

Kerzen – Chemie und Mathematik

Ein Thema – viele Schulstufen und Disziplinen

Stefan Meyer, Dozent HfH

Abstract

Diese Projektskizze beschreibt, wie man Chemie und Mathematik stufenübergreifend verbinden könnte. Dabei spielt die Projektmethode ebenso eine tragende Rolle wie auch das flexible Interview. Mit beiden Ansätzen kann man die Erkenntnisinteressen und die Kompetenzen beim Erkennen von Zusammenhängen dokumentieren und evaluieren.

Gespräche und Erfahrungen in exemplarischen Experimenten dynamisieren sowohl den integrativen Mathematik- als auch den Chemieunterricht.

Schlüsselwörter

Forschendes Lehren und Lernen, Projektmethode, Chemie, Mathematik, flexibles Interview, dialogische Pädagogik.

Literaturangabe

Meyer, S. (2012). *Kerzen – Chemie und Mathematik. Ein Thema – viele Schulstufen und Disziplinen*. Unveröffentlichtes Skript, Interkantonale Hochschule für Heilpädagogik, Zürich. (work in progress)

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung.....	3
2. Absicht dieses Essays.....	4
3. Wahl eines Sachthemas und die dialogische Inhaltsanalyse.....	6
3.1 Lernwege mit eng definierten Ausgängen	7
3.2 Lernwege mit offenen Ausgängen.....	7
3.3 Die Verbrennung bei Kerzen	8
4. Das Kerzenexperiment	9
4.1 Der Aufbau des Experiments.....	9
4.2 Kritische Erörterung der Fragetechnik – Suggestionen kontrollieren lernen	9
4.3 Die Durchführung einer Befragung	10
4.3.1 Wortschatz und Sachverständnis des Kindes klären.....	10
4.3.2 Befragung durchführen	11
4.4 Das Experiment strukturieren	11
4.5 Erklärungen des Kindes beobachten und festhalten.....	13
4.6 Interpretation der Beobachtungen: die Niveaus der Einsichten in den Brennvorgang.....	14
5. Das dialogische, niveauiorientierte Unterrichten	16
6. Die Gestaltung von Unterrichtssequenzen (in Stichworten).....	18
6.1 Die Projektmethode	18
6.2 Zuerst forschen dann lehren: das flexible Interview.....	18
6.3 Die Dimensionen des Unterrichts	18
6.4 Die Dynamik der Lernprozesse.....	18
6.5 Die Darstellungsformen nach J. Bruner.....	19
6.6 Chemische Experimente und Mathematisierung.....	19
6.7 Spiralprinzip, Rekursivität, Vernetzung	19
7 Beginn der Mathematisierung, die Zeitmessung, die Volumenberechnungen, Erkennen von Proportionen usf.	20
8 Ausblicke.....	21
Literatur	22

1. Einleitung

Die Versuchsreihen aus dem Buch von Gisela Lück (2000) bieten eine Auswahl von Sachthemen für unterschiedliche pädagogischen Situationen an. Auf der einen Seite kann man die Experimente für das Studium von kognitiven Denkprozessen nutzbar machen. Auf der andern Seite liefern sie interessante didaktische Skizzen für den Unterricht.

Im Prinzip kann man die beiden Ebenen, die kognitiven Denkprozesse der am Unterricht Beteiligten und die dabei verwendeten didaktischen Skizzen verallgemeinern: Alles, was Schüler und Lehrpersonen unternehmen und besprechen liefert Hinweise für die Einsicht in das, was Unterricht und Lernen ausmacht. Und: alles, was sie unternehmen und besprechen kann wiederum Stoff und Gewinn für den Unterricht liefern. Dies wird in der Wirtschaft „return on invest“ genannt. Im weitesten bildungsökonomischen Sinn kann man darunter das Verhältnis zwischen dem erzielten Lerngewinn einer Investition und dem investierten Bildungskapital verstehen.

Die Kommunikation und die Entscheidungen in der Klasse sind wesentliche Elemente der Kultur des Investierens. Dazu gehören auch die Führungsprinzipien und -mittel, welche angewendet werden (Lehrplan, Lehrmittel, Methoden, Stile). Es geht um die Qualität der themenbezogenen Gegenseitigkeit, unter der Berücksichtigung des Kontextes (Prange, 1983). Dazu gehören Vermitteln von Information durch die Lehrpersonen (Gruschka, 2002) und das Einbringen des Weltwissens der Schülerinnen und Schüler.

Auf den ersten Blick könnte man meinen, dass die Inszenierung von Experimenten das Familienleben oder den Schulalltag interessanter macht. Beim näheren Hinsehen erweist sich das Unternehmen, jetzt mit Blick auf die Schule, als etwas Komplexeres. Die Inszenierung läuft Gefahr, als Event vorüber zu gehen. Dieses hätte ungefähr folgende Abschnitte. Zuerst wird über ein paar Fragen das Interesse der Schüler auf das Thema gelenkt. Danach lässt man die Schüler je nach Alter experimentieren. Vermutlich werden sie das in Gruppen durchführen können. In den Gruppen wird jemand ein paar Notizen machen. Nach dieser praktischen Phase trifft man sich im Plenum. Die Experimente werden über ein Lehrgespräch besprochen. Die Lehrperson notiert die wichtigsten Punkte. Zu guter Letzt füllen die Schüler ein bereits gedrucktes Blatt aus. Sie beschriften die Zeichnungen, notieren die Merksätze und malen aus. Das Blatt wird kontrolliert. Vielleicht folgt eine Prüfung, in der geschaut wird, ob die Schüler verstehen, weshalb eine Kerze unter einem Glas auslöscht.

Problematisch an dieser Skizze bleiben folgende Fragen:

- Was hat ein Kind mit kognitiven Entwicklungsverzögerungen von diesem Experiment begriffen?
- Hat die Schülerin die chemischen und physikalischen Sachverhalte *der Spur nach verstanden*, aber noch nicht vollends begriffen?
- Fühlte sich ein begabtes Kind nicht unterfordert? Hätte es die Versuche nicht selber durchführen und beschreiben können?
- Was ist der Sinn und Zweck des Arbeitsblattes?

- Wie soll sich eine Lehrperson in dieser Situation verhalten, dass die Schüler die Einsichten in diese Sachverhalte selber erschliessen, beobachten, austauschen und vorläufig sichern können?
- Wie soll man vorgehen, wenn auch nach der Durchführung immer noch Diskrepanzen zwischen den persönlichen Einsichten und den regulären Erklärungen bestehen? Soll man abwarten, soll man nachdoppeln, soll man einfach etwas Anderes dran nehmen?
- Wie können solche Experimente auch in anderen Fächern wie der Sprache oder der Mathematik nutzbar gemacht werden?
- Ist der Umgang mit der Zeit zum Lernen effizient gestaltet, wenn er so schablonenhaft organisiert wird?

Alle diese Punkte problematisieren drei Kernfragen, nämlich den Umgang der Lehrperson mit unterschiedlichen Niveaus von Einsichten in ein Sachthema, den Umgang in der Klasse mit einem Forschungsgegenstand (Fachdidaktik), sowie die Vernetzung eines Sachthemas mit dem übrigen Unterricht, dem Lehrplan und der Langzeitperspektive.

2. Absicht dieses Essays

Im aktuellen pädagogischen Diskurs nimmt der Begriff der Heterogenität breiten Raum ein. Ein Aspekt der Heterogenität wird durch die unterschiedlichen Niveaus des Denkens und Verstehens gebildet. Dies kann so missverstanden werden, dass man meint, man müsse jedem Kind ein niveaugerechtes Arbeitsblatt austeilen. Man meint, dass dieses Vorgehen mit der genetischen Entwicklungspsychologie und dem Konstruktivismus legitimiert werden könnte. Daraus entsteht die Ideologie, nach der jedes Individuum ein spezifisches Denkniveau besitzt, dem man gerecht werden sollte. Die Perfektionierung der Didaktik wird über die Individualisierung von Arbeitsblättern gewährleistet. Das ist eine Parodie des Konstruktivismus.

Ein Vorgehen im wie auch immer gearteten Gleichschritt oder einer gleich gearteten Struktur ist nach Gruschka (2002) eine didaktische Behandlung des Schülers unter dem Vorwand der Behandlung von Stoff. Es ist ein Tun als ob es sich um Lernen handelte. Dieser Essay soll in eine andere Richtung wirken. Es geht nicht um einen radikalen Verzicht auf Didaktik. Absicht ist vielmehr, didaktische Modelle als *Orientierungshilfe für Lehrpersonen oder Schulpsychologen* so zu entwerfen, dass Öffnung und Befreiung des Unterrichtens realisierbarer werden.

Diese Schrift will die Brücke von der pädagogischen oder psychologischen Diagnostik zum Unterrichtsgeschehen umbauen. Es geht um die Vernetzung des Forschens, des Lehrens und des Lernens in Einsicht (Piaget & Garcia, 1987). Dabei steht die Niveauorientierung (Freudenthal, 1991) als ein Tun im Zentrum. Das flexible Interview ist die Methode, auf der die Handlungen im Unterricht operativ und weniger ideologisch abstützen.

Die folgenden Ausführungen weisen exemplarisch darauf hin, wie ein flexibles Interview zu einem Sachthema (Kerzenexperiment) vorbereitet, durchgeführt und ausgewertet, sowie im Unterricht verwendet werden kann.

In der Fachliteratur finden sich viele vorbereitete Experimente, jedoch noch wenige, welche den Übergang zwischen Sachthemen und kognitionspsychologischen sowie den pädagogischen Fragestellungen beschreiben und didaktisch nutzbar machen.

Das Besondere an den Fragen zur Niveauorientierung im Unterricht ist nicht die Frage nach dem Wissen, sondern die Frage, wie das Verstehen und das Wissen zustande kommt: Wenn das Kind über Sachverhalte spricht, bemüht sich eine kluge Gesprächsmoderation um die Verknüpfung und Weiterverwendung von Beobachtungen und Einsichten, sei es beim Kind allein oder sei es in einer Gruppe. Man folgt dem Motto der genetischen Erkenntnistheorie: Wie wird Erkenntnis (Piaget, 1996)?

*Didaktisch haben sich vor allem Methoden des forschenden Lernens und des Problemlösens, sowie Werkzeuge wie [das flexible Interview](#) (als qualitatives Experiment, als Methode der kritischen Exploration), das Laute Denken und die Haltung und Technik des Scaffolding bewährt (Helmke, 2009). Gemeint ist damit die Hilfestellung der Lehrkraft, welche den Lernenden befähigt, ein Problem zu lösen, eine Aufgabe auszuführen oder ein Ziel zu erreichen, ohne dass (im Idealfall) Hilfestellungen angeboten werden. Auf diese Weise wird die kommunikative Dimension in diesem Experiment abgedeckt. Die Kooperation und die Unterrichtsprozesse lassen sich durch *Moderationstechniken* unterstützen. Diese Elemente bilden Umweltfaktoren, in denen Intelligenz und Kompetenzen sozial vermittelt werden (vgl. Wygotski, 1986).*

Die pädagogischen Fragen dieser Projektskizze beziehen sich auf die Belange der Integration. Nach Cuomo (2007) und Imola (2010) sollten dabei zwei Vektoren beachtet werden.

Der eine Vektor bezieht sich auf die Qualität der pädagogischen Handlungen. Diese können unterteilt werden in Handlungen, die den Charakter des Erduldens und der Passivität haben. Dies ist bei geschlossenen und geführten Lehr- und Lernprogrammen quasi die Regel. Es sind die Indikatoren einer passiven Erziehung. Die andere Qualität von Handlungen ist diejenige des Erlebens. Sie stellen die Indikatoren für eine aktive Erziehung.

Der andere Vektor enthält die Fragen nach der Wirksamkeit im Aufbau von Kompetenzen. Er ist dreifach unterteilt: die Wirksamkeit im Aufbau der Autonomie einer Person, die Wirksamkeit in der Förderung der Sozialisation und die Wirksamkeit im Aufbau der praktischen und kognitiven Kompetenzen.

Mit Hilfe dieser beiden Vektoren kann die Qualität des Projektverlaufs überprüft werden. So könnte z.B. erkannt werden, dass ein Kind mit einer Behinderung (oder auch mit einer hohen Begabung) im Projekt nur noch geduldet ist, weil die Indikatoren darauf hindeuten, dass das unterrichtliche Arrangement das Kind in die Passivität treibt und kaum noch wirksame Kompetenzerweiterungen sichtbar werden.

Der Essay kann in Anlehnung an Imola (2010) als „pista di lavoro“, übersetzt als Arbeitsweg, bezeichnet werden. Es ist ein Weg, auf dem ein Inhalt aus der Chemie verknüpft wird mit Inhalten der Mathematik. Es ist ein Weg, der hohe Qualität des Erlebens ebenso anstrebt wie hohe Wirksamkeit auf das Lernen: die Autonomie, die Sozialisation und die Kognition bzw. die Pragmatik.

3. Wahl eines Sachthemas und die dialogische Analyse der Sache

„Welches Thema soll ich wählen“, fragen sich Lehrpersonen oft (Frey, 2010). Grundsätzlich sind zwei Wege offen. Der erste weist auf einen vorbereiteten und organisierten Lernweg. Der zweite ist ein offener Lernweg. Beide Wege sollten die Lehrperson oder die Forschende dazu bringen, dass sie Einsichten aufbauen können in die Entwicklung der Einsicht (Denkniveaus) sowie in die Strukturen und Bedeutungen des Sachthemas. Diese Forderung ist beim zweiten Lernweg leichter einlösbar, weil die Lehrenden mit den Lernenden einen Dialog führen, *bevor* sie das Sachthema definitiv wählen und umsetzen. Beim ersten Lernweg wird der Dialog erst während der Durchführung lanciert. Paulo Freire (1980) hatte gefordert, dass man *vor dem Lehren* von den anvertrauten Subjekten *lernen* sollte. Wir müssen uns dieses Lernen zutrauen. Anders kommen wir nicht vom „Spendencharakter“ der Didaktiken weg, wie Freire (1980) kritisch formuliert hatte:

In Wirklichkeit ist ein grosser Teil der Anstrengungen, die die Lernenden vor allem beim Bilden ihrer eigenen Wörter leisten müssten, in den Fibeln bereits vom Verfasser oder der Verfasserin vollzogen. Statt bei den Lernenden Wissbegier zu stimulieren, verstärken die Fibeln also ihre passive rezeptive Haltung, was dem kreativen Charakter des Erkenntnisaktes widerspricht. (ebd., S. 17)

Auch in naturwissenschaftlichen Fächern soll der kreative Erkenntnisakt Vorrang haben vor den Fertigprodukten. Am Anfang kommen Mischformen vor. Gemeint sind damit „gespendete“ Experimente in Kombination mit dialogischeren und handlungsorientierteren Verhaltensweisen der Lehrpersonen und der Schüler. So berichteten Studierende mehrfach, dass beide Wege pädagogische Schlüsselerebnisse ermöglichten und Verhaltensänderungen bei den Lehrpersonen und den Schülerinnen und Schülern unterstützten. Unter der Verwendung der Projektmethode (Frey, 2010) wird offenkundiger, wie die Bildungsziele in einer Gruppe gestreut sind. Es sichtbarer, dass trotz offenen Unterrichtsformen nicht alle Kinder ein Thema gleichzeitig und gleich verstehen. Dies sind Grundpfeiler einer elaborierten niveauorientierten Fachdidaktik (siehe Freudenthal, 1991). Die Niveauorientierung meint nicht, dass man jedem Kind das ihm entsprechende Arbeitsblatt geben soll. Gemeint ist eine Orientierungshilfe, welche sensibel ist für die Fertigkeiten im Umgang mit einem Thema. Sie richtet sich auch aus auf die Obergrenze der Leistungsfähigkeit (Ginsburg und Opper, 2004) und auf die Diskrepanzen des Verstehens in einer Schulklasse. In Anlehnung an Wygotski (1986) ist damit auch die Zone der nächsten Entwicklung gemeint, beim Individuum wie bei einer Gruppe. Daraus folgt, dass die Methoden Verständnishilfen für die Lehrpersonen sind und eben weniger Garanten des Beibringens (vgl. Gruschka, 2002).

Die folgenden Tabellen 1 und 2 arbeiten die Unterschiede zwischen den beiden Wegen heraus. Die Titel der Spalten sind für beide Lernwege dieselben: Wahl des Sachthemas, Bestimmung des Inhalts, Literaturstudium, Experiment, Auswertung, Unterricht (inklusive Förderdiagnostik und Förderplanung).

3.1 Lernwege mit eng definierten Ausgängen

Tabelle 1

Lernweg mit eng definierten Ausgängen

Art des Lernweges	Wahl Sachthema, Bestimmung des Inhalts	Literaturstudium	Experiment	Auswertung	Unterricht
Organisierter Lernweg →	Inhalt und Fragestellungen sind gegeben. Die Experimente sind erprobt.	Quellentexte liegen bereit oder sind zitiert	Die Didaktik des Experiments ist beschrieben	Es liegen Hinweise, Regeln und Normen vor für die Interpretation	Es existieren erprobte Vorschläge.

Tabelle 1 umschreibt die Merkmale des eng definierten Lernweges. Wer am Anfang einen sicheren Weg in vorbereiteten Bahnen vorzieht, soll den Weg mit den definierten Ausgängen einschlagen. Im Kapitel 4 dieser Schrift wird ein exemplarischer Durchgang vorgestellt.

3.2 Lernwege mit offenen Ausgängen

Tabelle 2

Lernweg mit offenem Ausgang

Art des Lernweges	Wahl Sachthema, Bestimmung des Inhalts	Literaturstudium	Experiment	Auswertung	Unterricht
Offener Lernweg →	Inhalte und Fragestellungen sind neu und offen. Die Forschungsfragen wurden von den Kindern gestellt. Es bestehen keine experimentellen Designs (flexible Interviews), sie werden dialogisch aufgebaut.	Die Literatur muss recherchiert werden. Man muss selbst logische Schlussfolgerungen von bestehenden Experimenten und Theorien auf die neuen Theorien ziehen.	Die Didaktik des Experiments muss entwickelt werden. Grundlage sind vorgängige Erfahrungen	Die Regeln für das Ordnen der Beobachtungen und deren Interpretation muss aus der Theorie und vorgängigen Experimenten abgeleitet werden.	Es bestehen noch keine oder erst Teile von Vorschlägen für den Unterricht. Es ist eine recht offene Situation

Tabelle 2 charakterisiert den Lernweg mit offenem Ausgang. Sachthemen werden methodisch neu erschlossen. Die Frage nach der Differenzierung der Denkniveaus wird während der Forschungs- und Lernprozesse erörtert. Die Erörterung besteht aus Beobachtung, Studium der Fachliteratur durch die Lehrpersonen, Interpretationen und Klärungen mit den Kindern. Dieser Weg wird leichter beschritten, wenn genügend Zeit zur Verfügung steht, und wenn man interdisziplinär z.B. mit erfahrenen Lehrpersonen, Entwicklungspsychologinnen und Naturwissenschaftlern in einem

Unterrichtsprojekt zusammenarbeiten kann. Die Langzeitperspektive ist auch ein Indikator dafür, dass Lehrpersonen das Spiralprinzip und die Entwicklung des Lernens und Verstehens nachhaltiger handhaben.

Im nächsten Abschnitt wird die Verbrennung bei Kerzen beschrieben. Das ist Teil der thematischen Vorbereitung der Lehrpersonen.

3.3 Die Verbrennung bei Kerzen

Bei der Verbrennung (siehe Microsoft - Encarta, 2007) handelt es sich um eine schnelle chemische Reaktion einer Substanz mit Sauerstoff oder einem anderen Oxidationsmittel. Beim Prozess der Verbrennung unterscheidet man zwischen der Verbrennung mit Flammenbildung und der Verbrennung ohne Flammen (=stille Verbrennung).

Der Beginn der Verbrennung heisst Entzündung, bei Gasen spricht man von Entflammung. Es werden in der Regel große Mengen an Wärme freigesetzt.

Bei der Verbrennung mit Luftsauerstoff entstehen aus den Brennstoffen vor allem Kohlendioxid, Kohlenmonoxid und Wasser. Aus Substanzen im Brennstoff können u. a. auch Schwefeldioxid und Stickoxide gebildet werden. Starke Ruß- und Rauchentwicklung entstehen durch kohlenstoffreiche Materialien.

Bei einer Verbrennung erscheinen folgende Formen: die Flamme, die Glutbildung und der Rauch. Die Flammen bestehen aus einer Mischung aus Sauerstoff (oder Luft) und einem anderen, meist brennbaren Gas. Das brennbare Gas kann zum Beispiel Wasserstoff oder verdampfter Kohlenwasserstoff sein. Typisch ist die Kerzenflamme.

Die Kerze wird entzündet. Die Hitze der Zündholzflamme bringt etwas Wachs zum Schmelzen. Die Kapillarkräfte im Docht lassen das Wachs emporsteigen, wo es wegen der Wärme verdampft. Bei der hohen Temperatur zersetzt sich das Wachs und reagiert mit dem Sauerstoff der umgebenden Luft hauptsächlich zu Wasser und Kohlendioxid. Wegen der unvollständigen Verbrennung bildet sich auch das giftige Kohlenmonoxid. Die Flammen entstehen durch die zusätzlich gebildete Wärme dieser Reaktion.

Bei einer Kerzenflamme lassen sich drei Zonen deutlich unterscheiden. Der innerste Bereich ist ein nicht leuchtender Kegel aus einer Gas-Luft-Mischung mit relativ niedriger Temperatur. Im zweiten, gelb leuchtenden Kegel herrscht eine Temperatur von rund 590 bis 680 °C. Diesen gelb leuchtenden Kegel umschließt ein dritter, nicht sichtbarer Bereich.

Wird ein kalter Gegenstand in die äußeren Teile der Flamme gehalten, so wird die Flamme an dieser Stelle kälter. Die Verbrennungstemperatur wird dabei unterschritten werden. Als Folge bilden sich unverbrannter Kohlenstoff und Wasserstoff. Zieht man eine Porzellanschale durch eine Kerzenflamme, schlägt sich Kohlenstoff in Form von Ruß auf der Schalenoberfläche nieder.

Zur vollständigen Verbrennung benötigt jede brennbare Substanz einen bestimmten Anteil an Sauerstoff aus der sie umgebenden Luft. Die bläulichgrüne Zone einer Flamme nennt man auch

reduzierende Zone. In ihr ist nicht genug Sauerstoff vorhanden. „Daher wird einer hier eingebrachten Substanz der Sauerstoff nach Möglichkeit entzogen, d. h., die Substanz wird reduziert. Die äußerste Zone wirkt oxidierend, weil in ihr Sauerstoff im Überschuss vorliegt. Mit Hilfe der Laserspektroskopie kann man inzwischen die molekularen Vorgänge in den verschiedenen Zonen der Flammen viel besser untersuchen, als das früher möglich war.“ (ebd.)

4. Das Kerzenexperiment

In diesem Abschnitt wird der Aufbau des Experiments erläutert. Bedeutungsvoll ist das Kommunikationsverhalten der Lehrperson oder der Forscherin. Aus diesem Grund wird die *Fragetechnik kritisch erörtert*, und es wird auf die *Kontrolle der Suggestionen* hingearbeitet. Danach wird beschrieben, wie man das Experiment durchführen sowie strukturieren kann, und wie die Beobachtungen festgehalten und interpretiert werden können.

4.1 Der Aufbau des Experiments

Lück (2000) unterteilt ihre Vorschläge für die Experimente in zwei Unterkapitel: Durchführung und Erklärung. Die Anleitung für die Durchführung ist für die Didaktik des flexiblen Interviews sehr wichtig. Man erfährt welches Material und welche Techniken zur Verfügung gestellt werden sollen.

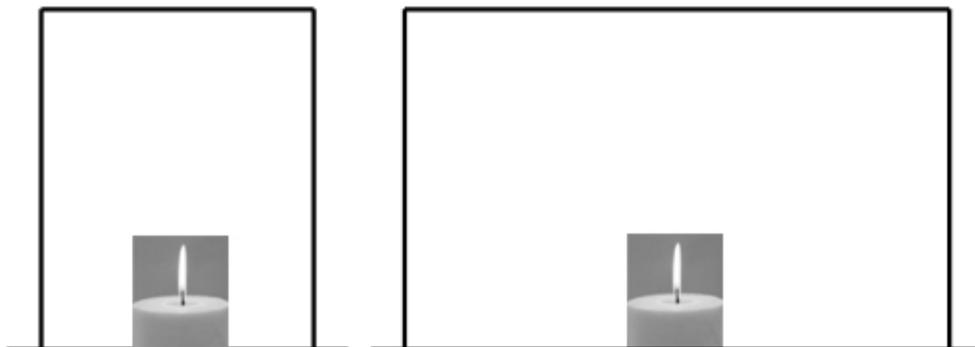


Abb. 1: Versuchsanlage nach Lück (2000)

Die Abbildung 1 zeigt schematisch, wie der Versuch aufzubauen ist. Je ein Teelicht wird unter zwei unterschiedlich grosse Gläser gestellt. Einmachgläser eignen sich besonders gut, die Hohlmasse sind angegeben.

4.2 Kritische Erörterung der Fragetechnik – Suggestionen kontrollieren lernen

Die „Erklärung“ von Lück muss sorgfältig differenziert werden. Geht es hier doch um das Erforschen und sichtbar machen von Denkwegen und Einsichten des Kindes. Deshalb sollten die „Erklärungen“ umgewandelt werden in Hypothesen. Betrachten wir das letzte Experiment „Das Löschen der Kerze – und ein bisschen Mathematik“ (S. 75f.), allerdings ohne den Einbezug der Vorversuche.

Lück's Frage lauten:

„Fragen sie ihr Kind, unter welchem Glas das Teelicht wohl schneller erlischt – unter dem grossen oder unter dem kleinen?“

Aus kognitionspsychologischer und experimenteller Sicht muss diese Frage kritisch erörtert werden. Der Satzteil „wohl schneller erlischt“ und „unter dem grossen oder unter dem kleinen“ flössen dem aufmerksamen Kind schon soviel Wissen ein, dass es mit 50%-er Wahrscheinlichkeit die richtige Kombination selber herausfinden kann. Lück's Fragen sind zu suggestiv. Piaget (1999) und seine Mitarbeiter haben die Wirkung von suggestiven Fragen selbst erfahren. Im Werk „das Weltbild des Kindes“ legten sie folglich den Grundstein für die revidierte klinische Methode, hier flexibles Interview genannt. Die Wirkung von suggestiven Fragen wurde minimiert, indem die Versuchspersonen und die Versuchsleiter Gegenstände manipulieren konnten und sich darüber ein offener Dialog entwickeln konnte.

4.3 Die Durchführung einer Befragung

In verschiedenen flexiblen Interviews, z.B. zur Klasseninklusion und den Übungen, welche man mit Perret's (2004) Experiment machen konnte, wird vorgeschlagen, dass man bei den Kindern zuerst den Wortschatz und die Ausdrucksmöglichkeiten bezüglich des Gegenstandes klärt und sichert, erst dann startet die Befragung.

Wie erwähnt besteht die Befragungsmethode aus der flexiblen Verwendung der Beobachtung, der Befragung, des Experiments und des Tests. Ginsburg und Oppen (2004, S. 150f.) portraitierten vier Bausteine der Methode, welche von der Lehrperson oder einer Psychologin eingesetzt werden sollten:

- Die Fragen des Versuchsleiters beziehen sich auf konkrete und vorliegende Gegenstände oder Ereignisse.
- Das Kind kann die Antworten durch Manipulation der Gegenstände zum Ausdruck bringen.
- Der Versuchsleiter kann Standpunkte des Kindes mit Gegenargumenten oder Gegenvorschlägen in Frage stellen.
- Die Versuchsleiterin kann die Fragen fortlaufend verändern, so wie es die Situation erfordert.

4.3.1 Wortschatz und Sachverständnis des Kindes klären

Nach Perret (2004) soll man im Vorfeld von Befragungen in einer Art „operativer Plauderei“ klären, was das Kind von den Gegenständen und Sachverhalten weiss. Das führt hoffentlich dazu, dass man den Wortschatz, die *Erfahrungen* und das Erkenntnisinteresse des Kindes kennen lernt.

Beispiele sind:

- Ich habe ein paar Sachen hingestellt, mit denen du etwas erforschen und ausprobieren darfst. Weisst du, wie diese Sachen heissen? (Kerzen, Glas, klein, gross, Streichholz, Unterlage).
Unter Umständen müssen die Begriffe gegeben werden, beobachte, wie das Kind in der Folge

mit den Begriffen weiterarbeitet, vergisst es sie, erinnert es sie? Besorge bei fremdsprachigen Kindern einen Übersetzer oder eine Übersetzerin, das können in diesem Fall auch instruierte Schulkameraden sein, wenn es während des Unterrichts geschieht. Das Kind soll die Gegenstände anfassen können.

- Willst *du* die Kerzen anzünden? (Beobachte das Kind: hat es Angst? Ist es mutig-übermütig? Erinnert sich das Kind an Regeln des Elternhauses, nach denen das Anzünden von Streichhölzern verboten ist?)

4.3.2 Befragung durchführen

- Beide Kerzen brennen. Bitte das Kind, die Gläser zu ergreifen und gleichzeitig über die Kerzen zu stülpen. Mache es vor, falls nötig. Nimm die Gläser wieder weg, damit das Kind sie selber darüber stülpen kann.
- Fordere das Kind auf: „Schau, was passiert! Sag mir einfach, was dir in den Sinn kommt.“ (Häufig strecken die Kinder vor dem Antworten den Arm aus, als Zeichen, dass sie etwas sagen wollen..., was die Macht der Gewohnheit von Ritualen in der Klasse beweist; notiere auch solche Beobachtungen). Überrenne das Kind nicht mit Fragen. Lass es zuerst manipulieren, lass es die Phänomene und Handlungen wahrnehmen und in Ruhe nachdenken und sprechen oder plaudern.
- Jetzt beziehst du dich auf seine Beobachtungen und Gedanken. Formuliere deine Fragen im Bezug zu den geäußerten Gedanken des Kindes: „Du sagst: diese Kerze löscht zuerst aus. Weshalb?“
- Wiederhole Vorgänge oder lass das Kind Vorgänge wiederholen. Nutze den Spielraum des flexiblen Interviews.
- Lass das Kind wissen, dass es jederzeit deine Hilfe oder Erklärungen anfordern kann.

4.4 Das Experiment strukturieren

Lück's (2000) Experiment ist sehr offen formuliert. Man könnte es mit kleinen oder grösseren Kindern zu Hause durchführen. Es bietet sich auch an für den Unterricht. Doch nun taucht die eine oder die andere Sorge auf. Es ist damit zu rechnen, dass in einer Klasse von 25 Schülerinnen und Schülern unterschiedliche Niveaus der Erklärungen vorkommen. Wie genau kann ein Kindergartenkind die Verbrennung erklären? Was darf man in der vierten Primarklasse erwarten? Sieht der Zwölfjährige ein, dass das Auslöschen und die Verbrennung reversible Phänomene sind? Wie genau müsste eine Fünfzehnjährige die Gesetze der Verbrennung beherrschen? Das offene Experimentieren ist das Eine.

Das Andere ist das niveaugerechte Unterrichten in der Schule. In diesem Unterricht werden die Einsichten der Kinder festgehalten und auf die Logik der Bedeutungen hin untersucht. Es gibt deshalb nicht das Richtige und das Falsche, sondern die Beobachtung und Erklärung A, B, C, ...N. *Umgang mit Heterogenität bedeutet deshalb auch, dass man weiss, wie man mit den Beobachtungen*

und Erklärungen A bis N umgehen kann und wie man sie für die Entwicklung des Wissens und der Einsichten weiter verwendet.

Das ABC der Genfer Schule, die genetische Erkenntnistheorie und die Methode des flexiblen Interviews, helfen einem, sich für den Umgang mit den unterschiedlichen Einsichten in eine Sache zu sensibilisieren. Das macht den Umgang operativ, die Handlungsorientierung wird sichtbar, sie ist nicht bloss ein konstruktivistisches Ideal oder eine didaktische Illusion. Aus diesem Grund orientieren wir uns an einem klassischen Experiment von Piaget. Es handelt sich um den Versuch „Biegung der Angelruten“ (siehe Ginsburg und Opper (2004, S. 241f). Die Originalliteratur ist zu finden in Inhelder & Piaget (1977, S. 55f.) „Von der Logik des Kindes zur Logik des Heranwachsenden“. Diesen Vorlagen folgend, wollen wir hier die Logik unseres Experiments entwickeln.

In dieser Arbeitsphase des Projekts wird nach dem *Inhalt des Experiments* gesucht. Man fragt nach den Erkenntnisinteressen und der Qualität der experimentellen Handlung und *entscheidet*. Es ist leicht einsichtig, dass bei solchen Sachfragen sehr viele spezielle Teilfragen erforscht werden können. Der Einfachheit halber schlage ich vor, dass wir uns hier auf die Frage nach der Fähigkeit zum logischen Schlussfolgern konzentrieren, wie es in der zitierten Literatur vorgezeichnet worden ist. So übertragen wir die Kategorien der Niveaus des Rutenexperiments auf das Kerzenexperiment. Die Tabelle 3 beschreibt die möglichen Variationen der Sachverhalte.

Tabelle 3

Variationen des Kerzenexperiments

	Grösse der Gläser	Anzahl der Kerzen	Dauer des Brennvorganges
1.	gleich	gleich	?
2.	gleich	ungleich	?
3.	ungleich	gleich	?
4.	ungleich	ungleich	?

Tabelle 3 zeigt die Variationsmöglichkeiten im Überblick. Das Kind wird aufgefordert, diese vier Situationen herzustellen und sie zu erklären. Die Aufforderung kann auch an die Klasse gerichtet werden. Es hängt vom Ziel der Unterrichtsstunde ab, ob man die Klasse die Variation entdecken lässt, oder ob man im Gleichschritt vorgeht. Im ersten Fall könnte man die Tabelle als Strukturhilfe für die Moderation des Gruppengesprächs verwenden. Grundsätzlich sind vier Situationen möglich: Zu 1. die Grösse der Gläser und die Anzahl der Kerzen ist gleich, z.B. je ein Glas und darunter je eine Kerze.

Zu 2. Die Grösse der Gläser ist gleich, in einem Glas hat es 1 Kerze, im andern 2 Kerzen (dies könnte ausgeweitet werden, siehe unten).

Zu 3. Die Grösse der Gläser ist verschieden, die Zahl der Kerzen ist gleich.

Zu 4. Die Grösse der Gläser ist verschieden, verschieden ist auch die Zahl der Kerzen.

Von einem klein- und gleichschrittigen und systematischen Durcharbeiten der Variationen rate ich ab. Man kann die Einsichten nicht spenden. Es führt dazu, dass das Experimentieren ein Exerzier-Ritual

wird, das die schwächeren Kinder überfordert und die stärkeren Schüler unterfordert. Die Variation soll von den Schülern entwickelt und entdeckt werden, die Lehrperson soll die Wege der Schüler beobachten und für sich auswerten. Als Moderatorin ist sie behilflich, dass die Schüler die Beobachtungen ordnen, vergleichen und interpretieren lernen.

4.5 Erklärungen des Kindes beobachten und festhalten

Für die Darstellung der Beobachtungen können die Tabellen 5-7 hilfreich sein. Sie skizzieren die Variation der Experimente.

Die Variationen umkreisen immer das Verhältnis zwischen Brenndauer und der Menge des Sauerstoffes.

Trage die Antworten der Kinder in diese Tabellen und verwende sie in deinen Forschungsarbeiten. Danach werden die Antworten qualitativ nach der Struktur in der Tabelle 8 interpretiert.

Tabelle 5

Aussagen zur Grösse und zum Brennvorgang allein

	Grösse des Glases	Dauer des Brennvorganges
1.	gleich	?
2.	ungleich	?

Die Tabelle 5 bietet ein Beobachtungsraster, mit welchem ein Experiment festgehalten werden kann, in dem zwei Kerzen zuerst unter gleich grossen Gläsern und danach unter unterschiedlich grosse Gläser gestellt werden.

Tabelle 6

Aussagen zur Anzahl der Kerzen und zum Brennvorgang allein

	Anzahl der Kerzen	Dauer des Brennvorganges
1.	gleich	?
2.	ungleich	?

Die Tabelle 6 bietet ein Beobachtungsraster für Experimente, in denen bloss die Anzahl der Kerzen variiert wird.

Tabelle 7

Aussagen der Kinder, welche Kombinationen von der Grösse des Glases und der Anzahl der Kerzen enthalten

	Grösse des Glases	Anzahl der Kerzen	Dauer des Brennvorganges
1.	gleich	gleich	?
2.	gleich	ungleich	?
3.	ungleich	gleich	?
4.	ungleich	ungleich	?

Die Tabelle 7 liefert ein Beobachtungsraster für die Verarbeitung von Experimenten, in denen sowohl die Grösse der Gläser als auch die Anzahl der Kerzen variiert worden sind. Dabei werden verschiedenste Denkopoperationen miteinander verknüpft: das kausale Denken, das kombinatorische Denken und das schlussfolgernde Denken.

4.6 Interpretation der Beobachtungen: die Niveaus der Einsichten in den Brennvorgang

Inhelder und Piaget (1977) haben solche Experimente mit Vorschulkindern und mit Jugendlichen durchgeführt. Dabei haben sie die Antworten und Handlungen entwicklungslogisch geordnet und für die Interpretation der Leistungen des Kindes bereitgestellt. Ich übernehme die Logik der Einteilung und übertrage sie hypothetisch auf das Kerzenexperiment. Dadurch entwerfen wir eine Theorie der Entwicklung der Einsicht in die Verbrennung bei der Kerze. Unter dem Begriff „Niveau“ definieren wird die Qualität der Einsichten und der logisch-chemischen Verknüpfungen. Niveaus differenzieren Qualitäten der Entwicklung von Einsicht, welche sich in der Auseinandersetzung mit der Kerze individuell und sozial ausgestalten. Tabelle 8 differenziert die Niveaus für die Befragung gemäss Kapitel 4.3.2.

Tabelle 8

Niveaus der Einsichten der Kinder

Niveau	Idealtypische Antworten
Niveau I	<p>Bis ca. 7Jahre, bei entwicklungsverzögerten Kindern auch später.</p> <p>Das Kind bezieht sich nur auf Wahrnehmungen, nur auf Sicht- oder Riechbares. Die Eigenschaften und die Vergleiche sind ungeordnet und zufällig. Es können keine ursächlichen Beziehungen hergestellt werden. Die Erklärungen sind präkausal: Das grosse Glas ist der Chef, darum brennt er länger, usf.; das kleine Glas ist böse, darum darf es nicht länger brennen; die Kerze löschte aus, wegen dem Rauch (der nach dem Auslöschen entstanden war).</p>
Niveau IIa	<p>Primarschulbereich, bei entwicklungsverzögerten Kindern auch später.</p> <p>Das Kind kann einzelne Eigenschaften erfassen und korrekt beschreiben. Die Kerze im grossen Glas brennt länger, weil sie mehr Platz hat als die kleine. Im Kleinen brennt es weniger lang, weil das Glas nicht so hoch ist. Zwei Kerzen im gleichen Glas brennen weniger lang als eine Kerze. Im grossen Glas hat es mehr Luft.</p> <p>Die Beobachtungen beziehen sich auf 1:1 Verhältnisse oder Serien. Die Beobachtungen befassen sich weitgehend mit sichtbaren Sachverhalten. Alles, was geschieht, wird wahllos hingenommen. Alles wird mit allem verglichen.</p> <p>Die Kinder stellen noch keine multiplen Seriationen her! Sie bilden erst einfache Seriationen, wie z.B. Grosse Gläser mit einer Kerze brennen länger als kleine Gläser mit einer Kerze.</p>
Teilniveau IIb	<p>Primarschulbereich, bei entwicklungsverzögerten Kindern auch später.</p> <p><i>Neu ist hier, dass multiple Seriationen zum Zug kommen.</i> Z.B. Das grosse Glas mit einer Kerze und das kleine Glas mit einer Kerze brennen länger als das grosse Glas mit zwei Kerzen und das kleine Glas mit zwei Kerzen.</p>

Sonst gilt wie beim Niveau IIa:

Das Kind kann einzelne Eigenschaften erfassen und korrekt beschreiben. Die Kerze im grossen Glas brennt länger, weil sie mehr Platz hat als die kleine. Im Kleinen brennt es weniger lang, weil das Glas nicht so hoch ist. Zwei Kerzen im gleichen Glas brennen weniger lang als eine Kerze. Die Beobachtungen befassen sich weitgehend mit sichtbaren Sachverhalten.

Das Kind kann die Wirkung eines einzelnen Faktors noch nicht fixieren-isolieren und die andern gleichzeitig systematisch durchtesten. D.h. das Kind bezieht sich immer noch auf das, was es sieht und was es im Experiment selber herstellt.

Es kann noch nicht alle möglichen Faktoren theoretisch und logisch miteinander kombinieren (Kombinatorik)

Niveau IIIa Von 11 bis 12 Jahren an, bei Jugendlichen mit Entwicklungsverzögerungen später. Ansätze des formalen Denkens werden sichtbar. Der Jugendliche befasst sich nicht mehr bloss mit dem Sichtbaren, mit dem was passiert und beobachtbar ist, sondern er geht auf das theoretisch Mögliche ein und er befasst sich mit dem Unsichtbaren, wie z.B. der Zusammensetzung der Luft. Er kann das Mögliche aktiv und systematisch suchen und erforschen. Er kann einen Faktor fixieren und isolieren und die andern systematisch gedanklich oder auch praktisch mit den Gläsern und den Kerzen durchspielen. Die Jugendliche erkennt, dass die Brenndauer der Kerzen immer eine Kombination von Teilfaktoren ist, die man miteinander kombinieren kann. Er nimmt das Beobachtete als Grundlage für die Erklärung und den Beweis von andern Sachverhalten. Vergleiche werden nach Regeln konsequent durchgeführt. Die Beweise bleiben aber in den Ansätzen oder auf halbem Wege stecken.

Niveau IIIb Wie oben unter IIIa. Beweise werden von A bis Z hergestellt. Die Jugendliche startet quasi mit einer systematischen Analyse der Kerzenanzahl und der Gläsergrösse und kann die Zeit des Brennvorganges logisch korrekt bestimmen. Das gilt auch für die unsichtbaren Faktoren wie der Zusammensetzung der Luft und das Wesen des Brennvorganges.

Tabelle 8 ist für die Interpretation von Einzelleistungen gedacht. Sie kann aber auch für die Kategorisierung von Einsichten von Schülergruppen oder Schulklassen verwendet werden, wie das die Tabelle 9 schematisch zum Ausdruck bringt.

Tabelle 9

Gruppierung der Schüler einer Klasse gemäss dem Niveau der Antworten

Niveau I	Niveau II a	Niveau II b	Niveau III a	Niveau III b
NN FF CC	MM LL JJ QQ VV AA WW ZZ	RR DD	UU	

In der Tabelle 9 sind die Namen von Kindern angedeutet. Im Verlauf der Prozesse des Experimentierens, Interviewens oder Beobachtens erhält die Lehrperson Einblick in die Denkwege

und Denkniveaus der Schüler. *Dies ist schon Bestandteil des dialogischen, niveaurorientierten Unterrichtens.*

Lehrpersonen äussern oft den Satz: „Jetzt wissen wir, wo die Schüler stehen, aber wie soll der Unterricht weitergehen?“ Wenn diese Frage z.B. nach einer schulpsychologischen Untersuchung oder nach einem förderdiagnostischen Prozess auftaucht, so sollte man mit Blick auf die Vektoren nach Cuomo (2007; siehe Abschnitt 2) den Kontext genauer unter die Lupe nehmen. Es könnte sein, dass man in der Untersuchung ausschliesslich kognitive Belange untersucht hat, und dass andere Aspekte des Systems noch nicht berücksichtigt worden sind. In diesem Fall sollte man die Qualität der Erziehung (Erdulden-Erleben) genauer analysieren. Das gilt auch für die Analyse der Wirksamkeit der Kompetenzförderung (Autonomie, Sozialisation und Kognition/Pragmatik). In den Kapiteln 5 und 6 werden diese Fragen genauer behandelt.

5. Das dialogische, niveaurorientierte Unterrichten

Im Vorfeld konnte gezeigt werden, dass die Verbindung zwischen Chemie und Mathematik einer Entwicklung untersteht, die man nicht nur psychologisch erklären kann. Auch innerhalb des Experimentierens in der Chemie findet man Entwicklungen. In beiden Bereichen spielt die Wirkung des Kontextes eine entscheidende Rolle. Fasst man die Heranbildung einer differenzierten Einsicht als Aufgabe im Rahmen des Spiral-Curriculums auf, oder behandelt man das Thema wie einen einmaligen Event? Bespricht man das Thema unter Verwendung von Suggestivfragen, oder hat man gelernt, den Diskurs von Lernenden zu moderieren? Weiss man, wie Lernende mit besonderen Bedürfnissen (Lernbehinderung, Hochbegabung) in solche Projekte integriert werden können?

Die Berücksichtigung von Paulo Freires Motto „erst forschen, dann lehren“ (Freire, 2008) verweist auf eine zweifache Antwort. Das Erforschen der Interessen, der Erfahrungen, der Ressourcen und der erkenntnisleitenden Fragen der Lernenden ist die erste Arbeitsphase des dialogischen Unterrichtens (siehe Abschnitt 4.2f.). Für die Methode des forschenden Lernens selber bedeutet das Motto, dass die Lehre bzw. das Wissen über das Verhältnis zwischen Chemie und Mathematik einem Forschungsprozess entspringt.

Diese Fragen bezüglich der Wirkung des Kontextes (Eltern, Lehrpersonen, Schulhaus) weisen darauf hin, dass ein differenzierter pädagogischer Umgang mit solchen Themen von Methoden der psychologischen Forschung und deren Resultaten profitieren kann. Die Verknüpfung zwischen Chemie und Mathematik sowie der Blick auf das Spiral-Curriculum erfordern andererseits vernetztes Denken und Handeln im Schulalltag. Das Verständnis des Unterrichtens als System erleichtert die Einsicht in die Verbindung der Teilsysteme und es fördert die Sensibilität gegenüber den pädagogischen Aufgaben als Gesamtsystem.

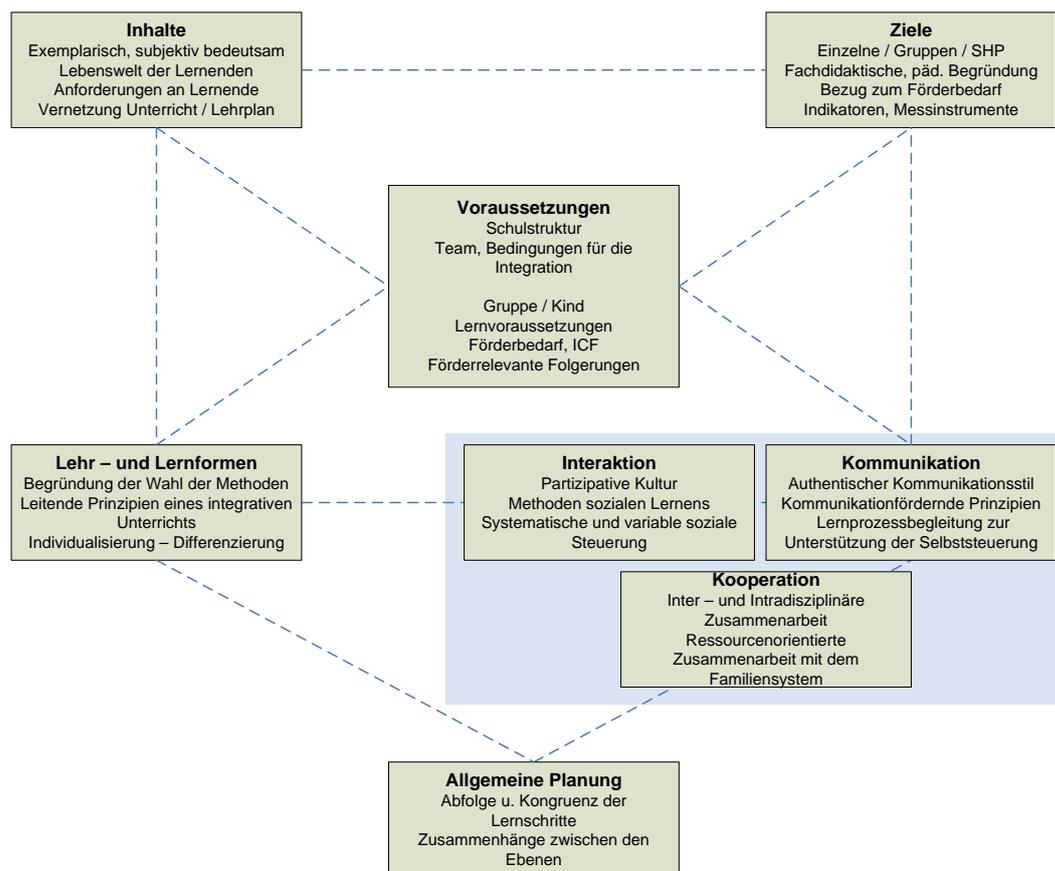


Abbildung 2: Dimensionen des Beobachtungs- und Beurteilungsinstrumentes Praxis (HfH, Dep. 1, 2011)

Die Abbildung 2 illustriert eine *Synthese* der klassischen Fragen der didaktischen Theorien. Das systemische Referenzschema, wie wir es der Einfachheit halber bezeichnen, unterstützt die Analyse des Themas des vorgestellten Experiments und dessen Mathematisierung. Das Referenzschema gewährleistet auch, dass man die Dimensionen während der Planung und der Durchführung im Auge behalten kann.

Die Ausführungen in den vorhergehenden Abschnitten dienen dem Zweck, dass forschendes Lernen und Fördern der Kinder im Unterricht nachhaltig integriert werden kann. Es wird auch ersichtlich, dass die Lehrperson eine Rollendistanz aufbaut, indem sie dem Beobachten und Moderieren mehr Aufmerksamkeit widmet. Sie sollte nicht als „älteste Schülerin“ in die Forschungshandlungen verstrickt sein.

Qualitätsmerkmale dieses Unterrichts sind, dass die Kinder ihre Fragen und Einsichten äussern können und dass sie diese austauschen, vertiefen, notieren, referieren, erklären und beweisen können (Kamii, 1993). Das bedeutet, dass die Lehrperson unterschiedliche Meinungen zu einem Thema nicht stereotyp mit der „richtigen“ Meinung überlagern soll. Dies kann eine Klasse unnötigerweise in Lager aufspalten: die Gruppe der „Richtigen“, die Gruppe der „Falschen“ und die Gruppe der Unschlüssigen. Dialogisches Lernen ist offener und nachhaltiger.

Für die Lehrkraft bedeutet dies konkret, dass sie vorerst auf inhaltliche Suggestionen verzichten lernt und dass sie z.B. in der Moderation der Unterrichtsvorgänge (auch Scaffolding) Vertrauen, Sicherheit und Kreativität schöpfen kann. Das kann durch Übungen mit dem flexiblen Interview wirkungsvoll gelernt werden.

Wird Unterricht so geöffnet, dass sich die Schülerinnen und Schüler mit Gegenständen auseinandersetzen können, welche für sie bedeutsam sind, dann steigen die Chancen für motivierende Lernhandlungen. Unterrichtsversuche und Unterrichtsprojekte (auch von Studierenden der HfH; Dürr, Stalder-Elmiger, Tschann, 2006) haben in diesem Sinn mehrfach bewiesen, dass das forschende Lernen, selbst bei Kindern mit Verhaltensauffälligkeiten, eine stabile Beziehung zum Lernprozess, zum Lerngegenstand und zum sozialen Setting herstellen hilft. Die Sprachförderung, die Kompetenzen in der Schriftsprache und der Gestaltung, die Denkschulung und das Kommunikationstraining sind natürliche Elemente des forschenden Lernens. Abgesehen davon erreicht die Interaktion durch dieses professionellere Lernen eine neue Qualität.

6. Die Gestaltung von Unterrichtssequenzen (in Stichworten)

In diesem Abschnitt werden die Organisation und die Phasen des vernetzten dialogischen Unterrichtens grob skizziert.

6.1 Die Projektmethode

Siehe Frey (2010) und das Referenzschema des Unterrichtens, HfH-Departement 1 Thesenartig. Diese Hinweise haben den Status von didaktischen Skizzen.

Lernen im Projekt, wenn möglich stufenübergreifend. Lehrerinnenteam (siehe Frey, 2010).

Die Makro, Meso- und Mikroebenen differenzieren: systemischer Unterricht ermöglicht das vernetzte Denken. Die andern Formen behindern es.

6.2 Zuerst forschen dann lehren: das flexible Interview

Das flexible Interview hilft, die Anfangsphase dieses Projektes empirisch und induktiv vom Kind her zu erforschen. Daraus werden Hypothesen und Ziele für den Unterricht abgeleitet und mit der Lerngruppe kommunikativ validiert. Jetzt kann die Projektorganisation skizziert werden.

6.3 Die Dimensionen des Unterrichtens

Beachte das klassische Buch der Nürnberger-Projektgruppe (2001) zum Gruppenunterricht.

6.4 Die Dynamik der Lernprozesse

Ruf und Gallin (1990). Die Phasen realisieren lernen, nicht abkürzen, (Bsp. Arbeitsblatt, Bsp. Tagebucheinträge),

Heterogenität im Verständnis der Phasen (Logik der Einsicht, nicht mechanische Ordnung von Phasen).

Singulär: Zettel, persönliche Notizen oder Einzelinterviews durchführen

Divergierend: Zettelwirtschaft eröffnen. Metaplan-Methode und Moderation.

Regulär: Was ist bis jetzt gesichert, welche Fragen sind noch offen? Wann soll weitergeforscht werden (das betrifft auch die Mathematisierung).

Lernphasen nicht bloss didaktisiert, sondern stufenübergreifend. Bsp. Kind 2 Klasse will in der 4 Klasse das Experiment nochmals machen. Blick in das Projektjournal. Relektüre der eigenen, früheren Sichtweisen, nachhaltige Lernprozesse und Lernbiografie, auch gruppal.

Die These von Montada (1998, S. 559) ist Appell und Antwort zugleich:

„Piagets klinische Methode der Befragung von Kindern zu Phänomenen und Problemen...ist bereits die ideale Methode des Unterrichtens: Probleme werden gestellt, aber keine Lösungen durchgesetzt und auf oberflächlichem Niveau automatisiert.“ Gleichzeitig wie Montada in der Erstveröffentlichung vertrat Wittmann (1982) dieselbe These für den Mathematikunterricht.

6.5 Die Darstellungsformen nach J. Bruner

Auch hier die Heterogenität und subjektive Nützlichkeit beachten! Das Nutzen aller Formen ist Alphabetisierung und Mathematisierung! Siehe auch Freires Konzept der Kodierung. Die Motivation zum Experimentieren (enaktiv), die Motivation zum Skizzieren, Fotografieren oder Filmen der Experimente (ikonisch), sowie die Motivation, die Fragen die Abläufe, die Erfahrungen und die Einsichten zu versprachlichen, alle diese Motivationen können als Grundlage für die Differenzierung und die Verknüpfung von unterrichtlichen Handlungen eingesetzt werden.

Integrativ Renzo

6.6 Chemische Experimente und Mathematisierung

Vernetzung der Erfahrungen d.d. Lernenden.

Transfer.

Korrespondenzen und Differenzierungen

6.7 Spiralprinzip, Rekursivität, Vernetzung

Die Lehrpläne legen nahe, das Planen von Lernprozessen auch stufenübergreifend und nachhaltig ins Auge fassen. Dazu zählt auch, dass man den Bildungsprozess im Sinne des Brunerschen „Spiral-Curriculums“ auffasst. Es bedeutet, dass man an identischen Grundbegriffen und –strukturen immer komplexere Einsichten entwickelt (Meyer, 2000).

Vernetztes Denken als Baustein der Bildung zu pflegen, fällt mit dem vorgestellten Ansatz leicht. So kann man ein Projektfenster ruhig mit der Frage schliessen: „Wie werden wir wohl in einem Jahr verstehen, wie die Zusammenhänge zwischen den Kerzen, den Gläser und der Brenndauer aussehen?“ Die Langzeitperspektive, das Spiralprinzip und das vernetzte Denken führen dazu, dass die Lernenden anders und aufmerksamer mit ihren Dokumenten umgehen. Es könnte sein, dass sie sich während der Lektüre von Tagebuchnotizen an alte Hypothesen und Erfahrungen erinnern. An

diesem Punkt wird deutlich, dass die entwicklungspsychologische Perspektive im pädagogischen Kontext materialisiert werden kann und materialisiert werden muss.

Es wäre völlig vermessen, wenn man z.B. das dialogische Lernen nach Ruf & Gallin (...) im Zusammenhang mit unserem Thema in eine Doppelstunde Chemie hinein projiziert. Die Phasen von der Kernidee zum Singulären, Divergierenden und Regulären passen nicht so recht in eine Doppelstunde. Der Lernweg zum regulären Wissen ist lange. Abkürzungen, suggestive Lehrervorträge oder das Ausfüllen von Merkblättern beweisen, dass man einmal mehr in die Vermittlungsfalle getappt ist (Gruschka, 2002).

Es konnte gezeigt werden, dass dieses chemische Experiment sehr gut geeignet ist, um mit dem Mathematikunterricht und einer nachhaltigen Mathematisierung vernetzt zu werden.

7 Beginn der Mathematisierung, die Zeitmessung, die Volumenberechnungen, Erkennen von Proportionen usw.

Das Handwerk des Experimentierens, die Sozialisation der Lernenden und der Lehrenden und die Kommunikation über die Erfahrungen bilden das pädagogische Fundament dieser Art zu Lernen. Das Wissen um die chemischen Zusammenhänge wird bei der Mathematisierung in die Beziehung zu den Zahlen und Operationen gebracht. Die Qualität dieser Beziehungen wird nun genauer erörtert.

Tabelle 10

Verhältnis zwischen der Brenndauer und unterschiedlichen Mengen von Kerzen

	Glas A	Glas B	Dauer des Brennvorganges
1.	▲	▲	?
2.	▲	▲▲	?
3.	▲	▲▲▲	?
4.	▲	▲▲▲▲	?

Tabelle 10 illustriert vier experimentelle Variationen. Die Gläser sind immer gleich gross (Glas A ist gleich Glas B; das dunkle Dreieck ▲ ist das Symbol für gleich grosse Kerzen). Im ersten Experiment sind die Bedingungen identisch, d.h. gleiche Kerzen, gleiche Gläser. Im zweiten Experiment hat es beim Glas B zwei Kerzen, usw.

Die Anlage stellt höhere Ansprüche, sowohl praktische als auch theoretische. Das Wissen um das Volumen der Gläser, die Veränderungen der Mengen bzw. der Verhältnisse der Kerzen, die Kompetenzen bei der Zeitmessung und die Interpretation der gesammelten Beobachtungen stellen eine komplexe Aufgabe dar.

Das Fundament der Mathematisierung sind die experimentellen Erfahrungen, welche die Lernenden immer differenzierter durchführen, kommunizieren und registrieren können. Es gibt dabei qualitative Entwicklungsschritte, die im folgenden Abschnitt grob skizziert werden.

Am Anfang stehen die Begriffsklärungen und die Strukturierung der experimentellen Verhältnisse. Die Lernenden werden über den Vergleich der Wahrnehmungen einsehen, dass die Kerzen beim Glas B

immer kürzer brennen, je mehr Kerzen sich darin befinden. „Länger“, „kürzer“ dürfen am Anfang ungefähre Begriffe sein, entscheidend ist, dass das kausale und das schlussfolgernde Denken stabile Beziehungen herstellen hilft: „Wenn es hier eine Kerze hat und da auch eine, dann brennen sie gleich lang.“ Diese Argumente werden dem protoquantitativen Denken zugeordnet (Noelting, 1980; Piaget et al., 1977). Mit der Zeit werden die Lernenden die Zeitmessung genauer strukturieren können. Sie stellen additive Beziehungen zwischen den experimentellen Bedingungen her. Dies äussert sich in der Einsicht in Zeitdifferenzen. Dies ist der Beginn des quantitativen Denkens: die experimentellen Verhältnisse werden mit Zahlen und additiven Operationen symbolisiert und erklärt. Die nächst folgenden Denkoperationen gehören zur Kategorie des multiplikativen Argumentierens. Jetzt können die Lernenden die Proportionen zwischen den experimentellen Verhältnissen multiplikativ verknüpfen, symbolisieren und bearbeiten. Begriffe wie „doppelt so lang“, „dreimal kürzer“ usf. werden mit Hilfe der Zeitmessung arithmetisch abgebildet und berechnet.

8 Ausblicke

Die entwicklungspsychologischen Argumente machen deutlich, dass punktuelle Unterrichtsprojekte einen Abschnitt des vernetzten Lernens sichtbar machen können. Die Komplexität der Verbindungen zwischen Chemie, Mathematik und dem forschenden Lernen gilt es über die Erfahrung bewusst zu machen. Die Projektmethode (Frey, 2010) unterstützt dieses Unternehmen fachlich. Auf der anderen Seite müsste man langfristig eine Reihe von Aktionsforschungen mit einer Klasse durchführen, um aufzeichnen zu können, wie sich die Lernprozesse mit Rücksicht auf das Spiral-Curriculum tatsächlich entfaltet haben.

Integrationspädagogisch betrachtet muss man sich fragen, wie Kinder mit besonderem Förderbedarf behandelt werden sollen. Die Belange von Lernenden mit einer geistigen Behinderung sind z.B. in Fallstudien beschrieben worden, man denke an den Fall „Renzo“ (Cuomo, 1989). Dort ist beschrieben, wie ein Drittklässler mit einer Trisomie 21 in den Projektunterricht integriert worden ist. Renzos Verhaltensstörungen sind verschwunden, nachdem man dessen Stärken im Unterricht integrieren konnte. Renzo war der Verantwortliche für das Schulmaterial geworden. Aus dieser Fallgeschichte können Fragestellungen für ähnliche Projektsituationen abgeleitet werden. Im Fall von Lernenden mit sehr hohen Begabungen müssten ähnliche Fragen gestellt werden, welche die Integration in das Projektthema und die differenzierte Aufgabenstellung betreffen. Die Integration der besonderen Stärken vermittelt jedem Lernenden ein Gefühl der Zugehörigkeit und der Nachhaltigkeit.

Das vernetzte, dialogische und niveauiorientierte Lernen in Projekten ermöglicht eine Öffnung des Unterrichts. Kerzen, Chemie und Mathematik würden durch Erfahrungen und Einsichten der Lernenden und der Lehrenden bedeutsam verknüpft.

Literatur

- Cuomo, N. (1989). *"Schwere Behinderungen" in der Schule*. Bad Heilbrunn: Julius Klinkhardt.
- Cuomo, N. (2007). *Verso una scuola dell'emozione di conoscere. Il futuro insegnante, insegnante del futuro*. Pisa: Edizioni ETS.
- Dürr, M., Stalder-Elmiger, I., Tschann, C. (2006). *Forschendes Lernen mit Kindern mit besonderem Förderbedarf*. Unveröff. Dipl. Arbeit, Interkantonale Hochschule für Heilpädagogik, Zürich.
- Faraday, M. (1980). *Naturgeschichte einer Kerze*. Hildesheim: Verlag Franzbecker.
- Freire, P. (1980). *Dialog als Prinzip*. Wuppertal: Jugenddienst-Verlag.
- Freire, P. (2008). *Pädagogik der Autonomie. Notwendiges Wissen für die Bildungspraxis*. Münster: Waxmann.
- Freudenthal, H. (1991). *Revisiting Mathematics Education. China Lectures*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Ginsburg, H. P., Opper, Sylvia. (2004). *Piagets Theorie der geistigen Entwicklung* (9. Auflage). Stuttgart: Klett-Cotta.
- Gruschka, A. (2002). *Didaktik. Elf Einsprüche gegen den didaktischen Betrieb*. Wetzlar: Büchse der Pandora.
- Helmke, A. (2009). *Unterrichtsqualität und Lehrerprofessionalität*. Seelze-Velber: Klett / Kallmeyer.
- Imola, A. (2010). *Empathie und verstehen. Die Methode von Nicola Cuomo*. Verfügbar unter: <http://rivistaemozione.scedu.unibo.it> [18.03.2012]
- Inhelder, B., Piaget, J. (1977). *Von der Logik des Kindes zur Logik des Heranwachsenden*. Olten: Walter-Verlag.
- Kamii, C., DeVries, R. (1993). *Physical Knowledge in Preschool Education* (Reissued with a new introduction). New York: Teachers College Press. (HfH-Bibliothek)
- Lück, G. (2000). *Leichte Experimente für Eltern und Kinder*. Freiburg i.Br.: Herder.
- Meyer, H. (2000). *Unterrichtsmethoden* (11. Auflage Bd. II). Frankfurt a. M.: Cornelsen.
- Microsoft Corporation (2006). „Verbrennung (Chemie).“ Microsoft® Encarta® 2007 [DVD].
- Noelting, G. (1980). The development of proportional reasoning and the ratio concept. Part I - Differentiation of stages. *Educational Studies in Mathematics*, 11, S. 217-253.
- Nürnberger-Projektgruppe. (2001). *Erfolgreicher Gruppenunterricht*. Stuttgart: Klett Verlag.
- Piaget, J. (1996). *L'épistémologie génétique* (5è édition). Paris: Presses Universitaires de France.
- Piaget, J. (1999). *Das Weltbild des Kindes* (6. Auflage). München: Deutscher Taschenbuch Verlag.
- Piaget, J., Grize, J.-B., Szeminska, A., Bang, V. (1977). *Epistemology and Psychology of Functions*. Dordrecht: D. Reidel Publishing Company.
- Piaget, J., Garcia, R. (1987). *Vers une logique des significations*. Genève: Murimonde.
- Prange, K. (1983). *Bauformen des Unterrichts*. Bad Heilbrunn /OBB.: Verlag Julius Klinkhardt.
- Wittmann, E. C. (1982). *Mathematisches Denken bei Vor- und Grundschulkindern : eine Einführung in psychologisch-didaktische Experimente*. Braunschweig: Vieweg.
- Wygotski, L. S. (1986). *Denken und Sprechen*. Frankfurt a.M.: Fischer.