

Fachdidaktik Physik: Phasenstruktur und Basismodelle

Hans-Otto Carmesin

Gymnasium Athenaeum Stade, Studienseminar Stade

Hans-Otto.Carmesin@t-online.de

17. März 2021

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung	1
2 Vereinfachtes Grundschema	2
3 Problemlösen und Entdeckenlassen	2
4 Konzeptwechsel und kognitiver Konflikt	3
5 Erarbeitende Lehrverfahren	6
6 Darbietende Lehrverfahren	6
7 Basismodell Eigenerfahrung	10
8 Merkmale einer guten Phasenstruktur	10
9 Aufgaben	13
10 Zusammenfassung	14

1 Einleitung

Wir gliedern die Unterrichtsstunde in *Phasen*. Diese Phasen erfüllen verschiedene Aufgabe zugleich: Sie schaffen eine für die SuS gewohnte und durchschaubare Struktur. Sie sorgen dafür, dass die wesentlichen Schritte des Lernprozesses vorkommen. Denn im Lernprozess soll eine Fragehaltung entwickelt werden, Antworten sollen aus dem Unterricht erwachsen und im Unterricht geprüft werden, Ergebnisse sollen gesichert, reflektiert, angewendet und transferiert werden [Kircher 2001]. Die SuS können ihre Aufmerksamkeit auf die aktuelle Phase und somit

auf das im Lernprozess gerade Wesentliche zu konzentrieren; das ist sinnvoll, denn neurowissenschaftliche Erkenntnisse zeigen, dass die insgesamt verfügbare Aufmerksamkeit ungefähr konstant ist [Spitzer 2006].

Die Phasen zeigen den SuS, welches Rollenverhalten gerade angemessen ist. Denn im Unterricht entwickeln sich die Schülerinnen und Schüler idealerweise vom Lernenden zum Lehrenden, beispielsweise im Schülervortrag, und von der Fremdbestimmung zur Selbstbestimmung, beispielsweise beim Problemlösen [Meyer 1987]. Solche grundlegenden Rollenwechsel in einer großen Lerngruppe erfordern von jedem ein sehr variables Verhalten, das zudem jederzeit der jeweiligen fachlichen Fragestellung und der individuellen Kompetenz angepasst werden muss, damit alle SuS einen erfolgreichen Lernprozess erleben.

Für jeden Lernprozess wird eine Abfolge von Phasen konzipiert. Das ist die *Phasenstruktur*. Jedem Lehrverfahren entspricht eine typische zweckmäßige Phasenstruktur.

Die üblichen Phasenstrukturen geben einen Rahmen aber noch kein Konzept für die Unterrichtsstunde. Etwas konkreter sind da die Basismodelle. Diese schlagen eine ideale Handlungskette für prototypische Lernprozesse vor [Trendel 2007, Draxler 2006]. Für den Physikunterricht sind drei Basismodelle wesentlich und besonders erfolgreich [Trendel 2007, Draxler 2005]. Bei der Unterrichtsplanung können wir diese als zusätzliche Anregung einfließen lassen.

2 Vereinfachtes Grundschema

Jedem Lernprozess können drei Hauptphasen zugeordnet werden [Kircher 2001]:

1. Einstiegsphase

- Motivation: SuS zeigen Interesse
- Problembewusstsein: SuS formulieren eine Leitfrage

2. Erarbeitungsphase: Kompetenzentwicklung: SuS eignen sich relevante Fähigkeiten an

3. Schlussphase

- Ergebnissicherung: SuS formulieren eine Antwort
- Festigung: SuS wenden neue Fähigkeiten an
- Kontrolle: SuS zeigen ihre neue Kompetenz

3 Problemlösen und Entdeckenlassen

Problemlösende und entdeckenlassende Lehrverfahren (s. Abb. 1) legen eine typische Phasenstruktur nahe [Kircher 2001, Leisen 2007], so besteht ein Schema nach Roth aus folgenden Phasen:

1. **Problemstellung:** (Stufe der Motivation) Die SuS erkennen das Problemfeld und stellen die Leitfrage.

2. **Problemanalyse:** (Stufe der Schwierigkeiten) Die Schüler stellen Vermutungen auf und planen Überprüfungen.
3. **Lösung:** (Stufe der Lösung) Die SuS führen verschiedene Überprüfungen durch.
4. **Sicherung:** (Stufe des Tuns und Ausführens) Die SuS formulieren Ergebnisse und beantworten diverse Lernkontrollen. Passend zum Verfahren erfolgt diese Sicherung in großer Selbstständigkeit der SuS, beispielsweise durch einen Vortrag einer Schülergruppe.
5. **Erprobung, Reflexion, Transfer:** (Stufe des Behaltens und Einübens, des Bereitstellens sowie der Übertragung und Integration des Gelernten)

Eines der Basismodelle stellt das Problemlösen dar. Hierbei sind die folgenden Handlungsschritte vorgesehen [Draxler 2006]:

1. Schüler entdecken ein Hier- und Jetzt-Problem in ihrem Erfahrungsbereich oder Lehrer(innen) vermitteln ein Problem.
2. Sie formulieren daraus ein Problem, bestehend aus den Ausgangsbedingungen und einem anzustrebenden Ziel, die Mittel (Lösungswege) sind unbekannt.
3. Schüler machen Lösungsvorschläge.
4. Prüfung, ob die vorgeschlagenen Lösungswege bei den Ausgangsbedingungen zielführend sind, sonst weitere Planung
5. Anwendung des Lösungsweges auf neue Probleme (ähnlichen) Typs, Analyse der Übertragbarkeit oder Verallgemeinerbarkeit des gewählten Lösungsweges, abstrakte Verallgemeinerung etc.

Stammt das Problem nicht aus dem Erfahrungs- oder Interessenbereich der SuS, so sprechen wir von entdeckenlassendem Lernen. Sie können eine Vielzahl von Lernbarrieren arrangieren. Beispiele sind [Aebli 1997]:

- **Lücke:** Sie können ein Problem arrangieren, bei dem Ihren SuS eine Erklärung, eine Versuchsskizze, eine Begründung, eine Herleitung, eine Formel, ein Messverfahren oder dergleichen mehr fehlt.
- **Kognitiver Konflikt:** Sie können eine Beobachtung arrangieren, die Ihre SuS mit ihrem aktuellen Konzept, dem sogenannten Basiskonzept, nicht erklären können. Daraufhin entwickeln ihre SuS mit Ihnen ein neues umfassenderes Konzept.
- **Unnötig komplizierte Vorstellungen oder Verfahren:** Gerade in der Physik entwickeln Anfänger zunächst eine Vielzahl von Vorstellungen, die sich durch Strukturgleichheiten oder Gemeinsamkeiten zusammenfassen und vereinfachen lassen.

4 Konzeptwechsel und kognitiver Konflikt

Eines der Basismodelle betrifft den Konzeptwechsel (s. Abb. 1 und 2). Hierbei sind die folgenden Handlungsschritte vorgesehen [Draxler 2006]:

1. Verunsicherung des Lernenden in seinen Denkmustern, Desäquilibration von bestehenden Strukturen
2. Allmähliches Auflösen der bestehenden kognitiven Strukturen, Erkennen wichtiger neuer Elemente, Relativierung der bestehenden Position und Pendeln zwischen verschiedenen Meinungen, Lösungsansätzen und Begründungsweisen.
3. Integration der neuen Elemente, Änderung von Wertigkeiten und Relationen, dadurch Transformation oder Abbau der alten Elemente.
4. Erprobung und Festigung der neuen Struktur durch deren Transfer auf andere Gebiete.

Ein weiteres Basismodell betrifft die Konzeptbildung. Dabei sind die folgenden Handlungsschritte vorgesehen [Trendel 2007]:

1. Bewusstmachen des Wissens
2. Durcharbeiten eines prototypischen Musters
3. Darstellen der wesentlichen Merkmale und Prinzipien
4. Aktiver Umgang mit neuem Konzept
5. Vernetzung mit bekanntem Wissen

Dr. Hans-Otto Carmesin

Stade 2010

Kurzentwurf für eine Physikstunde

Athenaeum

PH EN 12

Thema der Unterrichtssequenz: Materiewellen

Entdeckung der Welleneigenschaft von Elektronen

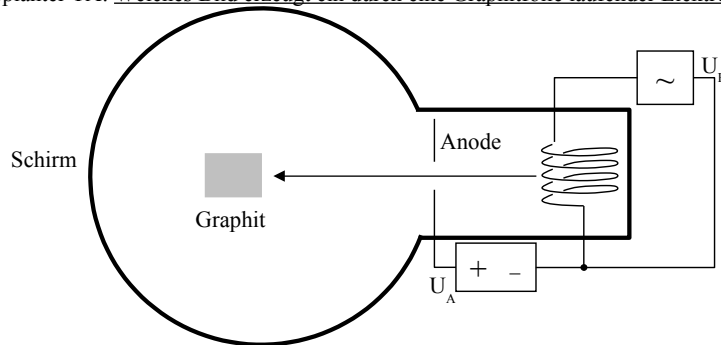
Didaktik: SLZ: Die SuS sollen die Wellennatur von Elektronen begründen können.

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.

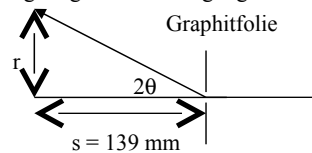
Beobachtung: Am Schirm entstehen konzentrische Ringe. **WARUM?**

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 $r_1 = 1,7$ cm und $r_2 = 2,9$ cm, bei $U_A = 2,9$ kV.

Netzebenenabstand: $d_1 = 0,213$ nm & $d_2 = 0,123$ nm

Auswertung: $\lambda = ?$



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

$\lambda = 25,9$ pm für r_1

$\lambda = 25,3$ pm für r_2

Abbildung 1: Kurzentwurf einer Stunde mit kognitivem Konflikt: Die SuS gehen von ihrem Basiskonzept Elektronenstrahl aus, das erklärt nicht die beobachtete Elektronenbeugung, daher entwickeln die SuS das neue Konzept der Elektronenwelle.

5 Erarbeitende Lehrverfahren

Zum aufgebend erarbeitenden Lehrverfahren wird folgendes Schema vorgeschlagen [Horn 2009]:

1. Einstieg
2. Entwicklung der Stundenfrage
3. Erarbeitung der Aufgabenstellungen
4. Sicherung
5. Konsolidierung
6. Ausstieg

Beim fragend erarbeitenden Lehrverfahren erfolgt die Erarbeitung, Phase drei, im Unterrichtsgespräch, ansonsten sind die Phasen gleich. Ein Beispiel zeigt Abb. 2.

6 Darbietende Lehrverfahren

Zum expositorisch-deduktiven Lehrverfahren (s. Abb. 3) wird folgendes Schema vorgeschlagen [Horn 2009]:

1. Einstieg
2. Konzepthilfe 1: Anknüpfung und Fragestellung
3. Konzepthilfe 2: Vermittlung von Ankerbegriffen (Advance Organizer) und/oder Regeln
4. Überprüfung
5. Sicherung
6. Rückgriff und/oder Bestätigung der Regeln
7. Konsolidierung
8. Ausstieg

Wird die Regel nicht in Phase drei vermittelt, sondern in Phase fünf abgeleitet, so sprechen wir vom induktiv-expositorischen Verfahren.

Kurzentwurf für eine Physikstunde

Athensaeum

PH EN 12

Thema der Unterrichtseinheit: Photonen

Entdeckung des Photoeffekts bei der Vakuumfotозelle

Entdeckung des Photons**Didaktik:** Stundenlernziel: Die SuS sollen das Lichtteilchenmodell begründen können.

Inhaltliche Aspekte	Verhaltensaspekte dazu
LV: Photoeffekt	Beschreiben
TLZ: Zusammenhang Stromstärke – Farbe – Beleuchtungsstärke	Nennen
TLZ: Energieportion	Begründen
TLZ: Photon	Erläutern
TLZ: Besonders energiereiche Photonen bei Blau	Begründen

Methodik: Dominantes Lehrverfahren: Fragend erarbeitend

Zeit	Didaktische Erläuterungen	Methodische Erläuterungen	Sozialform
2	<u>Einstieg:</u> Farb-CCD-Kamera	DE Fotозelle	
10	<u>Entwicklung der Stundenfrage:</u> Zusammenhang Stromstärke – Farbe – Beleuchtungsstärke: kognitiver Konflikt	Leitfrage	LSG
30	<u>Erarbeitung:</u> s.u.	Vermuten, Argumentieren	SSG
40	<u>Sicherung:</u> s.u.	SV, Reflexion	SV
45	<u>Konsolidierung:</u> Materieteilchen	AB, HA	EA

Geplanter TA

Versuch: Wir beleuchten die Vakuumfotозelle mit blauem, grünem und rotem Licht.

<u>Beobachtung:</u>	Blau	Grün	Rot
	0,5 mV	0,2 mV	0 mV
	0,5 nA	0,2 nA;	0 nA
	25 Lux	30 Lux	20 Lux

Warum erzeugt rotes Licht bei der Vakuumfotозelle keinen Strom?Ideen: Weniger Wellenlänge bei Rot, das erklärt nicht $U=0$.

Wir können es nicht mit dem Wellenmodell erklären.

Lichtteilchen

Ein Lichtteilchen löst ein Elektron aus dem Metall. ✓

Ein Lichtteilchen des Blau kann ein Elektron aus dem Metall lösen. ✓

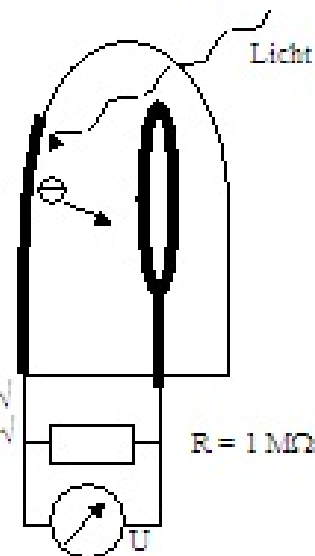
Ein Lichtteilchen des Rot kann kein Elektron aus dem Metall lösen. ✓Deutung: Licht kommt in Form von Teilchen vor.Bezeichnung: Die Teilchen des Lichts heißen Photonen.Analogie: Ähnlich wie das Elektron hat auch das Licht Wellen- und Teilcheneigenschaften.

Abbildung 2: Kurzentwurf zur Entdeckung des Photons mit dem fragend entwickelnden Lehrverfahren.

Dr. Hans-Otto Carmesin

Stade 2010

Kurzentwurf für eine Physikstunde

Athenaeum

PH EN 12

Thema der Unterrichtseinheit: Einzelphotonen

Deutung der Beugung einzelner Photonen

Herleitung eines Terms zur Antreffwahrscheinlichkeit für die Beugung am Doppelspalt

Didaktik: Stundenlernziel: Die SuS sollen das Amplitudenquadrat für eine Summenwellenfunktion mit Hilfe der Zeigerdarstellung berechnen können.

Inhaltliche Aspekte	Verhaltensaspekte dazu
LV: Überlagerung	Erläutern
LV: Wellenfunktion	Erläutern, Berechnen
TLZ: $\Delta s(x)$	Herleiten
TLZ: $\Psi(x)$	Herleiten
TLZ: Zeigerdarstellung für $\hat{\psi}$	Begründen, Anwenden

Methodik: Dominantes Lehrverfahren: Expositorisch-deduktiv

Zeit	Didaktische Erläuterungen	Methodische Erläuterungen	Sozialform
5	<u>Einstieg:</u> Wellenfunktion bei q für Antreffwahrscheinlichkeit w bei q, Fallbeispiel	Wiederholung	LSG
7	<u>Anknüpfung und Fragestellung:</u> $\hat{\psi}^2$	Leitfrage entwickeln	LSG
25	<u>Advance Organizer:</u> Beispiel, Plan	TA	LV
50	<u>Überprüfung:</u> Berechnung	Binnendifferenziert: Graph, Termvereinfachung	GA
55	<u>Sicherung:</u> $\hat{\psi}^2$ s.u.	SV, OHP, TA, Reflexion	SV
60	Bestätigung des Plans	SV, OHP, TA, Reflexion	SV
65	<u>Sicherung:</u> w, s.u.	TA, Reflexion	SV
90	<u>Festigung:</u> Zeigerdiagramm, Beispiele	Evtl. auch HA	EA

Geplanter TA

Wie bestimmen wir das Amplitudenquadrat $\hat{\psi}^2$ der Wellenfunktion Ψ für eine Stelle q?

Fallbeispiel: Spaltabstand $d = 1 \text{ mm}$; $e = 2 \text{ m}$; $\lambda = 630 \text{ nm}$

Am Doppelspalt: $\Psi_1 = \Psi_2$

Wegunterschied: $\Delta s = d \cdot \sin(\alpha)$

Mit $\alpha = \arctan(q/e)$

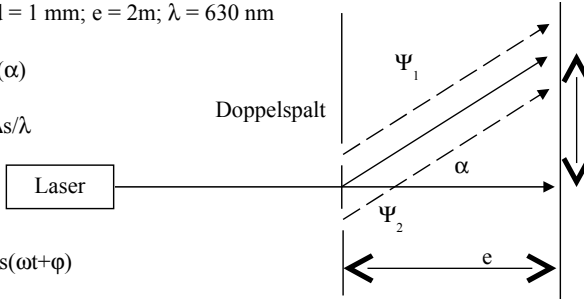
Phasenunterschied: $\phi = 2\pi\Delta s/\lambda$

Am Schirm:

$\Psi_1 = \cos(\omega t)$

$\Psi_2 = \cos(\omega t + \phi)$

$\Psi = \Psi_1 + \Psi_2 = \cos(\omega t) + \cos(\omega t + \phi)$



Plan: Wir nutzen Zeiger, das vereinfacht diese Summe der Kosinusfunktionen.

Ergebnis: Das Amplitudenquadrat ist gleich dem Zeigerlängenquadrat: $\hat{\psi}^2 = Z^2$.

Für den Doppelspalt ist $\hat{\psi}^2 = 2 + 2 \cos\phi$

Ergebnis: Das Amplitudenquadrat können wir mit dem Zeigerlängenquadrat berechnen.

Der zugehörige Graph sieht aus wie der für die Antreffwahrscheinlichkeit von Photonen.

Entsprechend gilt allgemein: Die ist Antreffwahrscheinlichkeit proportional zum

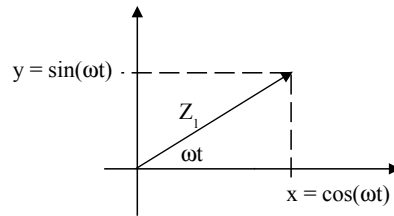
Amplitudenquadrat: $w \sim \hat{\psi}^2$

Abbildung 3: Kurzentwurf mit einem darbietenden Lehrverfahren zur Antreffwahrscheinlichkeit von Photonen.

Plan:

$$Z_1 = \begin{pmatrix} \cos(\omega t) \\ \sin(\omega t) \end{pmatrix}$$

$$Z_2 = \begin{pmatrix} \cos(\omega t + \varphi) \\ \sin(\omega t + \varphi) \end{pmatrix}$$



Die Vektorsumme ist $Z = Z_1 + Z_2 = \begin{pmatrix} \cos(\omega t) + \cos(\omega t + \varphi) \\ \sin(\omega t) + \sin(\omega t + \varphi) \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \Psi \\ \sin(\omega t) + \sin(\omega t + \varphi) \end{pmatrix}$

Das Dreieck aus Z_1 , Z_2 und Z dreht sich mit der Winkelgeschwindigkeit ω um den Ursprung. $\hat{\Psi}$ ist das Maximum von Ψ , also das Maximum der x-Koordinate von Z , also $|Z|$. $|Z|$ ist konstant. Daher können wir $t = 0$ wählen.

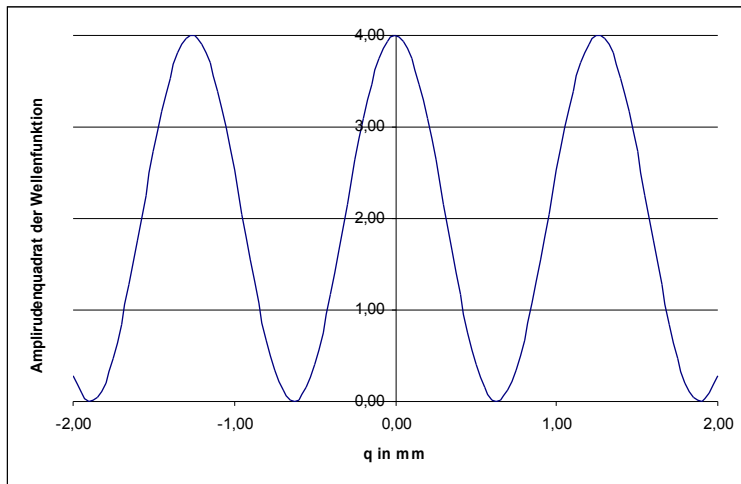
Gesucht: $[\hat{\Psi}(q)]^2$ und Graph für $q \in [-2\text{mm}; 2\text{mm}]$

Geplante Schülerfolie

$$\hat{\Psi}^2 = |Z|^2 = (1 + \cos\varphi)^2 + \sin^2\varphi$$

$$\alpha = \arctan(q/e) \quad \rightarrow \quad \Delta s = d \cdot \sin[\arctan(q/e)] \quad \rightarrow \quad \varphi = 2\pi \cdot d \cdot \sin[\arctan(q/e)] / \lambda$$

Graph zur Formel mit GTR:



Termvereinfachung: $\hat{\Psi}^2 = |Z|^2 = (1 + \cos\varphi)^2 + \sin^2\varphi = 1 + 2\cos\varphi + \cos^2\varphi + \sin^2\varphi = 2 + 2\cos\varphi$

Abbildung 4: Analysen der SuS zur Antreffwahrscheinlichkeit von Photonen.

7 Basismodell Eigenerfahrung

Eines der Basismodelle entwickelt die Eigenerfahrung der SuS weiter zur physikalischen Vorstellung (s. Abb. 5). Hierbei sind die folgenden Handlungsschritte vorgesehen [Draxler 2006]:

1. Inneres Vorstellen des Handelns im Kontext (Vorbereitung, Ablaufsplanung, Ermittlung).
2. Handeln im Kontext (Herstellen, Verändern, Experimentieren, Suchen und Ordnen etc.)
3. Erste Ausdifferenzierung durch Reflexion des Handlungsweges, des Handlungszieles und des Handlungssinnes.
4. Generalisierung des Ausdifferenzierungsergebnisses.
5. Übertragung der Lernkonsequenzen auf größere Zusammenhänge, Einstieg in die symbolische Repräsentation.

8 Merkmale einer guten Phasenstruktur

- Der Unterrichtsprozess wird für SuS und LuL einsichtig.
- Übereinstimmung der äußeren Struktur mit der inneren Sachstruktur. Vorsicht, eine gute äußere Struktur sichert nicht die sachliche Richtigkeit.
- Berücksichtigung der subjektiven Bedürfnisse und Lernvoraussetzungen der SuS, der objektiven Ansprüche der Lehraufgabe und der Handlungsmöglichkeiten der LuL.
- Reduktion der Komplexität des Unterrichtsprozesses für die LuL.
- Das methodische Handeln der LuL wird zielstrebig sowie transparent und bietet den SuS ein Orientierungsmuster.
- Jede Phase hat eine Funktion, die LuL gehen erst zur nächsten Phase über, wenn alle SuS das Ziel der aktuellen Phase erreicht haben.
- Es gibt zahlreiche Gelegenheiten für individualisiertes Lernen, beispielsweise in Gruppenarbeit, in binnen- oder themendifferenzierten Phasen, bei Murmelgesprächen und dergleichen mehr.

Kurzentwurf für eine Physikstunde

Thema der Unterrichtssequenz: Kinematik

- 1) Bestimmen der Endgeschwindigkeit eines fallenden Balls
- 2) Entdecken der Proportionalität von Geschwindigkeit und Zeit beim Freien Fall

Erreichte Lernziele der Vorstunde: Die SuS können eine Bildfolge eines fallenden Balls aufnehmen und die Intervallgeschwindigkeit berechnen.

Didaktik

Stundenlernziel: Die Schüler sollen ihre Entdeckung der Proportionalität von Geschwindigkeit und Zeit erklären können.

Inhaltliche Aspekte	Verhaltensaspekte dazu
Lernvoraussetzung 1 Auswerten einer Bildfolge	Die SuS können die Angaben in Pixel und Bildfrequenz in Orte, Zeiten und Geschwindigkeiten umrechnen
Lernvoraussetzung 2 Lineare Regression	Die SuS können eine lineare Regression durchführen
Lernvoraussetzung 3 Proportionale Zuordnung	Die SuS können eine proportionale Zuordnung anhand der Ursprungsgeraden erkennen.
Teillernziel 1 Bestimmen der Geschwindigkeiten und Zeiten	Die SuS können die Versuchsergebnisse auswerten.
Teillernziel 2 Erkennen der Proportionalität	Die SuS können ihre Entdeckung der Proportionalität erklären

Methodik

Dominantes Lehrverfahren: Entdeckenlassend

Zeit	Didaktische Erläuterungen	Methodische Erläuterungen	Sozialform
5	<u>Hinführung:</u> Ergebnisse der Vorstunde	SuS erläutern den Fallversuch, die aufgenommene Bildfolge sowie die Berechnung der Endgeschwindigkeit aus den beiden letzten Bildern	SV
10	<u>Aufgabenstellung:</u> Bestimme die Zuordnung $t \rightarrow v$	TA der Leitfrage, AB, Lesen, Fragen, Vermuten	LSG
30	<u>Erarbeitung:</u> Auswerten, Entdecken der Proportionalität	Individuelle LH	GA
35	<u>Sicherung:</u> Präsentation der Auswertung und der Ergebnisse	Folie oder GTR mit Display, TA	SV
	Alternatives Stundenende		
40	<u>Aneignung 2:</u> Einführung der Beschleunigung	Deuten physikalischer Größen, welche die SuS in der Stunde gebildet haben	LV

Abbildung 5: Kurzentwurf zu einer Stunde, bei der die SuS von ihrer Eigenerfahrung zum fallenden Ball ausgehen.

Anlage 1: Geplantes Tafelbild

Wie wird ein fallender Ball schneller?

Vermutungen:

Je größer t, desto größer v

v proportional \sqrt{t}

Ergebnis: Beim fallenden Ball nimmt die Geschwindigkeit v proportional zur Zeit t zu.

Bezeichnung:

Eine Bewegung, bei der die Geschwindigkeit proportional zur Zeit zunimmt, heißt gleichmäßig beschleunigt.

Der Proportionalitätsfaktor heißt dabei Beschleunigung.

Deren Formelzeichen ist a (Engl. Acceleration).

Einheit: $1 \frac{m}{s^2}$

Die Beschleunigung ist die Steigung der Ursprungsgeraden im v-t-Diagramm,

das ist die Geschwindigkeitszunahme pro Zeit: $a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$

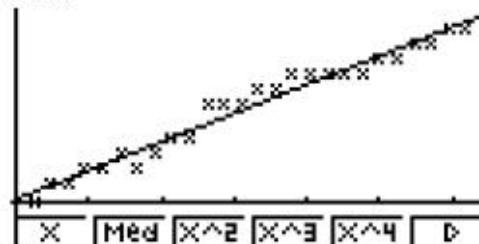
Anlage 2: Anzeigen des GTR

	List 1	List 2	List 3	List 4
1	1	0	0.0476	0
2	2	1	0.0952	1.008
3	3	2	0.1428	1.008
4	4	4	0.1904	2.016
5	5	6	0.238	2.016

1

GRAPH CALC TEST INTR DIST

List 1: Bildnummer; List 2: Pixelnummer; Bild 3: t in s durch List 1/21; List 4: v in $\frac{m}{s}$ durch Delta List 2 · 1,44/30 · 21.



Graphische Darstellung: v abhängig von t mit der Regressionsgeraden.

LinearReg
 a =9.16194461
 b =0.08064
 r =0.98593825
 r²=0.97207423
 y=ax+b

COPY DRAW

Lineare Regression: b ist mit 8,064 cm vernachlässigbar. Also ist v proportional zu t.

Abbildung 6: Tafelbild und Schülerfolie zur Stunde zum fallenden Ball.

Freier Fall					Bild.	Strecke
1.	2.	3.	4.	5.	1	0
					2	1
					3	2
					4	4
					5	6
					6	9
					7	11
					8	14
6.	7.	8.	9.	10.	9	18
					10	22
					11	28
					12	34
					13	40
					14	47
					15	54
					16	62
					17	70
11.	12.	13.	14.	15.	18	78
					19	86
					20	94
					21	103
					22	112
					23	122
					24	132
					25	143
					26	154

Die Bildfolge stellt einen Ball dar, der beim ersten Bild losgelassen wird und anschließend zu Boden fällt. Die Kamera filmt in 1s 21 Bilder. Das Ausmessen ergab die Tabelle am rechten Rand. Die Strecke wird in px angegeben. 30px entsprechen 1,44m.

Abbildung 7: Bildfolge der SuS zur Stunde zum fallenden Ball.

9 Aufgaben

1. Analysieren Sie die Stunde zur Elektronenbeugung bezüglich der Handlungsketten zu den Basismodellen *Problemlösen* und *Konzeptwechsel*.
2. Analysieren Sie die Stunde zur Elektronenbeugung bezüglich der Handlungskette zum Basismodell *Konzeptwechsel*.
3. Analysieren Sie die Stunde zur Berechnung des Amplitudenquadrats bezüglich der Handlungskette zum Basismodell *Konzeptbildung*.
4. Analysieren Sie die Stunde zum fallenden Ball bezüglich der Handlungskette zum Basismodell *Eigenerfahrung*.
5. Entwerfen Sie eine Stunde zur Einführung der Zentripetalkraft gemäß dem Basismodell *Eigenerfahrung*.
6. Entwerfen Sie eine Stunde zur Einführung der Zentripetalkraft gemäß dem Basismodell *Konzeptwechsel*.
7. Entwerfen Sie eine Stunde zur Einführung der Zentripetalkraft gemäß dem Basismodell *Problemlösen*.

10 Zusammenfassung

Wir gliedern die Unterrichtsstunde in Phasen, um überschaubare funktionale und zielführende Abschnitte des Lernprozesses zu schaffen. Im Idealfall ermöglichen diese überblickbaren Phasen den SuS variables, selbstständiges, progressives, kompetenzförderndes, nachhaltiges, individualisiertes oder teambezogenes sowie anspruchsvolles Handeln. Ich wünsche Ihnen mit Ihren SuS viele Phasen mit großartigen Lernerlebnissen.

Literatur

- [Aebli 1997] Aebli, Hans: Zwölf Grundformen des Lehrens. Stuttgart, Klett-Cotta, 9. Aufl., 1997.
- [Draxler 2006] Draxler, Christina: Facetten professioneller Handlungskompetenz von Physik- und Sachunterrichtslehrerinnen und -lehrern. Duisburg-Essen, Universität, Fachbereich Physik, Dissertation, 2006.
- [Draxler 2005] Draxler, Dennis: Aufgabendesign und basismodellorientierter Physikunterricht. Duisburg-Essen, Universität, Fachbereich Physik, Dissertation, 2005.
- [Horn 2009] Horn, Wolfgang: Reihenfolge der Planungsschritte für Unterrichtsstunden. Zusammenfassungsblatt, Stade, Studienseminar, 2009.
- [Kircher 2001] Kircher, Ernst; Girwidz, Raimund; Häußler, Peter: Physikdidaktik. Berlin, Springer, 2001.
- [Leisen 2007] Leisen, Josef: Problemorientierter Unterricht und Aufgabenkultur. In: Mikelskis-Seifert, Silke; Rabe, Thorid (Hrsg.): Physik Methodik. Berlin, Cornelsen, 2007.
- [Meyer 1987] Meyer, Hilbert: Unterrichtsmethoden I. Berlin, Cornelsen, 1987.
- [Spitzer 2006] Spitzer, Manfred: Lernen - Gehirnforschung und die Schule des Lebens. Heidelberg, Spektrum Akademischer Verlag, 2006, S. 145.
- [Trendel 2007] Trendel, Georg; Wackermann, Rainer; Fischer, Hans E.: Lernprozessorientierte Lehrerfortbildung in Physik. In: Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften; Jg. 13, 2007, S. 9-31.