

Klaus-Peter Haupt

Beispiele konstruktivistischen Unterrichtes für ein integratives Lernen in Naturwissenschaften

Einleitung

Die konstruktivistische Unterrichtsmethode wird von mir schon seit längerer Zeit in Physik, Mathematik und Philosophie angewandt. Interessanterweise haben sowohl Hochbegabte, normal Begabte und eher weniger für diese Fächer begabte Schüler äußerst positive Rückmeldungen gegeben. Es zeigte sich, dass die Integration sowohl besonders schwacher als auch besonders leistungsstarker Schüler durch konstruktivistisches Lernen sehr gut gelingt. Die Individualisierung des Lernens ist eine besondere Form der inneren Differenzierung. Das Lernen auf fremdbestimmten Wegen ist sowohl für schwache als auch für starke Schüler nicht geeignet. Beide müssen an einer genormten Mitte, meist die des den Inhalt vermittelnden Lehrers, Lernprozesse nachvollziehen, die nie ihre eigenen sein werden oder gewesen sind.

Beide Schülergruppen besitzen nicht immer eine besondere Anstrengungsbereitschaft (auch bzw. gerade Hochbegabte!), sondern sie haben eher ein Defizit an Lernerfahrung und Arbeitsstrategien. Beiden Gruppen wird man nicht immer durch einen Zusatzunterricht gerecht. Für die eine Gruppe hat sich dieser Zusatzunterricht als Nachhilfe etabliert, für die andere entstehen in Form von Schülerakademien und Begabtenzirkeln immer mehr dieser zusätzlichen Angebote.

Viel sinnvoller ist es, dem Regelunterricht individuelle Aspekte zu geben und die kognitiven Kompetenzen für alle zu erweitern.

Konstruktivistischer Unterricht hat aber auch den Vorteil, dass Störungen viel seltener auftreten und insgesamt die kooperative Arbeitsdisziplin begünstigt wird. Er erfordert vom Lehrer aber eher ungewohnte Aktivitäten: loslassen, zulassen, beobachten, beraten, an die eigenen Grenzen gehen.

Im folgenden wird zuerst eine Einführung in die konstruktivistischen Modelle in Philosophie und Psychologie gegeben. Aus dieser Basis heraus können wir erkennen, dass konstruktivistischer Unterricht nicht nur sinnvoll ist sondern auf grundlegenden Eigenschaften des menschlichen Kognitionssystems aufbaut. Der Konstruktivismus liefert die schon lange in der Didaktik gesuchte Lehr-Lern-Theorie.

Danach werden die didaktischen und methodischen Aspekte erläutert und schließlich eigene und beobachtete Unterrichtsbeispiele in Physik, aber auch Mathematik und Philosophie gegeben. Dabei wird insbesondere auch ein Projekt für Hochbegabte beschrieben.

1. Der philosophische und erkenntnistheoretische Hintergrund

Obwohl Immanuel Kant aus wissenschaftstheoretischer aber auch aus naturwissenschaftlicher Sicht heute kritisch bewertet werden muss, soll er hier angeführt werden, weil seine Unterscheidung zwischen dem "Ding an sich" und der Erscheinung von den Dingen (1781) ein grundlegender konstruktivistischer Ansatz ist. Auch in der modernen Lerntheorie müssen wir zwischen dem zu lernenden Stoff und seiner Präsentation im kognitiven System des Individuums unterscheiden.

Jean Piaget hat in der genetischen Erkenntnistheorie (1936) zwei konstruktivistische Aktivitäten beschrieben:

Assimilation: So wie Wahrnehmungen in vorliegende Strukturen assimiliert werden, muss auch neuer Lernstoff in vorhandenes Vorwissen eingebaut werden.

Akkomodation: So wie das Assimilationsschema an das Wahrnehmungsangebot angepasst werden kann, so kann auch das Vorverständnis durch neue Informationen zu einem umfassenderen Verstehen ausgebaut werden.

Assimilation und Akkomodation führen zu einem stabilen Gleichgewicht, das aber durch z.B. unerwartete Erkenntnisse gestört werden kann. Erst durch solche Störungen wird das Assimilationsschema verändert.

Die moderne konstruktivistische Erkenntnistheorie wird durch die Erkenntnisse der Neurologie bestärkt, nach denen Sinneswahrnehmungen als unspezifische Signale in das Gehirn geleitet werden und erst dort interpretiert werden. Diese Interpretation ist natürlich auch genetisch bestimmt, aber eben nicht nur. Genetisch ist natürlich u.a. festgelegt, dass die von den Sehzellen kommenden Signale als Bildinformation interpretiert werden. Aber schon die Weiterverarbeitung zu einem wahrgenommenen Bild ist stark an die Gedächtnisinhalte, erworbene Erkenntnisse und Erfahrungen, Bewertungsmaßstäbe, Gefühle und sogar an das Ich-Bild der Selbstwahrnehmung gekoppelt.

Unsere Wirklichkeit ist kein Abbild sondern nur ein konstruiertes Bild der Realität. Auch das Erwerben von Wissen ist kein Abbildungsvorgang, sondern ein bedeutungsgebender Konstruktionsprozess, durch den erst die Information für das Individuum verfügbar wird.

An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, dass uns die Quantenmechanik nur deshalb so "unanschaulich" vorkommt, weil sie eben nicht unserer Wirklichkeitsvorstellung entspricht, in der Orte, Zeitpunkte, Impulse, Bahnen und separierte Objekte vorkommen, alles von uns konstruierte Vorstellungen, für die es in der Realität keine Entsprechung gibt. Hier wird besonders deutlich (und damit ein wichtiges Argument, die Quantenmechanik erst einmal überhaupt zu behandeln und ihr dann auch über die formale Beschreibung hinaus im Unterricht breiten Raum zu gewähren), dass die Wirklichkeit nur ein konstruiertes Bild der Realität ist, in das nur für das Individuum bedeutende Aspekte aufgenommen werden.

Auch das Lernen und Erkennen ist ein solcher für das Individuum bedeutungsgebender Prozess. Der zu lernende Stoff wird nicht etwa nur im Lernenden abgespeichert, sondern muss für das Individuum Bedeutung besitzen. Wissen kann nicht übernommen, Wissen muss aktiv konstruiert werden. Die konstruktivistische Unterrichtsmethode zeigt viele Wege, auf denen der zu lernende Inhalt für das Individuum zu Bedeutung kommen kann.

Jeder Mensch konstruiert seine eigene Wirklichkeit, aber durch Interaktion und Kommunikation entsteht eine intersubjektive Wirklichkeit, ohne die wir uns nicht untereinander verständigen könnten. Entsprechend spielen Interaktions- und Kommunikationsprozesse beim Lernen eine große Rolle: Wissen entsteht in besonderem Maße im Austausch und im Gespräch mit anderen Lernern.

Natürlich laufen solche Wirklichkeitskonstruktionen nicht immer bewusst ab, häufig sind sie unserer rationalen Kontrolle entzogen. In der Schule sollte die Effektivität der Wissenskonstruktion durch metakognitive Betreuung gesteigert werden. Die Erfahrungen der Lernenden werden analysiert und führen zu einer Verstärkung der rationalen Wahrnehmung und Gestaltung von Lernprozessen.

Aus der Erkenntnistheorie heraus haben wir schon die wesentlichen Aspekte eines konstruktivistischen Unterrichtes erfahren, die wir in Anlehnung an Labudde (1) noch einmal zusammenstellen.

Die Konstruktion von Wissen muss

- schon erworbene und erlernte Erfahrungen berücksichtigen und an ihnen anknüpfen
- eine emotionale Bewertung ermöglichen
- eine intersubjektive Absicherung durch Gespräche und Dispute mit anderen Lernern zulassen
- ein vom Lerner individuell gesteuerter und in eigener Verantwortung stehender Prozess sein.

2. Aspekte eines konstruktivistischen Unterrichtes

Im folgenden sollen in enger Anlehnung an Peter Labudde individuelle, methodische, inhaltliche und sozial-integrative Aspekte unter besonderer Berücksichtigung der Eigenständigkeit und der Eigenverantwortlichkeit zusammengestellt werden. Eine Diskussion metakognitiver Hilfen rundet diesen Überblick ab.

Viele der von Labudde aufgeführten Aspekte sind altbekannte Elemente der Didaktik und Methodik. Neu bei dieser Zusammenstellung ist aber der gemeinsame Gesichtspunkt, nämlich die Konstruktion von Wissen zu ermöglichen.

2.1 Individuelle Aspekte

Nicht der Lehrer ist bei der Wissenskonstruktion das zentrale Objekt, sondern der Lernende.

Konstruktivistisch Unterrichten erfordert eine "kopernikanische Revolution" in der Schule: Nicht der Lehrer mit seinen Planungen, Medien, Methoden und Impulsen steht im Mittelpunkt des Unterrichtes sondern der Schüler ist das Zentrum.

Zum lernenden Individuum gehört untrennbar das eher intuitive Vorverständnis und das schon erworbene Wissen. Nur hier kann das Neue anknüpfen und assimiliert werden. Natürlich wird deshalb die eigene alltägliche Sprache das Werkzeug sein, mit dem das Neue und das Bekannte zueinander in Kontakt kommen. Erst aus dieser Alltagssprache heraus kann sich langsam die Fachsprache entwickeln. Ein zu frühes Einführen der Fachsprache erleichtert nicht sondern behindert eher das Begreifen. Andererseits kann natürlich in naturwissenschaftlichen Fächern auf eine adäquate Fachsprache nicht verzichtet werden, die aber langsam aus der Alltagssprache entwickelt werden muss..

Normalerweise reicht das Vorwissen nicht aus, um die neuen Inhalte zu verstehen. Es muss nicht nur erweitert werden, häufig ist auch ein vollständiger Konzeptwechsel notwendig (beispielsweise beim Kraftbegriff oder in der Quantenmechanik). Eigene Konzepte zum Verständnis der Welt werden aber nur unter emotionalen und bedeutungsvollen Gesichtspunkten geändert, nie auf Grund einer Mitteilung oder einer Erläuterung durch den Lehrer. Erst die persönliche Betroffenheit führt zur Änderung der Konzepte.

Auf einen weiteren wichtigen individuellen Aspekt möchte ich noch hinweisen, er wird in vielen Beispielen später noch eine sehr wichtige Rolle spielen: die Eigenverantwortung.

Auch jüngere Schüler müssen immer stärker eine eigene Verantwortung für den Lernprozess entwickeln. Dazu gehört natürlich, dass der Lehrer seine Verantwortung zurücknimmt und dies durch weniger Kontrollen und eine stärker beratende Tätigkeit auch deutlich zum Ausdruck bringt.

Konkret müssen Schüler also für die Planung, Durchführung und Kontrolle des eigenen Arbeitens Verantwortung übernehmen. Das kann damit beginnen, dass sie für ihre Notizen und Mitschriften verantwortlich sind und damit enden (?), dass sie sich ihre Hausaufgaben selbst stellen und sich selbst (gegenseitig) kontrollieren.

2.2 Eigenverantwortliches Lernen

Für einen konstruktivistischen Unterricht sind Phasen, in denen die Schüler durchweg eigenverantwortlich arbeiten unabdingbar. Labudde berücksichtigt dies sowohl in den individuellen als auch den methodischen Aspekten.

Schon im Anfangsunterricht muss die Eigenverantwortung trainiert werden. Im folgenden möchte ich einige allgemeine Hinweise hierzu geben. Konkrete Fälle werden dann in der Beispielsammlung beschrieben.

In den Naturwissenschaften, insbesondere in der Physik, neigen die Lehrer dazu, wichtige Lerninhalte ausformuliert in der Fachsprache an der Tafel festzuhalten oder zu diktieren. Auch wenn es schwerfällt, überlassen wir doch solche Aufgaben den Schülern selbst! Ganz

häufig hört man in diesem Zusammenhang die Kritik, dass so ja nicht sicher gestellt werden kann, dass die Inhalte richtig ins Heft übernommen werden.

Zwei Antworten hierzu:

- Was ist schlimmer? Eine nicht ganz richtige Formulierung, dafür aber ein unter großer emotionaler Zuwendung zum Thema verfasster Text, der erarbeitet und dadurch verarbeitet wurde oder ein stupide abgeschriebener, nicht weiter beachteter Lehrbuchtext?

- Natürlich muss man Eigenverantwortung erlernen und trainieren, von heute auf morgen erlangt niemand die notwendige Fähigkeit hierzu. Es zeigt sich, dass insbesondere die Schüler, die eigenständige Arbeit gewohnt sind, auch in besonderer Form eine Vortragsmitschrift anfertigen und die notwendige Nachbearbeitung durchführen können. Sie haben nicht nur kognitive Kompetenzen erworben sondern auch eigene Verantwortung für ihren Lernfortschritt aufgebaut.

Die folgenden Maßnahmen fördern die Eigenverantwortung. Sie sind aufsteigend zu immer größerer Verantwortung der Schüler geordnet, zeitlich liegen der erste und der letzte Hinweis durchaus mehrere Schuljahre auseinander.

- Die Schüler bekommen die Aufgabe, das im vorherigen Unterrichtsgespräch Erarbeitete festzuhalten. Sie lesen ihre Texte vor, vergleichen sie und entwickeln zusammen mit dem Lehrer Kriterien für die Aspekte, die man für die spätere Nacharbeit notieren sollte.

- Nach dieser Erfahrung versuchen die Schüler eine ganze Schulstunde mitzuschreiben. Auch hier gibt es wieder eine metakognitive Diskussion im Anschluss, in der die gewonnenen Erfahrungen diskutiert werden.

- Schließlich hält der Lehrer einen Vortrag, den die Schüler mitschreiben sollen. Im Vortrag werden überflüssige, schlecht erklärte und nebensächliche Informationen eingebaut. Die Klasse entwickelt Kriterien, wie damit bei einer Mitschrift und der unerlässlichen Nacharbeit umgegangen wird.

- Nach diesen Übungen kann der Lehrer verstärkt die Ergebnissicherung in die Verantwortung der Schüler legen.

- Hausaufgaben werden nicht mehr einzeln abgeprüft bzw. kontrolliert. Diese Aufgabe übernehmen die Schüler in Lernpartnerschaften selbst. Nur bei schwierigen Problemen ziehen sie den Lehrer zu Rate. In metakognitiven Gesprächen wird ausführlich auf die Funktion der Hausaufgaben eingegangen, aber auch darauf wie man mit Motivationschwierigkeiten umgeht und weshalb und wie man nicht gemachte oder falsche Hausaufgaben nacharbeiten muss. Durch die Rücknahme der Kontrolle werden Hausaufgaben ernster genommen und wesentlich mehr Schüler machen sie wirklich selbst, das stupide Abschreiben vor der Stunde lässt rapide nach.

- Die Schüler arbeiten sich in kleinen Gruppen mit oder ohne Materialvorgabe in Teilgebiete des Faches ein. Sie legen dabei die Arbeitsgeschwindigkeit, die Schwerpunkte und die Vorgehensweise fest. Danach präsentieren sie die Ergebnisse in einer angemessenen Form der Klasse. Statt dieser Präsentation kann auch beim zweiten oder dritten Durchlauf einer solchen eigenständigen Erarbeitung eine Klausur oder ein Test stehen.

- Die Schüler bilden Lernpartnerschaften, arbeiten gemeinsam an einem prüfungsrelevanten Thema, stellen sich ihre Hausaufgaben selbst, kontrollieren sie gegenseitig und bereiten sich gemeinsam auf die folgende Klausur vor, die dann auch wirklich ohne zusätzliche kontrollierende oder helfende Lehreraktivität durchgeführt wird.

2.3 Inhaltliche Aspekte

Damit Lernende motiviert sind, neues Wissen zu konstruieren, müssen die Inhalte einen Alltagsbezug und einen Bezug zum Menschen haben sowie durch offene, authentische Probleme erarbeitet werden.

Der Alltagsbezug ermöglicht nicht nur ein Anknüpfen an Vorverständnis, er kann auch ein motivierender Anlass sein, sich mit der Konstruktion neuen Wissens zu beschäftigen. Dies

sollte aber nicht überbewertet werden, denn Jugendliche wachsen heute in einer Welt auf, in der sie ständig mit technischen Geräten umgehen, deren Funktion sie nicht verstehen (können). Die Fähigkeit zur Bedienung dieser Geräte reicht aus, sie ersetzt inzwischen ein tiefergehendes Verständnis ihrer Arbeitsweise. Technische Geräte verstehen zu wollen, besitzt für die heutige Jugend keine große Bedeutung und ist in ihrem Leben auch ohne Relevanz und ist deshalb allein nicht mehr ein motivierender Aspekt. Der Bezug zum Menschen dagegen, die eigene emotionale Betroffenheit in dieser Verbindung mit alltäglichen und technischen Erscheinungen bewirken in einem Alter, in dem auch grundlegende Sinnfragen und die individuelle Einordnung in Weltabläufe große Bedeutung haben, eine nachhaltigere und motiviertere Konstruktion von Wissen.

Es geht zum Beispiel in der Physik nicht nur um rein formale naturwissenschaftliche Inhalte sondern auch um Aspekte der Theoriebildung, der philosophischen Bewertung und der gesellschaftlichen Relevanz.

In der Oberstufenphysik ist dies in besonderem Maße zum Beispiel bei der Behandlung des quantenmechanischen Weltbildes möglich. Konstruktivistische Überlegungen zum Realitätsbezug der Modellaussagen und zur Rolle des Beobachters aber auch die besonderen sozialen Verhältnisse, in denen die Physiker in den 20-er Jahren des letzten Jahrhunderts bereit waren, ihre eigenen klassischen Wirklichkeitsvorstellungen aufzugeben, stellen einen deutlichen und motivierenden Bezug zum Menschen her.

Es versteht sich von selbst, dass die Auswahl der zu vermittelnden Inhalte nicht von fachsystematischen Gesichtspunkten bestimmt sein darf, sondern exemplarisch diejenigen Inhalte ausgesucht werden, die in besonderem Maße einen konstruktivistischen Zugang ermöglichen.

2.4 Sozial-kommunikative Aspekte

Wie wesentlich die Kommunikation bei der Lösung von Problemen ist, hat der Psychologe Dietrich Dörner (2) in einem beeindruckenden Experiment nachgewiesen: Seine Probanden sollten eine Aufgabe bewältigen, bei der sie durch Veränderungen bestimmter Körpermerkmale eine Käfersorte in eine andere überführen mussten. Die Schwierigkeit ergab sich dadurch, dass Merkmalsänderungen aneinander gekoppelt waren, die häufig kontraproduktiv zur Bewältigung der gewünschten Käfermutation waren. Letztlich spielt aber die eigentliche Aufgabe für unsere Betrachtung keine Rolle, außer der Hinweis, dass die Lösung des Problems eine nicht unerhebliche kognitive Anstrengung erfordert.

Eine Hälfte der Probanden musste die Aufgabe schweigend lösen, die andere war aufgefordert, den Lösungsweg durch "Selbstgespräche" zu kommentieren. Es zeigte sich, dass diejenigen, die laut redend mit sich selbst kommunizierten, nicht nur effektiver und schneller sondern auch strategisch anspruchsvoller die Aufgabe lösten. Das Gespräch mit sich hilft also beim Bewältigen von kognitiven Aufgaben. Wie enorm muss dann die Kommunikation mit einem anderen Individuum helfen?

Wie weitreichend die Rolle der Kommunikation ist, erkennt man daran, dass nach Dörner das Bewusstsein des Menschen durch verbale Selbstreflexion und nach Wolfgang Singer durch intersubjektive Kommunikationsprozesse entsteht und somit erst im Laufe der Kindheit erlernt wird..

Nun denken Sie an Schüler, die im Unterricht schweigend die Instruktionen des Lehrers entgegen nehmen oder sich gar in Stillarbeit mit dem Lernstoff beschäftigen....

Ein ganz wichtiger Aspekt eines konstruktivistischen Unterrichtes ist die Anregung und Ermöglichung von Gesprächen der Schüler untereinander und mit dem Lehrer, notfalls aber auch die Ermöglichung und Anregung von sog. lautem Lernen, bei dem Inhalte und Lernprozesse in Selbstgesprächen kommentiert werden..

Dazu ist es erst einmal notwendig, eine Atmosphäre zu schaffen, in der Schüler ihre Ideen und Fragen aber auch ihre Schwierigkeiten angstfrei ausdrücken können.

Der Unterricht sollte wechselnd alle möglichen Kommunikationsprozesse anregen und dazu unterschiedliche Sozialformen in ständigem Wechsel anbieten: Gruppenarbeit, Lernpartnerschaften, Gruppenpuzzle, bei dem Gruppenmitglieder anderen Gruppen die Arbeit der eigenen Gruppe vorstellen, Präsentationen vor der Klasse, aber auch Einzelarbeit, Unterrichtsgespräch im Frontalunterricht und das Bearbeiten eines Vortrages und eines Referates gehören dazu.

Natürlich muss eine metakognitive Einweisungsphase vorausgehen. Schüler müssen die Dörnerschen Ergebnisse der Kognitionsforschung kennen, sie müssen wissen, warum sie beim Lernen laut redend die Inhalte und Zusammenhänge und auch die Schwierigkeiten sich und anderen mitteilen müssen.

Auch hier ist Training wichtig:

Lassen Sie Ihre Schüler Unterrichtsmitschriften in kleinen Gruppen besprechen und überarbeiten. Lassen Sie die Hausaufgaben in kleinen Gruppen besprechen und auch Fehler diskutieren und beheben.

Vertrauen Sie darauf, dass Lernen ein kollektiver Kommunikationsprozess mit individuellen Aspekten ist. Die konstruktivistische Unterrichtsmethode fördert und wünscht eine solche Kommunikation.

2.5 Methodische Aspekte

Natürlich spiegeln sich in den Methoden die anderen konstruktivistischen Aspekte wieder:

Ein wesentlicher Ansatzpunkt für die Konstruktion von Wissen ist die Eigenständigkeit, die ganz eng an die eigene Verantwortung für die Planung und Durchführung des Lernprozesses gekoppelt ist. Um die Kommunikation zu fördern, sollte verstärkt Gruppenarbeit eingesetzt werden. Auch hier versteht es sich von selbst, dass die Gruppenarbeit frei und eher projektorientiert sein soll. Eine Gruppenarbeit mit Arbeitsblättern, die jeden einzelnen Denkschritt vorgeben, ist nicht im konstruktivistischen Sinn. Die selbstständigen Arbeitsformen erfordern zum Abschluss eine Präsentation, auf die die Schüler hinarbeiten können. Die Präsentation kann im Rahmen eines Gruppenpuzzles für eine andere Gruppe sein, sie kann für die Klasse, die Schule oder gar für die Öffentlichkeit (Ausstellung, Vorführung) angelegt sein.

Das klassische Unterrichtsgespräch, ein Lehrervortrag, das Anfertigen einer Hausarbeit oder einer Portfoliomappe sind weitere methodische Möglichkeiten, die Konstruktion von Wissen anzuregen.

Ein Unterrichtsgespräch kann unter der Moderation des Lehrers dazu führen, dass die Lerngruppe ein gemeinsames Forschungsprogramm entwickelt und dann auch durchführt.

Wichtig ist, dass der Lehrer ständig seine Rolle wechselt: mal ist er Lernberater, mal führt er Lösungen vor, referiert und erklärt, und mal moderiert er die Beiträge seiner Schüler. Ein solcher Wechsel von Lehrerrolle und Methode ermöglicht den Schülern eine besonders intensive Erfahrung mit der eigenen Konstruktion von Wissen. In einem konstruktivistischen Unterricht gibt es also nicht die Methode an sich, sondern die Methodenvielfalt ist ein tragender und entscheidender Aspekt. Eine breite Methodenkompetenz des Lehrers bewirkt eine gute kognitive Kompetenz seiner Schüler. Solche Schüler fühlen sich auch verantwortlich für ihr eigenes Lernen, sie verarbeiten alle Methoden, auch die Informationsvermittlung durch einen Vortrag.

2.6 Metakognitive Begleitung

Die ständige metakognitive Diskussion ist ein wesentlicher Aspekt für den Erfolg eines konstruktivistischen Unterrichtes. Die Schüler müssen ihre Konstruktionsprozesse ständig beobachten, hinterfragen und sich bewusst machen. Nur so kann es zu einer Optimierung des Lernerfolges kommen. Fachliche Inhalte treten dabei nur scheinbar in den Hintergrund. An ihnen werden die Lernerfahrungen gemacht. Deshalb wird auch den Inhalten mehr Beachtung

geschenkt. Die zusätzliche fachliche Motivation, die so häufig entsteht, drückt sich in Bemerkungen der Schüler aus: "Machen wir so weiter? Das hat richtig Spaß gemacht." - "Mathe ist echt cool. Weiter so" - "Das macht Arbeit, aber es kommt was dabei raus, und das ist gut."

Immer wieder werden in sog. "Metakognitionsstunden" die eigenen Lernerfahrungen beschrieben. Die Schüler lernen ihre Lerntypen erkennen, sammeln Erfahrungen mit kommunikativen Lernprozessen. Sie besprechen ihre Kommunikationsprobleme und entwickeln gemeinsam und mit Hilfe des Lehrers Strategien zur Überwindung. Ihre Lernprozesse reflektieren die Schüler in Lernpartnerschaften und Forschungsberichten, in denen nicht nur Ergebnisse und Inhalte festgehalten werden sondern auch Vorgehensweisen und Probleme und deren Bewältigungen.

Ein nicht zu kleiner Raum sollte dem Umgang mit Texten, gerade auch in der Physik, gewidmet werden. Wie entnehme ich einem Text gezielt Informationen, wie gehe ich mit schlecht erklärten oder zu anspruchsvollen Inhalten um, wie extrahiere ich in schriftlicher Form wichtige Aspekte?

Metakognitive Begleitung des konstruktivistischen Unterrichtes fördert Kompetenzen, die unter dem Schlagwort "Das Lernen lernen" aktueller denn je sind.

3. Beispiele für konstruktivistischen Unterricht

3.1 Mathematik: Eigenständiges Erarbeiten der Potenzrechnung

Schon mehrfach habe ich in einer 9. bzw. 10 Gymnasialklasse die Regeln, deren Beweise und Anwendungen für natürliche, ganze und rationale Exponenten und die sog scientific notation in kleinen Lerngruppen aus 2 bis 3 Schülern eigenständig und eigenverantwortlich erarbeiten lassen.

Es gab kein von mir angefertigtes Material, sondern die Schüler haben mit ihrem Mathematikbuch gearbeitet. Dort werden in einführenden Texten die Regeln erläutert und dann formal bewiesen. Wie üblich folgen in den Büchern dann viele Übungsaufgaben.

Die Schüler bekamen nur eine grobe zeitliche aber keinerlei inhaltliche Vorgaben. Sie wussten allerdings, dass am Ende der Unterrichtsreihe nach einer Fragestunde eine Klassenarbeit kommen würde.

Die Zeitvorgabe war so bemessen, dass die zur Übung vorhandenen Aufgaben nur dann vollständig bearbeitet werden konnten, wenn die Lerngruppen sich selbst Hausaufgaben stellen.

Alle Kontrollen gerechneter Aufgaben und eine eventuell notwendige Fehlersuche sollten die Lerngruppen eigenverantwortlich durchführen. Nur bei extremen Schwierigkeiten sollten sie mich zu Rate ziehen.

Die Zusammensetzung der Lerngruppen blieb den Schülern überlassen, sie organisierten sich nach persönlichen Beziehungen. Das hatte teilweise zur Folge, dass sich manche Gruppen auch zu Hause oder zusätzlich in der Schule trafen. Es gab dabei sowohl homogene leistungsstarke und leistungsschwache Gruppen, die besonders von mir gefördert werden konnten. In leistungsheterogenen Gruppen profitierten alle voneinander, die Besseren dadurch, dass sie erklären konnten und dadurch selbst weitere Kompetenzen erworben haben und die Schlechteren dadurch, dass sie kompetente Hilfe bekamen.

Manche Lerngruppen haben mich in der mehr als vier Wochen dauernden Arbeitsphase fast nie, andere dagegen mehrmals in der Stunde zu Rate gezogen. Dadurch war es mir möglich individuell besonders auch schwächere Schüler zu fördern.

In Doppelstunden durften die Lerngruppen ihre Pausen selbst festlegen und waren auch für die Einhaltung der Pausenzeiten ihrer Gruppe verantwortlich.

Auch wenn eine Gruppe in der Bibliothek oder einem anderen Raum arbeiten wollte, war dies im Sinne der Eigenverantwortung selbstverständlich gestattet.

Zur Vorbereitung:

Die Klassen haben natürlich vorher kleine Übungen zu dieser selbstständigen Arbeit gemacht. Sie wurden zum Beispiel aufgefordert sich den Beweis der Irrationalität von $\sqrt{2}$ in Stillarbeit anzusehen. Danach habe ich ihnen von Dörners Experimenten erzählt und sie dann aufgefordert, sich in kleinen Gruppen den Beweis und ihre Verständnisprobleme gegenseitig zu erläutern und in einem Gespräch eine eigene Formulierung des Beweises zu finden.

Das wesentlich schnellere und bessere Verständnis des Beweises mit Hilfe der zweiten Methode überzeugte die Schüler. Aus still vor sich hinbrütenden Frustrierten entwickelte sich in den Lerngruppen nach weiteren Übungen dieser Art emotional und intensiv diskutierende Schüler.

Des weiteren wurden Verfahren eingeübt, sich das Erarbeitete in verständlicher und effektiver Form zu notieren. Schon vorher wurden Hausaufgaben in kleinen Lerngruppen besprochen, unter weitestgehender Zurücknahme meiner Kontrollen und Hilfen. Schon vorher haben die Schüler Inhalte und Erläuterungen eigenständig festgehalten.

Ohne solche sensibel gestaltete Vorübungen, in denen die Klasse Vertrauen in ihre eigenen Fähigkeiten und die Aufrichtigkeit der Absicht des Lehrers gewinnt und in denen ständig lernpsychologische Hintergrundinformationen gegeben werden, kann eine so lange eigenständige Arbeitsphase nicht gelingen.

Ergebnisse:

Ausnahmslos stiegen die Leistungen der Klassen deutlich an. Die im Anschluss an die eigenständige Phase geschriebene Klassenarbeit hatte bis zu 2 Notenpunkten bessere Ergebnisse, die Anzahl der schlechten Arbeiten hatte deutlich abgenommen.

Die Schüler konnten teilweise auch Aufgaben lösen, die weit über die vorkommenden Übungsaufgaben hinaus gingen und ein tiefergehendes komplexeres Verständnis erforderten. Die Motivation in den Klassen ist langfristig gestiegen, Mathematik hat den meisten Schülern Spaß gemacht und sie hatten großes Interesse daran, öfters eigenständig und eigenverantwortlich arbeiten zu dürfen.

Durch die positive und emotionale Zuwendung ist auch langfristig das Gelernte besser verankert, was zumindest subjektiv von den Schülern einige Jahre später bestätigt wurde.

Der Zeitaufwand für die Unterrichtseinheit war vergleichbar mit demjenigen üblicher Vorgehensweise, bei intensiverer, effektiverer Arbeit mit mehr Motivation und Freude an der Sache, und: mit einer metakognitiven Erfahrung, deren Früchte noch später immer wieder neu geerntet werden können.

3.2 Physik: Unterrichtsgespräch über Elementarmagnete

Auch ein Unterrichtsgespräch ist unter bestimmten Aspekten ein Element des konstruktivistischen Lernens. Einmal darf es nur als eine der zahlreichen Methoden in stetigem Wechsel mit anderen Verfahren auftreten. Zum anderen muss es so gestaltet sein, dass die Schüler ihre Erkenntnisse und Fragen selbst formulieren und die Ergebnisse in ihren eigenen Worten ausdrücken und festhalten.

Das soll an einem Beispiel verdeutlicht werden. Die Schüler sollen in dieser Stunde erkennen, dass eine Eisennadel aus Elementarmagneten besteht, die beim Magnetisieren geordnet werden.

Ich führe mit Hilfe einer Kompassnadel vor, wie eine bisher unmagnetische Eisennadel nach dem Bestreichen mit einem Magneten magnetisch wird.

Die Schüler beschreiben den Versuch und formulieren das zu erklärende Problem. Danach beginnen sie im Rahmen ihres Vorverständnisses Überlegungen anzustellen, die noch keinen Bezug zum Modell der Elementarmagnete hat. In dem von mir höchstens durch Impulse gesteuerten Gespräch erkennen sie, dass ihre Vermutungen offensichtlich falsch sind bzw.

durch einfache Experimente, die natürlich auch durchgeführt werden, widerlegt werden können. Es entstehen zwei Thesen: Ein Schüler meint, dass durch das Magnetisieren Nord- und Südpole in der Eisennadel getrennt werden, ein anderer geht von einem, den Elementarmagneten ähnlichem Modell aus. Hier gebe ich nur die Frage nach den Möglichkeiten mit denen man zwischen beiden Vorstellungen unterscheiden kann, als Impuls an die Klasse. Durch ein Experiment wird das falsche Modell ausgeschlossen und das Modell der Elementarmagnete durch weitere Experimente bestätigt.

Im Anschluss daran entwickelt die Klasse eine Folge von Skizzen, die das Ordnen der Elementarmagnete zeigt und notieren sich ihre Erkenntnisse in Form von Bildunterschriften.

Im konstruktivistischen Sinn hat die Klasse mit ihrem Vorwissen den Versuch erklärt, ist gescheitert und hat mit eigenen Worten ein neues Modell entwickelt, das dann auch von der Klasse dargestellt und im Heft festgehalten wurde.

Die Lehrerrolle war durchaus steuernd, vom Lehrer gingen Impulse aus, seine Fragen waren aber nicht einengende, sondern erkenntnisleitende Orientierungshilfen. Er hat keine Erkenntnisse formuliert, keine Erklärungen gegeben, aber versucht eine Gesprächsatmosphäre zu schaffen, in der niemand Angst hatte seine eigenen Vermutungen auszudrücken. Eine Darstellung dieser Stunde ist in (3) vorhanden.

3.3 Physik: Forschungsprogramm Linsen

Auch bei diesem Beispiel ist zumindest am Anfang das Unterrichtsgespräch die dominierende Methode, wenn auch der Lehrer sich hier noch stärker zurücknimmt. Bei einem fachsystematisch aufgebauten Unterricht wird zuerst die Brechung, dann die planparallele Platte, dann das Prisma und dann die Linse behandelt. Ich stelle dagegen in einem Versuch gleich zu Beginn die Abbildungswirkung einer Linse vor. Den Schülern ist zwar der Diaprojektor aus dem Alltag bekannt, aber die Linsenwirkung ist in diesem technischen Gerät für sie nicht mehr offensichtlich. Dass eine einfache Linse das Bild einer Kerze stark vergrößert auf eine Wand projiziert, ist unerwartet und ruft Erstaunen hervor. Wie viel von diesem Staunen bleibt, wenn man den fachsystematischen Weg von der planparallelen Platte über das Prisma wählt?

Die Klasse stellt einen Fragenkatalog auf und entwickelt ein Forschungsprogramm, das zur Erklärung des Phänomens führen soll. Hier greift der Lehrer noch als Moderator steuernd in das Gespräch ein. Verschiedene Strategien werden diskutiert, die Klasse teilt sich in Gruppen, die den Einfluss der Parameter Gegenstandsweite und Bildweite untersuchen und in Gruppen, die den Einfluss der Linsenform untersuchen und dabei die Brennweite variieren. Die jeweiligen Ergebnisse werden der Klasse präsentiert und in einem (fiktiven) Antrag an Geldgeber dokumentiert, in dem die Schüler auch die Bedeutung und Auswirkungen ihrer Forschungen und ihr geplantes Vorgehen darstellen und der deshalb eine metakognitive Funktion besitzt..

In der Gruppenarbeit sind systematische Beobachtungen durchgeführt worden, so dass in einem Unterrichtsgespräch die Notwendigkeit einer logisch-systematischen Erklärung erarbeitet wird. Das Gespräch wird vom Lehrer in zwei Richtungen gelenkt:

- Zum einen muss die Abbildungseigenschaft der Linse erkannt werden: Von einem Gegenstandspunkt ausgehende Lichtstrahlen treffen sich in einem Bildpunkt.
- Zum anderen muss die besondere Rolle der Linsenform bei der Ablenkung des Lichtes erkannt werden. Wie ein Versuch zeigt, erzeugt eine planparallele Platte kein Bild.

In beiden Fällen können die Schüler auf ihre Erfahrungen mit Kugelspiegel zurückgreifen.

Auch hier entwickeln sich im Gespräch wieder zwei mögliche Forschungswege, die in verschiedenen Gruppen durchgeführt werden:

- Angeregt durch das bekannte Reflexionsgesetz wird das Verhalten eines Lichtstrahles beim Übergang von Luft nach Glas untersucht.

- Angeregt durch die Bildkonstruktionen beim Kugelspiegel untersuchen Schüler, ob auch bei der Linse achsenparallele und Brennpunktstrahlen einen besonderen Verlauf haben und ob man den zur Bildkonstruktion benutzen kann.

Beide Aufgabenstellungen sind sehr komplex, deshalb dürfen die Schüler neben den Experimenten „schon bekannte Forschungsarbeiten“, also das Physikbuch, zur Bearbeitung heranziehen.

Nach zwei Schulstunden werden die Gruppen gemischt und es tritt eine intensive Informationsphase über das jeweils andere Gruppenergebnis ein.

Abschließend werden gemeinsame Konstruktionsübungen zur Bildentstehung durchgeführt und mit einem Experiment verglichen.

3.4 Physik: Untersuchung und Präsentation optischer Geräte

In den meisten Physikbüchern sind Aufbau und Funktion optischer Geräte gut erläutert, Modellversuche hierzu lassen sich leicht aufbauen. Das sind gute Voraussetzungen für die Möglichkeiten eigenständiger Erarbeitung.

Ich stelle Experimentiermaterial und eingeschränkt auch zusätzliches Informationsmaterial (die Schüler sollen sowohl mit ihren Büchern arbeiten als auch selbst weitere Informationsquellen suchen) für die optischen Geräte Fotoapparat, Diaprojektor, Auge, Fernrohr und Mikroskop zur Verfügung. Die ersten beiden Geräte müssen von allen Gruppen bearbeitet werden, von den anderen drei Geräten muss jede Gruppe nur eines bearbeiten, insgesamt aber muss es für jedes Gerät mindestens eine Gruppe geben.

Die Gruppen bekommen folgende Aufgaben:

- Beschreibe Aufbau und Funktionsweise, führe einen Versuch dazu durch.
- Erläutere, wie das jeweilige Gerät fokussiert, insbesondere beim Übergang von einem nahen zu einem weit entfernten Gegenstand, und erkläre die Fokussierung mit Hilfe von Bildkonstruktionen (diese Aufgabe wird in den Büchern selten systematisch behandelt und erfordert eine wirkliche eigenständige Erkundung)
- Bereite eine Präsentation vor der Klasse vor, in der Aufbau und Fokussierung erklärt und mit einem Versuch vorgeführt wird.

Metakognitive Gespräche vorher oder auch während der Arbeiten weisen auf wichtige konstruktivistische Elemente hin, wie Umgang mit Literatur, die Bedeutung des Gesprächs und die Möglichkeiten, Ergebnisse durch Notizen festzuhalten.

Die Präsentation zwingt die Schüler zu einer wirklichen Präzisierung und Hinterfragung ihrer Erkenntnisse.

Wenn eine Gruppe ein Gerät präsentiert, das die ganze Klasse bearbeitet hat, stellt die Klasse ein Fachgremium dar, das auf inhaltliche Korrektheit und Vollständigkeit achtet, aber auch auf die Art der Darstellung eingeht. Wird ein Gerät präsentiert, das nur von einem Teil der Klasse bearbeitet wurde, so üben die anderen das Mitschreiben und müssen durch Fragen ihre eigene Erkenntnis so absichern, dass sie anschließend auch dieses Gerät unter den genannten Gesichtspunkten verstanden haben (eventuell gibt es einen Test, der sich auf alle Geräte bezieht).

Auch hier wird natürlich die Darstellung der präsentierenden Gruppen, die Mitschriften der Klasse und die Art der Fragen in einem metakognitiven Gespräch aufbereitet.

Die beschriebene Unterrichtseinheit ist sowohl in einer Klasse 8 als auch einer Klasse 9 durchgeführt worden. Sie ist wegen der kompakten Fragestellungen und der zahlreichen Erfahrungen und Gespräche zur Metakognition auch sehr gut zum Einstieg in eigenständige Tätigkeiten geeignet.

3.5 Physik: Anwendungen des Elektromagnetismus

Die Magnetfelder von Leitern und Spulen und die Kräfte auf elektrische Ströme in Magnetfeldern und die zugehörigen technischen Anwendungen wie Elektromagnet,

Elektromotor, Drehspulinstrument, Relais und Klingel sind Themenbereiche, die sich ebenfalls gut für eine eigenständige Erarbeitung eignen.

Eine 10. Klasse bekam den Arbeitsauftrag die oben genannten Geräte zu erklären, dabei aber auch die grundlegenden physikalischen Erscheinungen und Gesetze zu beschreiben. Die Gruppen durften an bereitgestelltem, aber nicht aufgebautem Material unter Aufsicht nach Voranmeldung experimentieren, eine Handbibliothek aus Schulbüchern, Fachlexika und populärer Literatur benutzen und sich bei Bedarf weitere Materialien aus Bibliotheken oder Internet besorgen.

Die zur Verfügung stehende Arbeitszeit lag bei etwa fünf Wochen. Meine Funktion als Lehrer war nur die eines Lernberaters nicht die einer sachkundigen Fachkraft, d.h. ich gab den Gruppen lediglich metakognitive aber keine inhaltliche Hilfe. Nach einigen Arbeitsstunden haben wir ein Klassengespräch geführt, bei der vor allem diskutiert wurde, wie man die unterschiedlich verständliche und nicht immer übereinstimmende Darstellung in verschiedenen Büchern als Informationsquelle sicher verarbeiten kann. Solche Informationsquellen zu nutzen und die damit vorhandenen Probleme überwinden zu lernen, dass war einer der Gründe dafür, dass kein vorgefertigtes Material wie bei Lernstationen ausgeteilt wurde. Nebenbei bemerkt: detailliert geplante und bis in die kleinste Anweisung ausgearbeitete Lernstationen gelten nicht als eigenständiges Lernen. Sehr leicht kann die Aktivität der Schüler eine Scheinaktivität werden, bei der nur Anweisungen nachvollzogen aber nicht Wissen konstruiert wird.

Es gab eine Reihe interessanter und überdenkenswerte Beobachtungen:

- Eine Mädchengruppe hatte Schwierigkeiten, die Wirkungsweise der Selbstunterbrechung einer elektrischen Klingel zu verstehen. Die Darstellung in verschiedenen Büchern gab ihnen nicht die für sie wichtigen Informationen. Immer wieder baten sie mich um eine fachliche Erklärung, die ich aber verweigerte. Lediglich der Hinweis, dass auf dem Experimentiertisch eine Klingel liegt, die sie untersuchen und in Betrieb nehmen können, erschien mir sinnvoll. Nach einigen weiteren vergeblichen Versuchen in Lexika fertige, ihnen einleuchtende Erklärungen zu finden, ließen sie sich darauf ein, ein eigenes Erklärungsmodell anhand der Experimentierklingel aufzustellen. Sie haben dafür eine weitere Schulstunde gebraucht und dann eine Erklärung gefunden, die ihnen so einleuchtend war, dass sie mich nicht nach einer Bestätigung fragten sondern nur aufgeregt und richtig emotional bewegt und stolz auf den erfolgreichen Abschluss ihrer Arbeit hinwiesen.

Dieses tiefe emotionale Erfolgserlebnis steigerte ihre Aktivität in Physik, eines der Mädchen, bisher eher zurückhaltend an Naturwissenschaften interessiert, belegte im nächsten Jahr erfolgreich einen Physikleistungskurs und studiert inzwischen ein naturwissenschaftliches Fach.

- Diese Interessens- und Leistungssteigerung war kein Einzelfall. Viele vorher eher im ausreichenden Notenbereich stehende Schüler schrieben im anschließenden Test gute bis sehr gute Noten und beteiligten sich im "normalen" Unterricht engagierter. Im Test sind auch Aufgaben gut bearbeitet worden, die weit über das Niveau der zur Verfügung gestellten Literatur gingen und eine erhebliche Transferleistung darstellten. Alle Schüler gaben in einer anonymen Befragung an, wesentlich mehr und intensiver für das Fach gearbeitet zu haben, dabei aber sehr viel Freude und Interesse entwickelt zu haben. Das sind natürlich beste Voraussetzungen für eine dauerhafte Konstruktion von Wissen.

- Die eigenständige Arbeitsform bot natürlich auch die Chance sich individuell mit dem Thema auseinander zusetzen. So waren Gruppen zu beobachten, die sich erst nach einem Literaturstudium Experimente zur Bestätigung aussuchten. Nur wenige Gruppen begannen ohne theoretische Vorarbeit mit einem Experiment. Dies bestätigt durchaus die von Hodson (4) beschriebene Rolle des Experimentes im Physikunterricht. Wirkliches Lernen findet nicht induktiv durch Beobachtung statt sondern nur durch ein sinnvolles theoriegeleitetes Experimentieren.

Das Schülerexperiment, das ohne theoretisches Vorverständnis, ohne eigene Modellvorstellungen nur Messungen nach Anweisung des Lehrers ermöglicht, aus denen dann unter enger Führung des Lehrers ein formales Gesetz gewonnen wird, sollte eigentlich der Vergangenheit angehören. Wenn man Schülern den Erarbeitungsweg selbst überlässt, gehen sie diesen Weg nur in seltenen Ausnahmefällen, sie experimentieren eher im Sinne von Hodson (4).

3.6 Physik: Kognitionstraining Wärmelehre

In einer 9. Klasse habe ich verschiedene konstruktivistische Unterrichtsmethoden nacheinander durchgeführt. Es ging inhaltlich um Wärmelehre, aber nicht nur um diese, sondern auch um einen verstärkten Zugang zur Physik.

Jede mehrstündige Methodeneinheit begann mit einer kurzen Hintergrundinformation über die Absicht der Methode und die Rolle von Schüler und Lehrer. Am Ende einer Einheit reflektierten die Schüler ihre Erfahrungen mit der jeweiligen Methode.

- 1. Einheit: Offenes Unterrichtsgespräch

Inhaltlich ging es um die Erarbeitung der Gleichung $Q=c*m*\Delta t$, insbesondere um die proportionalen Zusammenhänge und die anschauliche Bedeutung der Wärmekapazität für Erwärmungs-, Abkühl- und Speichervorgänge.

Die Schüler mussten die Stunden mitschreiben, Ergebnisse wurden nicht vom Lehrer diktiert, sondern von den Schülern formuliert und selbstständig aufgeschrieben.

- 2. Einheit: Eigenständige Arbeit:

Inhaltlich ging es um Wärmeleitung, Wärmeströmung und Wärmestrahlung. Die Schüler hatten die Aufgabe die Leitungsvorgänge von Wärme physikalisch zu beschreiben und technische sowie natürliche Anwendungsbeispiele zu erklären. Die erarbeiteten Inhalte sollten sie eigenständig in ihr Heft übertragen. Die Materialbeschaffung war, wenn die Physikbücher als nicht ausreichend empfunden wurden, Teil der Aufgabe.

- 3. Einheit: Vorträge

Die von mir gehaltenen ca. 30 minütigen Vorträge gingen um die Entstehung von Land- und Seeklima, die Bedeutung von Hoch- und Tiefdruckgebieten, die Entstehung von Klimazonen der Erde und um die Mechanismen des Energietransportes im Inneren der Sonne.

Die Vorträge waren so gestaltet, dass gut und langsam erklärte Inhalte von schlecht oder zu schnell vorgetragenen Erläuterungen abgewechselt wurden. Es gab aber auch Vortragsteile, die ausschweifend, überflüssig, nebensächlich waren oder schlichtweg inhaltlich eine Überforderung darstellten. Das zu erkennen, in der Mitschrift damit klar zu kommen und in der Nacharbeit darüber zu reflektieren, war ein Teil des Methodentrainings. Die Schüler hatten auch Gelegenheit, ihre Mitschriften und die Nacharbeiten zu besprechen und zu vergleichen. Es wurden auch Mitschreibmethoden und allgemein übliche Ratschläge diskutiert und besprochen.

- 4. Abschließende Betrachtung:

Die Schüler diskutierten ihre persönliche Sichtweise der drei Methoden. Es stellte sich heraus, dass im Unterrichtsgespräch die Bereitschaft zum Abschalten recht hoch war. Der Gesprächsverlauf oder die Ergebnissicherung ermöglichten scheinbar den erneuten Einstieg in die Thematik. Das eigenständige Arbeiten wurde als die unbequemste Methode angesehen, da man sich hier wirklich intensiv mit dem Thema auseinandersetzen musste.

Am beliebtesten waren die Vorträge, die schon eine gut geordnete Struktur vorgaben, durch das Mitschreiben und die Nacharbeit auch genügend Schüleraktivitäten ermöglichten. Ich gebe zu, ein für mich vollkommen unerwartetes Resultat. Man sollte aber bedenken, dass

diese Lerngruppe schon in den früheren Unterrichtsjahren eigenständige Arbeitsphasen und Metakognition geübt hatte, so dass sie sicher mit dem Methodentraining Vortragsmitschrift ganz anders umging als nicht vorbereitete Lerngruppen.

Es bleibt noch als wichtiges Ergebnis anzumerken, dass die inhaltliche Arbeit weder zeitlich noch von der Stoffmenge her gelitten hat. Es gab in allen Fällen eine intensive Zuwendung zu den physikalischen Aspekten. Noch Jahre später konnten die Schüler bewusst mit den Inhalten umgehen, viele von ihnen haben ein Jahr später einen Physikleistungskurs belegt. Die Freude am Fach Physik hatte offensichtlich zugenommen.

3.7 Physik: Gleichförmige Bewegung

Eine in eigenständiger, konstruktivistischer Methodik erfahrene 10. Klasse erhielt den folgenden Arbeitsauftrag:

- Was bedeutet die Angabe 50 km/h? Rechne in m/sec um, stelle eine allgemeingültige Umrechnungsregel auf und begründe sie.
- Erläutere, unterscheide und definiere die Begriffe Momentan- und Durchschnittsgeschwindigkeit.
- Untersuche Bewegungen mit konstanter Momentangeschwindigkeit. Trage die gemessenen Werte von zurückgelegten Wegen und zugehörigen Zeiten in einem Graph auf und diskutiere proportionale Zusammenhänge.

Obwohl die Klasse in Gruppen aus 2 bis 3 Personen arbeitete, sollte jeder eine Mappe anlegen, in der er nicht nur die Ergebnisse und Zusammenhänge festhalten sollte, sondern weitergehende Informationen, die mit dem Thema Bewegung mit konstanter Geschwindigkeit wichtig erschienen.

Diese Mappe sollte als Arbeitsgrundlage für die Oberstufe angelegt sein und am Ende der Unterrichtsreihe Kinematik (es folgten noch erarbeitende Unterrichtsgespräche über die gleichmäßig beschleunigte Bewegung) sollte die Mappe eingesammelt und neben einem Test und der mündlichen Mitarbeit zur Benotung herangezogen werden.

Die Schüler sollten Erfahrungen im Zusammenstellen von Lernunterlagen sammeln, mit denen sie sich dann in der Oberstufe auf Klausuren vorbereiten konnten. Schon jetzt sollten die Mappen zum Vorbereiten des angekündigten Tests dienen.

Interessant waren die Experimente, die ausschließlich ohne Laborgeräte von den Schülern geplant wurden. Sie versuchten gleichförmige Bewegungen zu erzeugen, lernten das Phänomen der Reibung kennen und entwickelten Strategien diese auszugleichen. Es gab Gruppen, die das Aufsteigen von Luftblasen im Wasser, das Absinken von Gegenständen in zähen Flüssigkeiten bearbeiteten. Hier war deutlich die theoriegeleitete Experimentiersituation zu erkennen, aber auch eine besondere konstruktivistische Kreativität.

Es bleibt anzumerken, dass im nachfolgenden "normalen" Unterricht zur gleichmäßig beschleunigten Bewegung natürlich keine sterilen Fahrbahnversuche gemacht wurden, sondern das Weg-Zeit-Diagramm von anfahrenen Zügen aufgenommen wurde.

Noch eine Anmerkung zur Bewertung der mündlichen Leistung: Wenn ein beachtlicher Teil des Unterrichtes auf eigenständiger Basis abläuft, kann natürlich in klassischer Weise keine mündliche Note erteilt werden. Aber: Jede längere eigenständige Arbeit schließt ja mit einer Präsentation ab, die benotet werden kann. Auch kann die Arbeit der Gruppen gut beobachtet und zur Notengebung herangezogen werden. Beides sollte aber mit den Schülern vorher verabredet werden und die Benotungskriterien offen gelegt werden.

3.8 Fachübergreifender Projektunterricht: Auto

In der Jahrgangsstufe 11 habe ich in einem Vorleistungskurs Physik ein Projekt „Auto“ angeboten. Die Schüler haben in Gruppen aus 2 bis 4 Personen über ein halbes Jahr lang ein Thema bearbeitet und Vorgehensweise und Ergebnisse in einem Forschungsbericht zusammengestellt, der mit zur Benotung herangezogen wurde.

Die Arbeiten am Projekt erfolgte außerhalb der Unterrichtsstunden. Im Rahmen des regulären Unterrichtes wurde eine Einführungsstunde gegeben und es gab eine Doppelstunde gegen Ende des Projektes für abschließende Arbeiten. Zur inneren Koordination der Arbeitsgruppen gab es während der übrigen Zeit einmal pro Woche ca. 10 Minuten zu Beginn einer Stunde, in der die Projektgruppen Besprechungen abhielten oder auch mich zu Rate ziehen konnten.

Insgesamt konnte die Projektarbeit in die folgenden Phasen gegliedert werden:

1.Phase Projektanfang

- Brainstorming: Da das Projektthema durch einen Konferenzbeschluss vorgegeben war, konnten die 24 Schüler lediglich Fragen, Begriffe, Probleme, Aspekte zum Thema Auto sammeln und ungeordnet an der Tafel festhalten.
- Ordnen: Die Stichpunkte wurden zusammenfassenden Oberbegriffen zugeordnet, aus denen dann Themen für Teilprojekte formuliert wurden.
- Ausschuchen: Es bildeten sich Schülergruppen, die sich eines der Teilprojekte aussuchte
- Erste Besprechung: Die Teilprojektgruppen trafen sich zu einer ersten Besprechung und Vorbereitung der ersten Aufgaben.

2.Phase Projektdurchführung

In dieser vier Monate dauernden Phase gab es nur die erwähnten Besprechungen, ansonsten lief der normale Physikunterricht ab.

Es hatten sich Projektgruppen zu folgenden Themen gebildet:

- Alternative Motorenkonzepte
- Sicherheitssysteme ABS und Airbag
- Kräfte und Fahrverhalten in Kurven
- Chemische Wirkungsweise von Katalysatoren
- Steuerung von Fahrzeugen durch GPS
- Bau eines Windkanals und Testversuche zu Strömungswiderständen
- Funktionsweise klassischer Verbrennungsmotoren

3. Phase: Projektpräsentation

Die Präsentation bestand einerseits in der Anfertigung des Forschungsberichtes und andererseits in der Herstellung von Schautafeln und Modellen für eine schulinterne Ausstellung in der Aula, bei der auch Experimente mit dem Windkanal vorgeführt wurden.

Eine Darstellung ist in (3) zu sehen.

Eine ähnliche Vorgehensweise, nur etwas stärker auf fachliche Aspekte des Physikunterrichts bezogen zeigt das folgende Beispiel:

3.9 Physik: Forschungsprojekt Schwingungen

In einem Grundkurs Schwingungen und Wellen der Jahrgangsstufe 11 sind die Grundbegriffe der Schwingungen wie Auslenkung, Amplitude, Periodendauer und Frequenz bekannt.

In einer Brainstormingphase stellen die Schüler Fragen, Stichpunkte und Probleme zum Thema Schwingungen auf. Diese Sammlung wird dann wieder geordnet und umfassenderen Problemstellungen zugeteilt. Es zeigt sich, dass sich die von den Schülern gefundenen Aspekte den folgenden Fragen zuordnen lassen:

- Wie schwingt ein Pendel (Registrierung des Weg - Zeit - Gesetzes)
- Warum schwingt ein Pendel? (Untersuchung von Antriebskraft und Trägheit)
- Wie lang schwingt ein Pendel? (Untersuchung der Dämpfung)
- Wie kann eine Schwingung aufrecht erhalten werden? (Rückkopplung und Entdämpfung)
- Anwendungen von mechanischen Schwingungen

Nach dieser Phase der Ordnung bilden die Schüler Gruppen, die jeweils eine der übergeordneten Aspekte bearbeiten.

Als Arbeitsmaterial erhalten die Schüler von mir sinnvoll ausgewählte aber nicht bearbeitete Unterlagen aus Schul- und Fachbüchern sowie das zugehörige Experimentiermaterial.

Ziel ihrer Erarbeitung ist das Anlegen einer Arbeitsmappe zum Thema mechanische Schwingungen und die Präsentation der Inhalte und ausgesuchter Experimente ihrer Themen vor dem ganzen Kurs. Da der Rest des Kurses die jeweils anderen Themen der Gruppen ebenfalls als verbindlichen Lernstoff erarbeiten muss, beschließen die Schüler, dass jede Gruppe eine schriftliche thesenartige Zusammenfassung vorlegt, die Inhalte in einem Referat erläutert, die selbst vorbereiteten Experimente zeigt und erklärt und sich dann anschließend den Fragen der Mitschüler stellt.

Die Durchführung dieser projektartigen Erarbeitung der zum Thema Schwingungen gehörenden Inhalte dauert sicher einige Stunden länger als üblich. Aber die Intensität der Arbeit aller Schüler ist enorm hoch und die Präsentation findet die hohe Aufmerksamkeit des ganzen Kurses. Und neben den konstruktivistischen Tätigkeiten beim Erarbeiten, Experimentieren und Vorbereiten der Präsentation entstand eine Menge Freude am Arbeiten und an der Physik, die das Interesse der Schüler noch lange aufrecht hielt.

Inzwischen erweitert und umgebaut zu „Arbeitsaufträgen zur Schwingungslehre“

3.10 Physik: Einführung in die Quantenmechanik

Die Quantenmechanik ist ein Teilgebiet der Physik, das vielen Aspekten eines konstruktivistischen Unterrichtes entspricht. Leider wird sie im Physikunterricht nur sehr stiefmütterlich behandelt.

Die Heisenbergsche Unbestimmtheitsbeziehung und ihre Bedeutung für die Unmöglichkeit eines klassischen Bahnbegriffes ermöglicht die Erkenntnis, dass unser klassisches Weltbild selbst nur ein konstruiertes Weltbild ist. Damit ist der Physikunterricht auf einer Metaebene angekommen: Die Erfahrung der Schüler mit der eigenen Konstruktion von Wissen wird auf die Wissenschaft Physik und schließlich auf das Weltbild übertragen. Unsere Vorstellungen von der Welt sind eine konstruierte Wirklichkeit, deren Beziehungen zur Realität erst einmal ungeklärt sind. Leistet die Quantenmechanik mit ihren wirklichkeitsfremden Deutungen der Beobachtungen einen möglichen Zugang zu einer Realität?

Hier tritt ein unmittelbarer emotionaler Bezug der Schüler zur aktuellen Forschung ein: Die seit frühester Kindheit immer wieder gestellte Frage: „Wer bin ich und in welcher Welt lebe ich?“ bekommt einen erneuten aktuellen wissenschaftlichen Bezug. Wissenschaft erscheint nicht als ein abstraktes formales System, das nur für Insider interessant ist, sondern sie gibt dem unmittelbar sich mit ihr beschäftigenden Schüler Auskünfte und Hinweise über sich selbst.

Natürlich darf sich für einen solchen Zugang die Behandlung der Quantenmechanik nicht in der Lösung der Schrödingergleichung für das Wasserstoffatom erschöpfen. Aber das Ringen der Physiker, insbesondere Einstein und Bohr, um das Erkennen der Realität, das EPR-Paradoxon und die hierzu durchgeführten aktuellen Experimente sollten fester Bestandteil des Physikunterrichtes werden.

Dass es für diese Inhalte nicht nur konstruktivistische Gründe gibt, führt Roman Sexl (5) schon vor Jahrzehnten in einem interessanten Vergleich vor:

Er vergleicht den damaligen (und heute noch üblichen!) klassischen Physikunterricht mit einem Kriminalroman, der folgenden Aufbau besitzt:

Kapitel 1: Der Ursprung der Gesetzgebung in Babylon

Kapitel 2: Die Verfassung

Kapitel 3: Die Organisation von Polizeikommissariaten

Kapitel 4: Elemente der Gerichtspraxis

Kapitel 5: Theorie der Fingerabdrücke

Kapitel 6:

Kapitel 30 (letzte Seite): Die Leiche

Anhang: Hinweise auf die Lösung des Falles

Würden Sie sich von einem solchen Kriminalroman angesprochen fühlen? Unsere Schüler müssen nicht selten einen so aufgebauten Physikunterricht ertragen und wir wundern uns, warum sie ihn nicht spannend finden.

Sexl plädiert dafür der Quantenmechanik einen viel breiteren Stellenwert im Physikunterricht einzuräumen.

Wie man die Wissenskonstruktion schon beim Einstieg in die Quantenmechanik verhindern oder fördern kann, zeigen die folgenden beiden Unterrichtsbeispiele:

Beispiel 1: Der Lehrer erläutert die Apparatur zum Photoeffekt und führt den Versuch durch, mit Filtern zeigt er dann die Frequenzabhängigkeit und fordert die Schüler auf, zu begründen, warum dies mit dem Wellenmodell nicht erklärbar ist. Danach erläutert er den Einsteinschen Erklärungsansatz und führt den Versuch zur h -Bestimmung vor.

Beispiel 2: Die Schüler sehen den Versuch zum Photoeffekt und werden aufgefordert ihn zu deuten. Sie tun dies mit Hilfe des Wellenmodells und erkennen, dass Lichtwellen Energie zur Verrichtung der Austrittsarbeit an die Metallelektronen übertragen können. Der Lehrer referiert eine Modellrechnung zur Bestimmung der Auslösezeit der Elektronen und zeigt in einem Versuch, dass der experimentell ermittelte Wert um Größenordnungen unter dem abgeschätzten Wert liegt.

Die Schüler versuchen nun im Rahmen des Wellenmodells durch Zusatzhypothesen die Experimente zu deuten. Sie arbeiten im Paradigma der für sie etablierten wissenschaftlichen Vorstellung. Nach über einer Unterrichtsstunde vermuten einige Schüler, dass der Wellenmechanismus zur Erklärung nicht geeignet ist. Es bilden sich zwei Schülergruppen, die eine hält weiterhin an der tradierten Vorstellung fest, die andere entwickelt neue Konzepte der Energieübertragung. Das durchgeführte Experiment zur nicht vorhandenen Amplitudenabhängigkeit schwächt die Position der "Wellenanhänger", die ihre Vorstellung dadurch zu retten versucht, dass sie sich daran erinnert (Dunkelkammer, Biologie), dass hochfrequentiges Licht energiereicher ist. Der entsprechende Versuch bestätigt das. Die "Wellengegner" merken aber an, dass die Frequenzabhängigkeit nicht anschaulich verständlich ist. Sie entwickeln ein Bild, nachdem der Kopf der Welle die gesamte Energie trägt.

Nachdem ein Schüler eine Bemerkung ("Dann brauchen wir aber die Welle nicht mehr") hierzu gemacht hat, erläutert der Lehrer die Plancksche und Einsteinsche Deutung. Die Schüler sträuben sich dagegen, dass das Wellenmodell falsch sein soll, da sie ja damit bestens die Interferenzversuche erklärt haben.

Diese emotional sehr angespannte Situation wird vom Lehrer zur Hinterfragung des Modellbegriffs benutzt, die Schüler erarbeiten ihre Erwartung eines übergeordneten Modells. Sie haben in zwei bis drei Schulstunden emotional das durchlebt, was Anfang des 20. Jahrhunderts die Physiker aufgerüttelt hat.

Nur am Anfang in der Verwendung ihrer Alltagssprache erliegen die Schüler einem vermeintlichem Welle-Teilchen-Dualismus. Der Photoeffekt wird auch nicht als *experimentum crucis* gegen die Wellenvorstellung angesehen, sondern als Anlass die eigene konstruierte Vorstellung von Licht als solche zu erkennen und zu hinterfragen. Erst dann wird erfassbar, dass Licht weder Teilchen noch eine Welle sondern etwas Neues, nämlich ein Quantenphänomen ist.

In den weiteren Stunden werden Materiewellen eingeführt, der Doppelspalt mit einzelnen Photonen oder Elektronen behandelt, die Unbestimmtheitsbeziehung und die Frage nach dem Weg der Elektronen erneut aufgegriffen. Der Disput von Einstein und Bohr, konstruktivistische Interpretationsversuche und die Deutung der Experimente durch Unbestimmtheiten bis hin zum Tunneleffekt bestimmen den weiteren Verlauf des Unterrichtes. Erst später wird die Plancksche Konstante gemessen....., erst als es darum geht, zu erkennen, warum quantenmechanische Effekte im Alltag nicht unmittelbar wahrnehmbar sind.

3.11 Physik: Beispiele für Hausarbeiten

Konstruktivistischer Unterricht sollte auch den Einsatz von langfristigen Hausarbeitsprojekten berücksichtigen. Einige Beispiele seien hierzu angeführt.

- Portfolio:

Diese bei uns wenig bekannte Zusammenstellung dokumentiert die Beschäftigung des Schülers mit dem Fach bzw. einem ausgewählten Bereich. Der Schüler legt eine Mappe an, in der er nicht nur den Unterrichtsinhalt und die häusliche Nacharbeit dokumentiert, sondern in der er auch seine Arbeitsweise und seine kognitiven Erfahrungen festhält. Darüber hinaus dokumentiert er noch die zusätzliche über den eigentlichen Unterricht hinausgehende Beschäftigung mit dem Fach, in dem Berichte, Zeitungsartikel, weitere Ausarbeitungen oder kleinere Projekte dokumentiert und reflektiert werden.

- Halbjahresarbeit

In meinen Astronomiegrundkursen der Jahrgangsstufe 12 ersetze ich eine Klausur durch eine ausführliche häusliche Arbeit, für die die Schüler zur Vorbereitung, Literatursichtung und Bearbeitung mehrere Monate eigenständiger Arbeit einplanen müssen.

Zu Beginn des Halbjahres bekommen die Schüler eine Liste mit ca. 30 theoretischen und praktischen Themen, aus denen sie sich eines für ihre Hausarbeit aussuchen müssen.

Beispiele für Themen: Aktivitätserscheinungen der Sonne und ihre Auswirkungen auf die Erde / Der Dopplereffekt und seine Anwendung in der Astronomie / Methoden zur Bestimmung des Aufbaus unserer Galaxis / Endstadien der Sternentwicklung / Die Energieerzeugung in Sternen / Die Entstehung der chemischen Elemente

Fotografie von Sternbilder und Helligkeitsmessungen der Sterne / Bestimmung der Solarkonstante / Durchmesserbestimmungen von Mondkratern / Fotografie und Auswertung von Sternspektren

Die zuletzt genannten praktischen Themen werden in Zusammenarbeit mit einer Volkssternwarte angeboten, die erstgenannten theoretischen Themenbeispiele sind Literaturarbeiten, die ein eigenständiges Sichten, Zusammenstellen und das Herausarbeiten inhaltlicher Schwerpunkte durch die Schüler erfordert.

- Ausstellungen:

Manchmal gibt es aktuelle Ereignisse wie das Auftauchen eines hellen Kometen, eine Finsternis, eine neue mit dem Nobelpreis bedachte Entdeckung oder auch der Venusdurchgang 2004 zu denen Schülergruppen Hintergrundinformationen, Beobachtungen, Auswertungen und Recherchen in Form von Ausstellungstafeln zusammenstellen können. Erfahrungen konnte ich mit einer Ausstellung zum Thema Kometen einer Wahlpflichtgruppe Physik der Jahrgangsstufe 10 und der Herstellung und Präsentation eines Hochtemperatursupraleiters mit einem Physikleistungskurs der Jahrgangsstufe 12, die sogar bundesweite Medienbeachtung gefunden hatte, gewinnen.

Solche Präsentationen wirken nicht nur positiv auf die Schulgemeinde sondern steigern sowohl für die Produzenten als auch die Besucher das Interesse an Physik und erfordern selbstverständlich für die herstellende Schülergruppe intensive konstruktivistisch orientierte Arbeit.

3.12 Physik: Begabtenförderung "Chaos und Strukturen"

Die Schülerakademie Kassel bietet zusätzliche nachmittägliche Förderkurse für besonders begabte und besonders interessierte Schüler an.

Der Kurs "Chaos und Strukturen" hatte 21 Schüler aus den Klassen 7 bis 11, von denen nicht alle hochbegabt waren. Der Kurs war deshalb konstruktivistisch mit dem Schwerpunkt eigenständiger Arbeit geplant. Das Thema Chaosphysik gestattet auch leicht fachübergreifende Untersuchungen und ist wegen seiner besonderen Inhalte sicher für einen solchen Kurs gut geeignet.

Mein Kurs hatte den folgenden Aufbau:

- Einführung:

In einem erarbeitenden Unterrichtsgespräch wird anhand der Populationsdynamik mit der logistischen Gleichung der Übergang mit Bifurkationen ins Chaos erarbeitet und das Feigenbaumdiagramm besprochen.

In einem kurzen Lehrerreferat werden weitere Übergangsmöglichkeiten ins Chaos vorgestellt und die Bedeutung von Rückkopplung und räumlicher Wechselwirkung für die Entstehung von Strukturen beschrieben. Ein Film führt in allgemeine Aspekte der Chaosphysik, insbesondere der Julia- und Mandelbrotmengen ein.

Danach erhalten die Schüler metakognitive Texte zum Thema Literaturstudium und Ablauf von Forschungsprozessen, teils in englischer Sprache. Diese Informationen und die nachfolgenden Gespräche schienen mir sehr wichtig, da die Schüler nicht nur aus fünf unterschiedlichen Alterstufen sondern auch aus vielen verschiedenen Schulen kamen und nur wenig Erfahrungen mit eigenständiger Arbeit hatten.

- Projektplanung:

Die Schüler erhielten eine Liste mit möglichen Forschungsprojekten und einzelnen Teilprojekten mit zugehörigen Informationen. Sie suchten sich dann ein Teilprojekt aus und bildeten in Bezug auf Alter und Begabung sehr heterogene Gruppen. Zu den ausgewählten Teilprojekten gab es auch Literatur zur theoretischen Einarbeitung.

- Forschungsarbeit:

In den folgenden Monaten beschäftigten sich die Schüler mit ihrem Forschungsprojekt. Unterbrochen wurde dies nur durch einige Informationssitzungen zur Chaosphysik:

- Informationssitzungen:

In Referatform bzw. einem Unterrichtsgespräch gab es zwei eingestreute Informationsnachmittage zu den Themenbereichen "Dimensionsbegriff und Fraktale" sowie "Rückkopplungsprozesse".

- Abschlusspräsentation:

Die Gruppen stellten in einer öffentlichen Veranstaltung ihre Projekte, die entwickelten Versuche und die Ergebnisse vor. Sie gestalteten für ihre Gruppe jeweils einen Klassenraum mit Experiment, Posterausstellung und Computerpräsentationen und erläuterten den Besuchern ihr Projekt.

Gerade diese Präsentation hat die Arbeit in den Wochen vorher extrem motiviert. Für die Schüler war das Erlebnis der Präsentation, die Gespräche mit dem fachkundigen Publikum und die Anerkennung durch die Besucher eine so positive Erfahrung, dass sie unbedingt wieder ein solches Projekt durchführen wollen. Mit ihrem Interesse und ihrer Begabung sind sie von den Besuchern auch ernst genommen worden, nicht sie sondern das Projekt weckte das Interesse.

Im folgenden möchte ich die bereitgestellten Projekte kurz beschreiben und dann die Erfahrungen mit den wirklich durchgeführten Forschungsarbeiten erläutern, die als Teilprojekte kursiv und unterstrichen sind. Die etwas ausführlichere Beschreibung aller möglichen Teilprojekte soll als Anregung dienen.

- Projekt Strömungen

- Teilprojekt 1: Untersuchung chaotischer Bewegungen im Zigarettenrauch. Fotodokumentation und Untersuchung von Einflüssen wie Geschwindigkeit, Temperatur, Luftdruck
- Teilprojekt 2: Konvektionsmuster in heißem Öl
Bei bestimmter Temperatur bilden sich stabile Konvektionszellen, die trotz Umrühren wiederkehren. Fotografische Dokumentation, Abhängigkeiten von Ölsorte, Temperatur, Pfannenfläche,... Sichtbarmachen durch Alupulver

- Teilprojekt 3: Strömung von Bächen

Bei wachsender Wassermenge entstehen Turbulenzen, die vermutlich über Bifurkation in eine chaotische Strömung übergehen.. Aufbau eines Modellbaches, bei dem verschiedene Strömungsstärken realisiert werden können. Sichtbarmachen der Turbulenzen und Strömungen.

- Teilprojekt 4: Untersuchen des Abrutschens von Sandlawinen
- Teilprojekt 5: Fraktale Strukturen von Durchmischungen am Beispiel Milchkafee
- Teilprojekt 6: Staus auf Autobahnen

Arbeit mit Computersimulationen aus dem Internet

- Projekt Schwingungen

- Teilprojekt 1: Doppelpendel

Bei steigender Amplitude geht die Bewegung in Chaos über. Aufbau und Demonstration eines solchen Pendels.

- Teilprojekt 2: Magnetpendel

Ein Magnet pendelt über zwei bzw. drei andere Magnete. Es entsteht eine chaotische Bewegung mit Anfangssensibilität und fraktalen Attraktoren

- Teilprojekt 3: Schwingende Blattfeder

Die über zwei Elektromagnete angeregte Blattfeder wechselt zwischen chaotischer und periodischer Bewegung.

- Teilprojekt 4: Chaotischer Kompass

Bei der Schwingung einer Kompassnadel im Wechselfeld eines Elektromagneten entsteht Chaos in Abhängigkeit von Frequenz, Amplitude, Reibung, Die Beobachtung erfolgt mit stroboskopischer Beleuchtung.

- Teilprojekt 5: Anregung einer Schwingung auf der Luftkissenfahrbahn über ein nichtlineares Medium (Gummiband).

- Projekt Wassertropfen

- Wie geht die Folge von Wassertropfen bei steigendem Wasserdruck ins Chaos über? Registrierung der Tropfenfolge über Mikrofon und Video, Erzeugung von Ordnungsstrukturen über eine Lautsprechermembran

- Projekt Logistische Gleichung

- Untersuchung der Funktion $f(x) = ax(1-x)$ auf periodische und chaotische Eigenschaften bei der Iteration, Darstellung durch ein selbst zu entwickelndes Computerprogramm

-Projekt Chaos im Theater und an der Börse

- Aufnahmen von Applaus und Analyse nach chaotischen und periodischen Mustern, Untersuchung selbstähnlicher Strukturen im Verlauf von Aktienkursen

- Projekt Fraktale Muster durch Rückkopplung

- Erzeugung fraktaler Muster durch eine Videorückkopplung, Musterbildung bei Lindenmeiersystemen und zellulären Automaten

-Projekte Lichtbilliard und Cantormenge

- Untersuchung der Reflexionsmuster von Laserlicht an drei Kugeln in Abhängigkeit von Abstand, Strahlposition und Größe der Kugeln, Beschreibung durch Digitalisierung und Analogiebetrachtung zur Struktur der Cantormenge

-Projekt Binomische Formeln und Pascalsches Dreieck

- Berechnung des Pascalschen Dreiecks, Strukturuntersuchung der geraden bzw. ungeraden Zahlen, Vergleich mit der Struktur des Sierpinski-Dreiecks und Begründung der Strukturgleichheit über digitale Beschreibungen

-Projekt Juliamengen und Mandelbrotmengen

- Komplexe Zahlen als Punkte der Ebene, Untersuchung der Funktion $f(z) = z^2 + c$ und die Erzeugung von Julia- und Mandelbrotmengen, Strukturuntersuchungen mit Computerprogrammen

- Projekt Dendritisches Wachstum

- Untersuchung des Wachstums bei elektrochemischen Ablagerungen und von Entladungsmustern, Anwendungen auf die Lebensdauern von Batterien und elektronischen Schaltkreisen

- Projekt Theorie

- Wo im Kosmos gibt es selbstähnliche, fraktale Strukturen, wo laufen chaotische Prozesse ab? Untersuchung von Galaxienverteilungen, Spiralsystemen, Gesellschaftssystemen und von neuronalen Netzen

Die Gruppen haben mit unterschiedlichem Anspruch und verschiedenen Schwerpunkten in den Teilprojekten eigenverantwortlich und eigenständig gearbeitet. Aufbau und Durchführung der Experimente und die Tiefe der theoretischen Durchdringung war ihnen überlassen.

Trotz der Freiwilligkeit der gesamten Teilnahme und einem ungünstigen Termin am Freitagnachmittag erschienen nur zwei der ursprünglich 21 Schüler gegen Ende nicht mehr, die anderen zeigten eine, ein interessiertes Fachpublikum äußerst zufriedenstellende Präsentation mit selbstbewussten und tiefgehenden Diskussionen und Darstellungen.

Inzwischen liegen weitere vier Jahre Erfahrungen mit konstruktivistischem Arbeiten in der Begabtenförderung vor. Der oben geschilderte Ansatz hat sich so weit entwickelt, dass jetzt über 20 Teams eigenständige und echte Forschung betreiben.

Die beiden folgenden Beschreibungen von Beispielen aus der Philosophie lassen sich auch für fachübergreifende Aspekte im naturwissenschaftlichen Unterricht (Bewusstsein: Biologie, Informatik – Determinismus: Physik) einsetzen.

3.14 Philosophie: Seminar Bewusstsein

Das Thema Bewusstsein beinhaltet fachübergreifende Aspekte aus Informatik, Psychologie, Biologie und Philosophie. Die Schüler (hier Jahrgangsstufe 12) erhalten zu Beginn des Halbjahres eine Liste von Seminarthemen (Beispiele: Der Unterschied zwischen phänomenalen und Zugriffsbewusstsein – Das Qualiaproblem – Selbstbewusstsein als Ergebnis eines Lernprozesses...) und zugehöriger Literatur. In kleinen Gruppen bereiten sie ein Seminarthema zu einer Doppelstunde vor. Sie entwickeln aus der Literatur ein Thesenpapier, erläutern es in einem kurzen Referat, beantworten die Fragen der anderen Teilnehmer und bereiten eine Diskussion vor, die sie dann auch moderieren.

3.15 Philosophie: Determinismus und freier Wille

Der Kurs der Jahrgangsstufe 13 erarbeitet Themenbereiche zum Determinismusproblem und bildet Gruppen, die sich mit jeweils einem Thema auseinander setzen. Dabei organisieren die Gruppen eigenständig die Literaturbeschaffung, die Bearbeitung des Themas und die Präsentation in Form einer Ausstellung, eines Forschungsberichtes oder einer CD-ROM.

Aus physikalischer Sicht sind zwei Gruppen interessant, die sich einmal mit dem Indeterminismus der Quantenmechanik auseinander gesetzt haben und zum anderen mit der Rolle des Determinismus im modernen Bild der Naturwissenschaften.

Ich hatte nur bei inhaltlichen, organisatorischen und strukturellen Problemen beratende Funktion. Zur Erleichterung dieser Aufgabe fertigten die ansonsten ausschließlich eigenverantwortlich arbeitenden Schüler nach ca. 4 Wochen einen Zwischenbericht an, in dem sie die bisherige Arbeit, ihre Problematik und die weiteren Absichten erläuterten. Die dadurch mögliche intensive metakognitive Beratung fokussierte die Arbeit der Gruppen deutlich.

Ausführlichere Stellungnahmen und Beschreibungen der Philosophieprojekte finden sich in (6).

Die vorliegende kurze Beschreibung von konstruktivistisch orientierten Unterrichtsansätzen zeigen die zahlreichen Möglichkeiten auf, inhaltliche und methodische Änderungen im Sinne eines Unterrichtes durchzuführen, der den Schülern eigenständige und eigenverantwortliche Konstruktion von Wissen ermöglicht.

Literatur:

- (1) Labudde, P.: Konstruktivismus im Physikunterricht der Sekundarstufe II. Bern 2000
- (2) Dörner, D.: Bauplan für eine Seele, rowohlt 2000
- (3) Haupt, K.-P./ Moegling, K.: Gymnasium konkret. Videodokumentation. Klinkhardt 2000
- (4) Hodson, D.: Experiments in science and science teaching. Educational Philosophy and Theory (20) 2.1988
- (5) Sexl, R.: Kann man die Quantenmechanik verstehen? PhU 1/78
- (6) Haupt, K.-P.: Erfahrungen mit selbstständigem Lernen im Grundkurs Philosophie in Moegling, K. (Hrsg.) Gymnasium aktuell. Klinkhardt 2000
- (7) Haupt, K.-P.: Beispiele eigenständigen Lernens im Fach Physik. In Moegling a.a.O.