

Fachdidaktik Physik: 1.3.2. Problemlösen und Entdeckenlassen

Hans-Otto Carmesin

Gymnasium Athenaeum Stade, Studienseminar Stade

Hans-Otto.Carmesin@t-online.de

16. März 2021

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	2
2	Vorbereitung	2
2.1	Wahl eines passenden Lehrverfahrens	2
2.2	Wahl eines Problems	3
2.3	Typen von Lernbarrieren	4
3	Phasen	6
3.1	Problemstellung	6
3.2	Problemanalyse	6
3.3	Lösung	6
3.4	Sicherung	6
3.5	Erprobung, Reflexion, Transfer	7
4	Rolle der Lehrkraft	7
5	Heuristiken und Reflexion	9
6	Entlastung der Schüler	11
6.1	Kognitive Entlastung	11
6.2	Zeitliche Entlastung	12
7	Aufgaben	13
8	Zusammenfassung	13

1 Einleitung

Mit problemlösendem und entdeckenlassendem Unterricht können Sie Ihren Schülern ein besonders intensives Lern- und Kompetenzerlebnis ermöglichen. Daher ist es sinnvoll, dass Sie auch mit diesen Lehrverfahren unterrichten können. Zudem bietet dieses Verfahren eine besonders hohe Lernwirksamkeit, so wurde unter den Lehrverfahren die höchste Effektstärke¹ von $d = 0,61$ ermittelt (s. [Hattie \(2009\)](#)). Selbst Vertreter von Lehrverfahren, bei denen die Lehrkraft intensiv steuert, stellen fest, dass ein durch Schüler gesteuerter Lernprozess gerade bei höheren Lernzielen wie Reflexion und Argumentation günstig ist (s. [Farkota \(2003\)](#), S. 289). Die Lehrkraft sollte die Lernenden allerdings zur Problemlösung befähigen, indem sie Lösungsstrategien vermittelt, die Grundlagen dazu haben wir ausgearbeitet, erprobt, weiterentwickelt und veröffentlicht (siehe [Kück u. Carmesin \(2017\)](#), der Aufsatz ist auch im Skript zu finden).



Abbildung 1: Aha-Erlebnis: Wenn Ihre SuS ein Problem als relevant sowie schwierig einschätzen und es anschließend lösen, dann haben Sie im Gehirn Ihrer Schüler sehr günstige Voraussetzungen für das Lernen geschaffen (s. [Roth \(2006\)](#)).

2 Vorbereitung

2.1 Wahl eines passenden Lehrverfahrens

Wir gliedern diese Lehrverfahren nach Speth (s. [Euler u. Hahn \(2004\)](#)) nach dem Ausmaß der Hinweise, die der Lehrer gibt:

- Bei darbietenden Lehrverfahren zeigt der Lehrer die anzueignende physikalische Tätigkeit komplett.
- Bei erarbeitenden Lehrverfahren leitet der Lehrer die SuS an die physikalische Tätigkeit auszuüben.

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 \(2009\)](#)).

-
- Bei entdeckenlassenden und problemlösenden Lehrverfahren entwickeln die SuS die physikalische Tätigkeit, indem sie eine durch den Lehrer arrangierte Lernbarriere überwinden.

Wir wählen ein problemlösendes oder entdeckenlassendes Lehrverfahren nur dann, wenn die SuS die Lernbarriere relativ selbstständig überwinden können und wenn die Lernbarriere zugleich anspruchsvoll ist (s. Farkota (2003), S. 289). In einem solchen Fall bevorzugen wir auch ein solches Lehrverfahren, weil es ein besonders nachhaltiges Lernerlebnis verspricht.

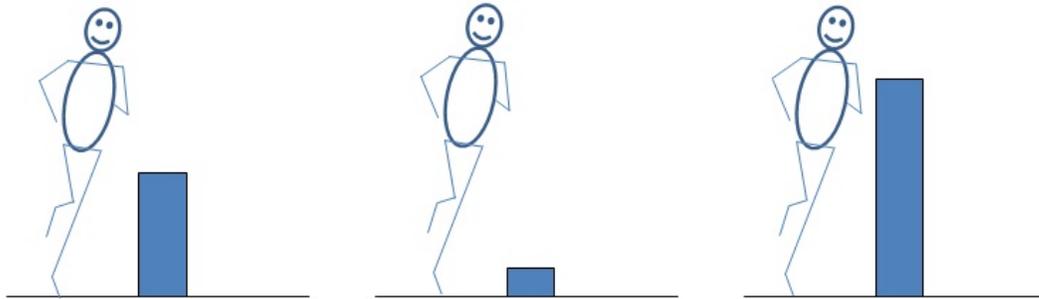


Abbildung 2: Lernbarrieren: Die SuS sollen die Lernbarriere relativ selbstständig überwinden können und diese zugleich als Herausforderung empfinden. In diesem Sinne ist eine Barriere mittlerer Schwierigkeit wesentlich.

2.2 Wahl eines Problems

Wir wählen möglichst ein Problem, das die SuS als relevant für sich und ihr weiteres Leben einschätzen. Denn ein solches Problem motiviert (s. Roth (2006)), macht den Sinn der Physik transparent (s. Muckenfuß (1995)), macht physikhaltige Zusammenhänge in lebensweltlichen Kontexten erkennbar (s. Euler (2009)) und entspricht bei anschließender Generalisierbarkeit dem Prinzip des exemplarischen Lernens (s. Wagenschein (1999)).

Nicht immer finden wir ein solches lebensweltliches Beispiel. Ein Lehrverfahren, bei dem die SuS eine herausfordernde Lernbarriere relativ selbstständig überwinden, nennen wir bei einem innerphysikalischen Beispiel *entdeckenlassend* und bei einem lebensweltlichen Beispiel *problemlösend*.

Das problemlösende Lehrverfahren erfüllt wesentliche für das Lernen förderliche Bedingungen (s. Mikelskis-Seifert u. Rabe (2007)):

- Die SuS lösen ein authentisches Problem.
- Sie aktivieren dabei ihr Vorwissen.
- Sie integrieren dabei die neuen Kompetenzen in bestehende.
- Sie erkennen in einer abschließenden Reflexionsphase, welches Wissen und welche Kompetenz sie erworben haben.

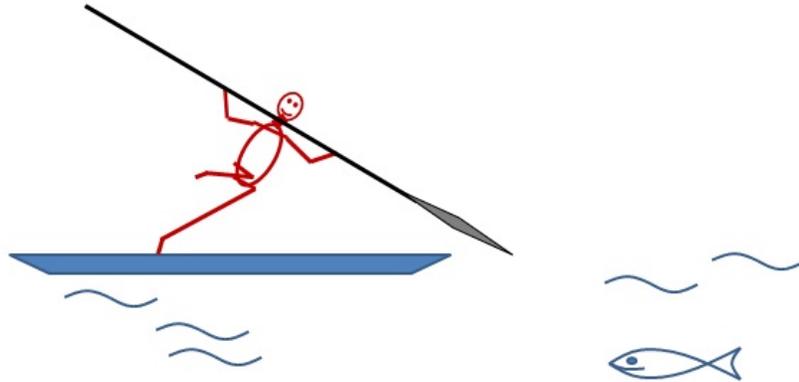


Abbildung 3: Der Speerfischer als Beispiel für ein physikalisches Problem: Der Speerfischer ist insofern an die Lebenswelt der SuS angelehnt, als diese im Schwimmbad den Boden sehen und eventuell nach dort liegenden Ringen tauchen. Auch kennen sie Aquarien, Wassergläser, Meeresoberflächen und dergleichen mehr, bei denen ebenfalls Blickrichtungen vorsichtig gedeutet werden müssen.

2.3 Typen von Lernbarrieren

Sie können eine Vielzahl von Lernbarrieren arrangieren. Sie können beispielsweise Aebli's drei Gruppen von Barrieren nutzen (s. [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.

Kurzentwurf für eine Physikstunde

Athenaeum

7E3

Thema der Unterrichtseinheit: Optik

Entdeckung der Bedingungen des Sehens

Entdeckung der Geradlinigkeit der Lichtausbreitung

Entdeckung unterschiedlicher Schattenräume

Entdeckung der Formen des beleuchteten Teils einer von einer Punktlichtquelle beleuchteten

Kugel und Deutung der Mondphasen

Entdeckung der Lochkamera und Erläuterung ihrer Funktionsweise

Einführung des Abbildungsmaßstabs

Entdeckung des Reflexionsgesetzes

Entwicklung eines Verfahrens zum Zeichnen des Urbilds zu einem Spiegelbild

Übungen zur Reflexion und zu Spiegelbildern

Entdeckung der Brechung von Licht

Didaktik: Stundenlernziel: Die Schüler sollen den Verlauf von Licht, das von Luft in Wasser eintritt, beschreiben und skizzieren können.

Inhaltliche Aspekte	Verhaltensaspekte dazu
Lernvoraussetzung 1: Geradlinige Ausbreitung von Licht	Erläutern, Zeichnen
Teillernziel 1: Falsches Peilen durch die Wasseroberfläche	Erkennen, Beschreiben
Teillernziel 2: Vermuten des Abknickens von Lichtstrahlen an der Wasseroberfläche	Vermuten
Teillernziel 3: Kontrollversuch mit Laserpointer	Planen, Durchführen, Erläutern

Methodik: Dominantes Lehrverfahren: Problemlösend

Zeit	Didaktische Erläuterungen	Methodische Erläuterungen	Sozialform
10	<u>Problemstellung:</u> Peilversuch, Leitfrage, erste Ideen	Speerfischer (Abb.), DE, SuS beschreiben, TA	LSG
20	<u>Problemanalyse:</u> Vermuten der Ursache, Kontrollversuch	zeichnen Licht, vermuten Abknicken, planen Kontrollversuch, AB 1, minimale LH	GA/SV
30	<u>Problemlösung:</u> Kontrollversuch	OHP, DE, TA, minimale LH	SSG
40	<u>Sicherung mit Reflexion und Transfer:</u>	TA, Reflexion zum Vorgehen, Anwenden auf den Speerfischer	SV
	<u>Reserve:</u> Konsolidierung, AB2, HA	Bearbeiten	EA

Abbildung 4: Stundenkonzept für die Entdeckung der Lichtbrechung beim Speerfischen: Wir nutzen als Modellversuch den Peilstabversuch.

3 Phasen

Problemlösende und entdeckend-lernende Lehrverfahren legen eine typische Phasenstruktur nahe (s. Kircher u. a. (2001); Mikelskis-Seifert u. Rabe (2007)). Diese stelle ich am Beispiel einer Stunde zur Lichtbrechung dar:

3.1 Problemstellung

Stufe der Motivation: Die SuS erkennen das Problemfeld anhand eines Bildes eines Speerfischers. Das Speerfischen ist durch einen Modellversuch, den Peilstabversuch, nachgestellt. Liza zielt durch das Rohr auf die Münze. Anschließend wird der gerade Stab durch das Rohr geführt und trifft hinter der Münze den Boden. Die SuS stellen die Frage nach der Ursache, die Leitfrage.

Zieltransparenz: Am Ende dieser Phase muss den SuS bewusst sein, welches Ziel am Ende der Stunde erreicht sein soll. Diese Zieltransparenz ist eine notwendige Voraussetzung dafür, dass die SuS überhaupt zielführend selbstständig handeln können. Daher sollten am Ende dieser Phase auf jeden Fall Lernkontrollen stehen.

3.2 Problemanalyse

Stufe der Schwierigkeiten: Die Schüler stellen Vermutungen auf und planen Kontrollversuche.

Wegtransparenz: Am Ende dieser Phase muss den SuS bewusst sein, wie sie das Ziel in der vorgegebenen Zeit und mit den vorgesehenen Mitteln im Prinzip erreichen können. Diese Wegtransparenz ist eine notwendige Voraussetzung dafür, dass die SuS überhaupt erfolgversprechend eigenständig handeln können. Daher sollten am Ende dieser Phase auf jeden Fall Lernkontrollen stehen. Zudem muss die Lernbarriere von den SuS überwunden werden und darf nicht schon vorab oder durch die Lehrkraft bewältigt werden. Bei jeder problemlösenden Stunde muss die Lehrkraft die SuS zur eigenständigen Lösung befähigen.

3.3 Lösung

Stufe der Lösung: Die SuS führen verschiedene Kontrollversuche durch ².

Ergebnistransparenz: Am Ende dieser Phase muss den SuS bewusst sein, worin das Ergebnis besteht. Daher sollten am Ende dieser Phase auf jeden Fall Lernkontrollen stehen. Diese können auch in der folgenden Phase der Sicherung stattfinden.

3.4 Sicherung

Stufe des Tuns und Ausführens: Die SuS formulieren Ergebnisse der Versuche und beantworten diverse Lernkontrollen. Passend zum Verfahren erfolgt diese Sicherung in großer Selbstständigkeit der SuS, beispielsweise durch einen Vortrag einer Schülergruppe.

²Hier werden Demonstrationsexperimente bevorzugt, Schülerversuche mit Laserpointern sind in der Altersgruppe aus Sicherheitsgründen in der Altersgruppe nur bedingt zu empfehlen.

Kommunikationstransparenz: Am Ende dieser Phase muss den SuS bewusst sein, was die Formulierung bedeutet. Daher sollten am Ende dieser Phase auf jeden Fall Lernkontrollen stehen.

3.5 Erprobung, Reflexion, Transfer

Stufe des Behaltens und Einübens, des Bereitstellens sowie der Übertragung und Integration des Gelernten: Die SuS fassen das Vorgehen reflektierend zusammen. Sie wenden ihre Ergebnisse auf die Strategie des Speerfischers an. Sie bearbeiten eine Hausaufgabe.

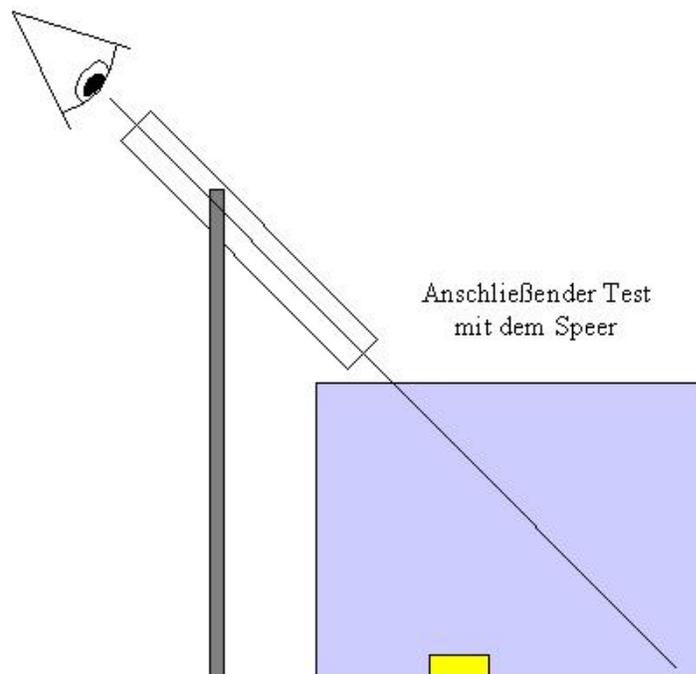
Prozesstransparenz: Am Ende dieser Phase muss den SuS bewusst sein, wie das Ergebnis gewonnen wurde. Daher sollten am Ende dieser Phase auf jeden Fall Lernkontrollen stehen.

4 Rolle der Lehrkraft

Auf gar keinen Fall dürfen wir als Lehrer unsere Aufgabe beim problemlösenden Unterricht unterschätzen³. Zunächst müssen wir die Zieltransparenz für alle SuS sicherstellen. Hierzu sind Lernkontrollen unerlässlich. Sodann müssen wir die Wegtransparenz für alle SuS erzeugen. Auch hier sind Lernkontrollen unverzichtbar. Erst wenn alle unsere SuS wissen, welches Ziel sie auf welchem Weg erreichen sollen, dann können sie sich an das Überwinden der arrangierten Barriere machen. Hierbei geben wir frühzeitig genug gestufte Lernhilfen, so dass möglichst alle SuS das Ziel in der gesteckten Zeit erreichen. Zur Sicherung tragen die SuS in der Regel ihre Ergebnisse möglichst selbstständig vor. Dennoch sorgen wir dafür, dass mögliche Schwächen des Vortrags korrigiert, Lernkontrollen breit durchgeführt und nötigenfalls Ergänzungen oder Vertiefungen angefügt werden, so dass das Lernziel spätestens bei der Sicherung von allen SuS erreicht wird.

³ Kritiker des Lehrverfahrens werfen vor, dass die SuS zu oft überfordert werden (s. [Kirschner u. a. \(2006\)](#)).

Speerfischen: Warum kann Liza die Röhre nicht zur Münze ausrichten?



Beobachtung: Durch die Wasseroberfläche kann Liza nicht peilen.

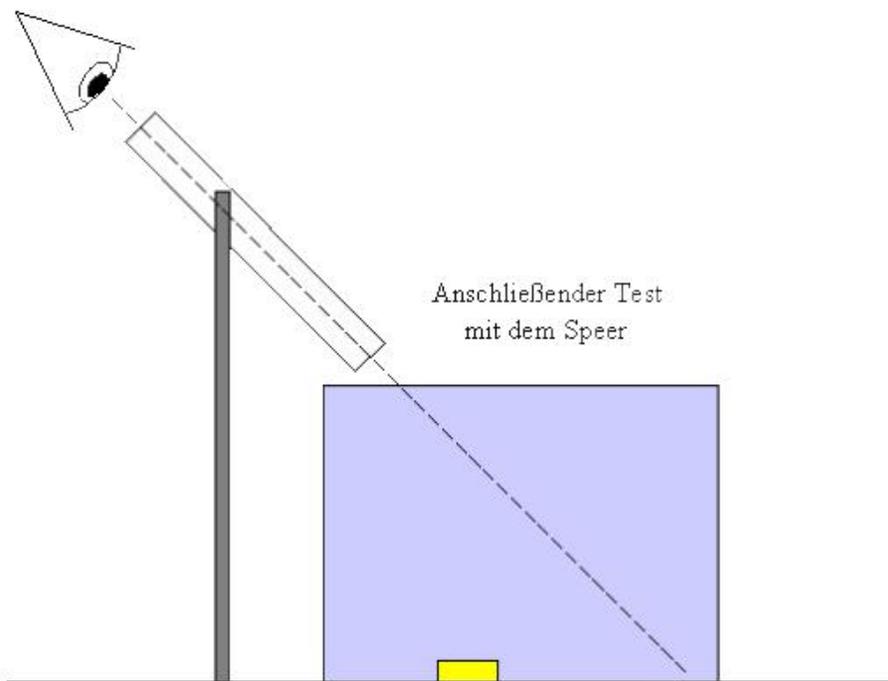
Ideen:

- Auf welchem Weg kommt das Licht von der Münze ins Auge?
- Das Licht breitet sich in der Luft geradlinig aus.
- Das Licht breitet sich im Wasser geradlinig aus.

Abbildung 5: Tafelbild zum Beginn der Gruppenarbeit: Ziel- und Wegtransparenz sind aus dem Gespräch erwachsen und für alle gut sichtbar.

Bei problemlösenden und entdeckenlassenden Lehrverfahren sollen die SuS die wesentliche Lernbarriere der Stunde möglichst selbstständig überwinden. In den entsprechenden Phasen beschränken wir uns daher auf ein möglichst geringes Maß an Lernhilfen. Diese erteilen wir gestuft und individuell je nach Bedarf. Die klassischen gestuften Lernhilfen sind (s. [Zech \(1996\)](#)):

- Motivationshilfen: Beispiel: “Du schaffst das schon.”
- Rückmeldungshilfen: Beispiel: “Dieser Weg führt weiter.”
- Allgemein-strategische Hilfen: “Überlegt euch zunächst, was wir bereits über die Ausbreitung von Licht wissen.”
- Inhaltsorientierte strategische Hilfen: Beispiel: “Ihr könnt versuchen den Weg des Lichts einzuzeichnen, das von der Münze ins Auge geht.”
- Inhaltliche Hilfen: “Im Wasser verläuft das Licht geradlinig, ebenso in der Luft. Auf welchem Weg kommt dann das Licht von der Münze ins Auge?”



Speerfischen: Warum kann sie die Röhre nicht zur Münze ausrichten?

Zeichne den wesentlichen Lichtstrahl!

Vermutung:

Plane Kontrollversuche mit einem Laserpointer!

Abbildung 6: Arbeitsblatt zur Gruppenarbeit: Das Skizzieren und Zeichnen wird zeitlich entlastet, die SuS können sich ganz auf die Problemlösung konzentrieren.

5 Heuristiken und Reflexion

Beim Problemlösen müssen die SuS ihr Können verallgemeinernd anwenden. Dazu gibt es eine Vielzahl von Strategien, sogenannte Heuristiken (s. Kircher u. a. (2001); Mikelskis-Seifert u. Rabe (2007)):

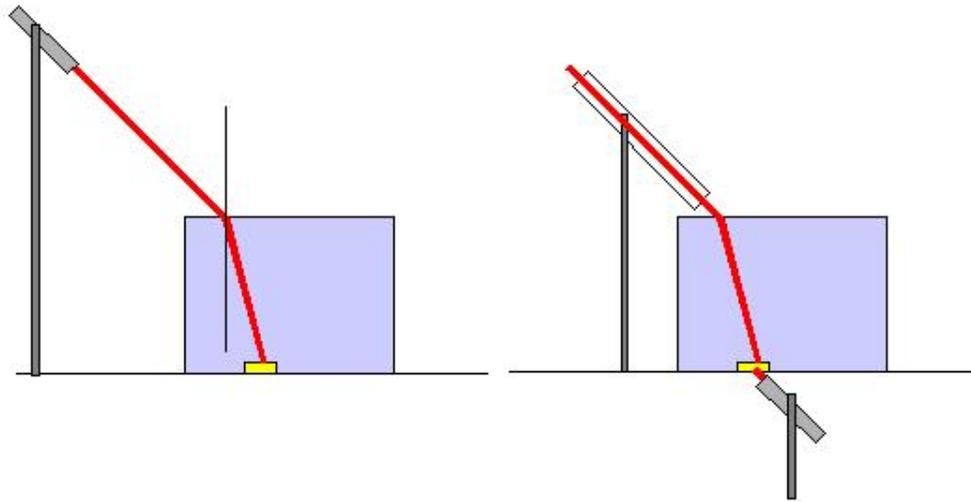
- Eigene Problembeschreibung
- Andere Formulierung

-
- Einfachheit: Wie kann ich das Problem mit bekannten Begriffen verständlicher oder sogar einfacher formulieren?
 - Anschaulichkeit: Wie kann ich das Problem veranschaulichen oder anders darstellen?
 - Analogie: Habe ich ein ähnliches Problem gelöst?
 - Zerlegung in Teilprobleme
 - Rückführung auf bekannte Probleme
 - Reduktion: Kann ich das Problem auf Wesentliches eingrenzen?
 - Klassifizieren: Kenne ich den Aufgabentyp?
 - Vorwärtsarbeiten: Was kann ich aus den Angaben folgern?
 - Rückwärtsarbeiten: Wie und woraus kann ich das Gesuchte folgern?
 - To Do List

Beim Problemlösen entwickeln die SuS ihre Heuristiken weiter, besonders, wenn wir anschließend darüber reflektieren. Zur Reflexion bieten sich folgende Fragen an:

- Was habe ich Neues gelernt?
- Welche Wissenslücken habe ich erkannt?
- Welche Lösungsstrategien haben mir geholfen?
- Welche neuen Vorgehensweisen kann ich erkennen?
- Welcher Lösungsweg ist besonders vorteilhaft?
- Was ist verallgemeinerbar?

Kontrollversuche mit dem Laserpointer:



Ergebnisse:

Tritt ein Lichtstrahl von Luft in Wasser, so wird er zum Einfallslot hin gebrochen.

Tritt ein Lichtstrahl von Wasser in Luft, so wird er vom Einfallslot weg gebrochen.

Ausnahme: Trifft ein Lichtstrahl senkrecht auf eine Wasseroberfläche, wird er nicht gebrochen.

Abbildung 7: Tafelbild nach den Versuchen: Aussagekräftige Skizzen zu den Kontrollversuchen und Merksätze sichern die Ergebnisse.

6 Entlastung der Schüler

6.1 Kognitive Entlastung

Gerade beim problemlösenden Lehrverfahren ist eine besonders gründliche didaktische Analyse wichtig, damit die SuS das Ziel auch wirklich selbstständig erreichen können. Dabei achten wir besonders darauf, dass die Stunde nicht zu überflüssigen kognitiven Belastungen der SuS führt:

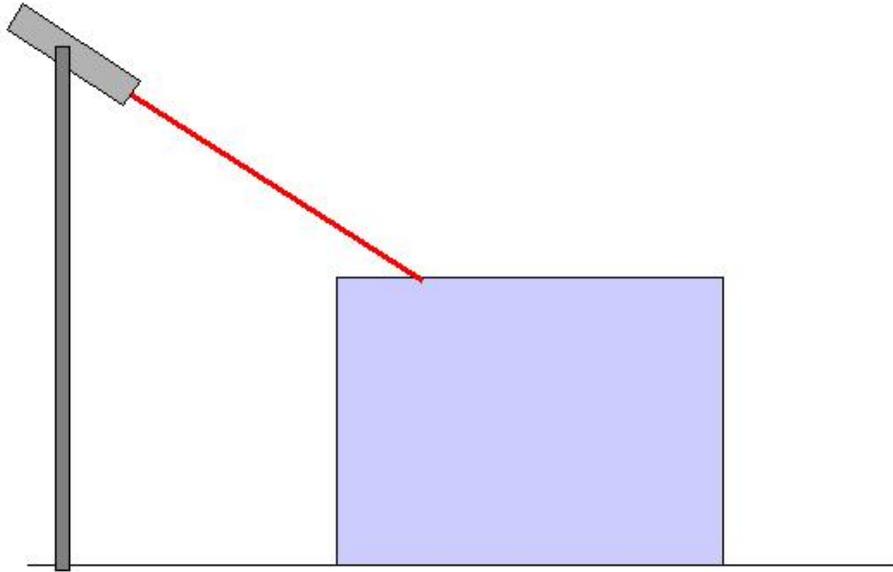
- Wir berücksichtigen die Begrenzung des Kurzzeitgedächtnisses auf etwa 7 Dinge (s. [Miller \(1956\)](#)).
- Intrinsische Belastung (s. [Sweller \(2003\)](#)): Das Lernmaterial (Problem, Aufgabe, Versuch, Foto, ...) bedingt eine Belastung. Wir entlasten durch didaktische Reduktion des Lernmaterials und dem Erreichen vieler Lernziele am gleichen Lernmaterial.
- Extrinsische Belastung (s. [Sweller \(2003\)](#)): Die Instruktion führt zu einer Belastung. Wir entlasten durch Gliedern, Strukturieren, Binnendifferenzierung, Themendifferenzierung

-
- Lernbezogene Belastung (s. Sweller (2003)): Lernen setzt grundlegende Schemata voraus, deren Fehlen belastet. Wir entlasten durch Automatisieren, Entwickeln methodischer und prozessbezogener Kompetenzen sowie sinnvoller und zweckmäßiger Gewohnheiten in der Lerngruppe.

Arbeitsblatt, Klasse 7, Dr. Carmesin

Frühling 2008

- 1) Skizziere den weiteren Verlauf des Laserstrahls!



- 2) Beschreibe das Foto!



- 3) Zusatzaufgabe: Erkläre das Foto!

Abbildung 8: Hausaufgabe: Während die SuS in Aufgabe 1 das Gelernte direkt anwenden, weisen die Aufgaben 2 und 3 mit zunehmendem Anspruch auf Neues.

6.2 Zeitliche Entlastung

Gerade beim problemlösenden Lehrverfahren sind die SuS durch das Überwinden der Barriere besonders belastet. Damit sie sich hierauf optimal konzentrieren können, entlasten wir die

Stunde von überflüssigen zeitaufwändigen Aktionen:

- Zeitmanagement: Wir planen alternative Stundenenden.
- Einstieg: Wir nutzen vorbereitende Hausaufgaben oder aus der Vorstunde bekannte Problemfelder.
- Lösung: Wir stellen Material für aufwändige Messreihen bereit. Das Buch bleibt zu! Wir stellen hilfreiche randständige Berechnungen bereit.
- Sicherung: Wir nutzen die Folie statt der Tafel. Wir kopieren Ergebnisse statt diese abschreiben zu lassen.
- Konsolidieren: Wir nutzen Hausaufgaben und Folgestunden.

7 Aufgaben

1. Analysieren Sie die dargestellte Stunde mit der Kompetenzmatrix!
2. Entwerfen Sie zur dargestellten Stunde weitere gestufte Lernhilfen!
3. Wenden Sie möglichst viele der genannten Heuristiken auf die dargestellte Stunde an!
4. Wenden Sie die Fragen zur Reflexion auf die dargestellte Stunde an und nennen Sie mögliche konstruktive Antworten!
5. Skizzieren Sie eine problemlösende Stunde zur Klassenstufe 5!
6. Skizzieren Sie eine problemlösende Stunde mit einem kognitiven Konflikt!
7. Skizzieren Sie eine problemlösende Stunde zum Thema Lochkamera!

8 Zusammenfassung

Problemlösender und entdeckenlassender Unterricht kann die SuS besonders motivieren, ihnen außergewöhnlich intensive Lernerlebnisse bieten und überdurchschnittlich nachhaltige sowie transferierbare Lernerfolge hervorbringen. Aber nicht jedes Thema eignet sich hierzu. Zudem erfordert dieser Unterricht ein vorausschauendes und in sich sehr stimmiges Konzept. Nur so können alle SuS auch ohne nachträgliche Ergänzungen oder Lenkungsmaßnahmen der Lehrkraft das Ziel erreichen. Hierzu ist auch eine besonders gründliche didaktische Analyse wesentlich. Ich empfehle Ihnen: Sie unterrichten sowieso, warum nutzen Sie dann nicht gleich die hervorragendsten Lehrverfahren? Und warum erlernen Sie diese dann nicht möglichst frühzeitig? Ich wünsche Ihnen, dass Sie möglichst viele lebensweltliche physikhaltige Problemstellungen finden, die Ihre Schülerinnen und Schüler mit Begeisterung und hoher Selbstständigkeit lösen.

Literatur

- [Aebli 1997] AEBLI, Hans: *Zwölf Grundformen des Lehrens*. 9. Stuttgart : Klett-Cotta, 1997
- [Euler u. Hahn 2004] EULER, D ; HAHN, A: *Wirtschaftsdidaktik*. 2. Hamburg : UTB, 2004
- [Euler 2009] EULER, M.: *Physik im Kontext*. Download 2009. walter-fendt.de. Version: 2009
- [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
- [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
- [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
- [Kück u. Carmesin 2017] KÜCK, Andrea ; CARMESIN, Hans-Otto: Lösungsstrategien im Physikunterricht. In: *PhyDid B* (2017)
- [Mikelskis-Seifert u. Rabe 2007] MIKELSKIS-SEIFERT, Silke ; RABE, Thorid: Der darbietende Unterricht. In: MIKELSKIS-SEIFERT, Silke (Hrsg.) ; RABE, Thorid (Hrsg.): *Physik Methodik*. Berlin : Cornelsen Skriptor, 2007
- [Miller 1956] MILLER, G. A.: The magic number seven plus minus two: some limits on our capacity to process information. In: *Psychological Review* 63 (1956), S. 81–97
- [Muckenfuß 1995] MUCKENFUSS, Heinz: *Lernen im sinnstiftenden Kontext*. Berlin : Cornelsen, 1995
- [Roth 2006] ROTH, Gerhard: Möglichkeiten und Grenzen von Wissensvermittlung und Wissenserwerb. In: CASPARI, Ralf (Hrsg.): *Lernen und Gehirn*. Freiburg : Herder, 2006, S. 54–69
- [Sweller 2003] SWELLER, J.: Evolution of human cognitive architecture. In: *The Psychology of Learning and Motivation* 43 (2003), S. 215–266
- [Wagenschein 1999] WAGENSCHN, Martin: *Verstehen lehren*. Weinheim : Beltz Verlag, 1999
- [Zech 1996] ZECH, Friedrich: *Grundkurs Mathematikdidaktik*. 8. Weinheim : Beltz Verlag, 1996