrow \lambda = h/(m \cdot v) = 6,626 \cdot 10^{-23} \text{ m}$

Aufgabe 1: Beugung von Neutronen

Neutronen wurden an Diamant- sowie Aluminiumpulver gebeugt. Die Intensität wurde für verschiedene Ablenkwinkel aufgetragen.

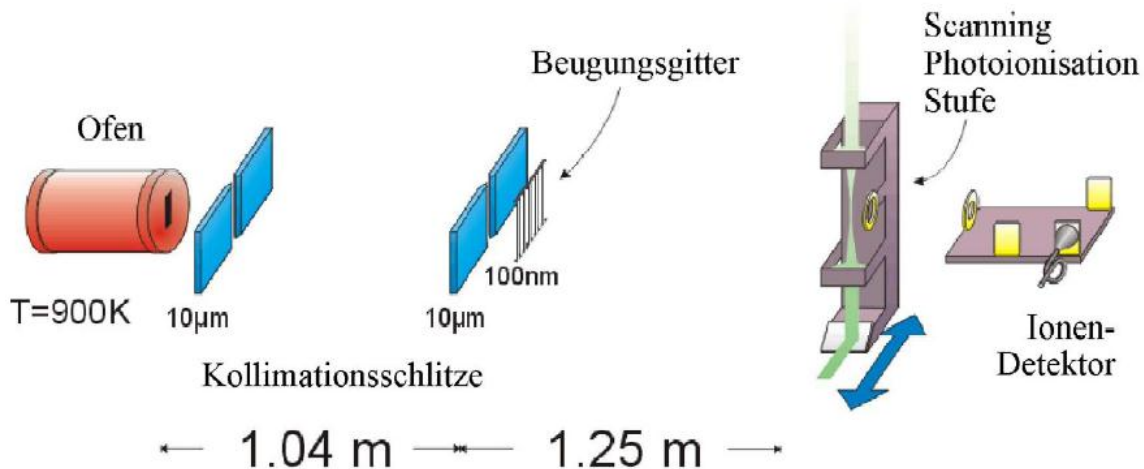
- Der größte Netzebenenabstand beträgt bei Aluminium 236 pm und bei Diamant 205 pm. Bestimmen Sie die Wellenlänge der Neutronen.
- Bestimmen Sie die Geschwindigkeit der Neutronen.

Aufgabe 2: Beugung von Heliumatomen

Beugung eines Strahls aus Heliumatomen an einem Liniengitter mit 100 nm Spaltabstand nach Schöllkopf und Toennies 1996.

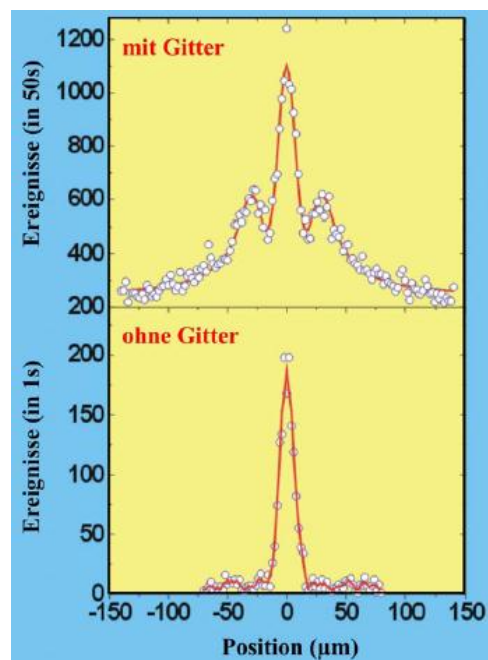
- Erläutern Sie den zugrunde liegenden Versuch!
- Bestimmen Sie die Wellenlänge und Geschwindigkeit der Heliumatome!

Aufgabe 3: Beugung von Fullerenen



Bei Fullerenen vom Typ C₆₀ handelt es sich um Moleküle, die aus 60 Kohlenstoffatomen bestehen. Das Molekül C₆₀ hat eine Masse von 720 atomaren Einheiten und weist eine Struktur auf, die mit der eines Fußballs, bestehend aus 12 Fünfecken und 20 Sechsecken, identisch ist.

Ein Molekülstrahl aus C₆₀ wurde 1999 von Zeilinger und seinen Mitarbeitern in einem Ofen bei einer Temperatur von ca. 600 °C extrahiert, durch ein Doppelschlitzsystem kollimiert, dahinter auf ein Gitter gerichtet, an dem der Gitter gebeugt und schließlich mittels Ionisierung der gestreuten "Bälle" indirekt nachgewiesen. Der aus dem Ofen extrahierte Molekülstrahl hat eine mittlere Geschwindigkeit von ca. 210 m/s.



Bestimmen Sie die Wellenlänge

- aus der Geschwindigkeit,
- aus der beobachteten Beugung.

3.4 Variante: Ausgearbeitetes Beispiel

Bei einem weiteren Lehrverfahren erhalten die Schülerinnen und Schüler ein Problem mit einer fertigen Lösung und sollen zu dieser Lösung Erklärungen ergänzen. Man spricht dabei von ausgearbeiteten Beispielen alias Worked Out Examples (s. Mayer (2003) S. 312-318 und Kirschner u. a. (2006)). Bei dem Verfahren wurde eine Effektstärke von $d=0,57$ festgestellt (s. Hattie (2009)).

3.5 Variante: Fragend erarbeitendes Verfahren

Beim **fragend erarbeitenden** oder **interaktiv erarbeitenden** Lehrverfahren erfolgt die Erarbeitung, Phase drei, im Unterrichtsgespräch, ansonsten sind die Phasen gleich. Ein Beispiel zeigt die Stunde zur Entdeckung des Fotoeffekts, s. u.

Kurzentwurf für eine Physikstunde

Athenaeum

PH EN 12

Thema der Unterrichtseinheit: Photonen

Entdeckung des Fotoeffekts bei der Vakuumfotозelle

Didaktik: SLZ: Die SuS sollen den Fotoeffekt elektronisch deuten können.

Inhaltliche Aspekte	Verhaltensaspekte dazu
LV: Elektron, Strom, Spannung, Widerstand	Erläutern, Anwenden
LV: Wellenmodell des Lichts	Erläutern, Anwenden
TLZ: Photoeffekt	Beschreiben
TLZ: Stromstärke	Bestimmen
TLZ: Zusammenhang Stromstärke – Farbe - Beleuchtungsstärke	Ermitteln

Methodik: Dominantes Lehrverfahren: Fragend erarbeitend

Zeit	Didaktische Erläuterungen	Methodische Erläuterungen	Sozialform
3	<u>Hinführung:</u> CCD-Kamera	DE Fotозelle	LSG
6	<u>Entwicklung der Stundenfrage:</u>	Leitfrage	LSG
20	<u>Erarbeitung:</u> DE, Messung von U, I- Bestimmung, elektronische Deutung	Experimentieren, Auswerten, Zusammenhang ermitteln	SSG
25	<u>Sicherung:</u> s.u.	SV, Reflexion	SV
30	<u>Konsolidierung:</u>	Skizzieren der Elektronenbewegung	EA

Geplanter TA

Wie können wir aus Licht Elektrizität erzeugen?

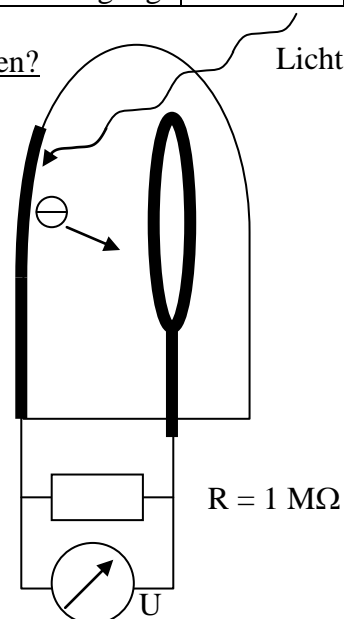
Entdeckung: 1839, Alexandre Edmond

Funktionsweise

Licht trifft auf die Metallschicht.
Dabei wird ein Elektron aus dem Metall gelöst.
Dieses kommt zufällig zur Drahtschleife.
Die Ladung fließt durch das Messgerät
zurück zur Metallfolie.

$$I = U/R = 1 \text{ mV} / 1 \text{ M}\Omega = 1 \text{ nA}$$

Ergebnis: Licht kann Elektronen aus einem Metall lösen.



4 Aufgaben

1. Erstellen Sie zu der Aufgabe zum Mond (s. Abb. 4) ein Diagramm zur Ziel- und Wegtransparenz!
2. Erstellen Sie zu der Aufgabe zum Gepard (s. Abb. 6) ein Diagramm zur Ziel- und Wegtransparenz und ordnen Sie die Anforderungsbereiche 1-3 zu!
3. Entwickeln Sie zur Aufgabe zum Boyle-Mariottschen Gesetz (s. Abb. 14) gestufte Lernhilfen!
4. Entwickeln Sie zur Aufgabe zum Boyle-Mariottschen Gesetz (s. Abb. 14) eine geschlossene Aufgabe!
5. Entwickeln Sie zur Aufgabe zum Boyle-Mariottschen Gesetz (s. Abb. 14) ein anwendungsorientiertes Setting!

5 Zusammenfassung

Aufgaben können in vielfältiger Weise zur Anregung anspruchsvoller und kompetenzentwickelnder Schüleraktivität eingesetzt werden. Wir können je nach Bedarf verschiedene Merkmale graduell variieren wie beispielsweise die Offenheit, Strukturiertheit oder Binnendifferenzierung. Wir können Aufgaben völlig neu entwerfen sowie vorhandene Aufgaben auswählen oder abwandeln. Wir können Aufgaben im Unterricht einsetzen, beispielsweise bei aufgebend erarbeitenden Lehrverfahren, als Hausaufgaben oder zur Leistungskontrolle (s. Kircher u. a. (2001)). Zur Nutzung und Professionalisierung der vielfältigen Möglichkeiten haben wir 12 Maßnahmen kennen gelernt und in Beispielen vertieft. Ich wünsche Ihnen viel Freude und Erfolg beim Aufgabenlösen mit Ihren Schülerinnen und Schülern!

Literatur

- [Aebli 1997] AEBLI, Hans: *Zwölf Grundformen des Lehrens*. 9. Stuttgart : Klett-Cotta, 1997
- [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
- [Brand u. Markowitsch 2009] BRAND, Matthias ; MARKOWITSCH, Hans: Lernen und Gedächtnis aus neurowissenschaftlicher Perspektive. In: HERRMANN, Ulrich (Hrsg.): *Neurodidaktik*. Weinheim : Beltz, 2009
- [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

-
- [Farkota 2003] FARKOTA, Rhonda M.: *The Effects of a 15 Minute Direct Instruction Intervention in the Regular Mathematics Class on Students's Mathematical Self-Efficacy and Achievement.*, Monash University, Diss., 2003
- [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
- [Gudjons 1997] GUDJONS, Herbert: *Pädagogisches Grundwissen.* 5. Bad Heilbrunn : Klinkhardt Verlag, 1997
- [Hattie 2009] HATTIE, John: *Visible Learning.* London : Taylor and Francis Ltd, 2009
- [Horn 2009] HORN, Wolfgang: *Reihenfolge der Planungsschritte für Unterrichtsstunden.* Zusammenfassungsblatt, Stade, Studienseminar, 2009
- [Kircher u. a. 2001] KIRCHER, Ernst ; GIRWIDZ, Raimund ; HÄUSSLER, Peter: *Physikdidaktik.* 2. Berlin : Springer, 2001
- [Kirschner u. a. 2006] KIRSCHNER, Paul A. ; SWELLER, John ; CLARK, Richard E.: Why Minimal Guidance During Instruction Does Not Work: An Analysis of the Failure of Constructivist, Discovery, Problem-Based, Experiential, and Inquiry-Based Teaching. In: *Educational Psychologist* 41 (2006), S. 75–86
- [Leisen 2007] LEISEN, Josef: Problemorientierter Unterricht und Aufgabenkultur. In: MIKELSKIS-SEIFERT, Silke (Hrsg.) ; RABE, Thorid (Hrsg.): *Physik Methodik.* Berlin : Cornelsen Skriptor, 2007
- [Leuders 2005] LEUDERS, T.: *Mathematikaufgaben selbst entwickeln.* Berlin : Cornelsen, 2005
- [Mayer 2003] MAYER, Richard: *Learning and Instruction.* 1. New Jersey : Merrill Prentice Hall, 2003
- [Muckenfuß 1995] MUCKENFUSS, Heinz: *Lernen im sinnstiftenden Kontext.* Berlin : Cornelsen, 1995
- [Schmidt 1990] SCHMIDT, Siegfried: *Der Diskurs des radikalen Konstruktivismus.* 2. Frankfurt : Suhrkamp, 1990
- [Wagenschein 1999] WAGENSCHN, Martin: *Verstehen lehren.* Weinheim : Beltz Verlag, 1999
- [Zech 1996] ZECH, Friedrich: *Grundkurs Mathematikdidaktik.* 8. Weinheim : Beltz Verlag, 1996